

Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences



Document produit par reconnaissance optique de caractères (OCR). Des erreurs orthographiques peuvent subsister.
Pour accéder au document d'origine sous forme image, cliquez sur le bouton "Original" situé sur la 1ère page.

Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences

Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences

Publié en 1974
par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture,
7, place de Fontenoy, 75700 Paris
Imprimé par Firmin-Didot S.A.
Mesnil-sur-l'Estrée
Deuxième impression : 1976
Troisième impression : 1979

ISBN 92-3-201058-5

Éd. angl. : New Unesco source book for science teaching
ISBN 92-3-101058-1

Préface

Cette nouvelle version du *Manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* a été conçue afin de mettre l'ouvrage à jour et d'y considérer un plus grand nombre de questions scientifiques susceptibles d'être abordées dans des cours de sciences élémentaires. La publication d'une nouvelle édition avait été prévue par la Conférence générale de l'Unesco à sa quinzième session (1968) pour donner suite aux demandes reçues des États membres. Les travaux de révision ont été coordonnés au Science Teaching Center de l'université du Maryland (États-Unis d'Amérique), sous la responsabilité générale du D^f J. David Lockard, directeur du Science Teaching Center et du centre d'échanges d'informations qui en dépend, l'International Clearing House on Science and Mathematics Curricular Developments. L'équipe chargée de la révision comprenait en outre le D^f Alfred de Vito, le D^f J. Dudley Herron, le D^f Ralph W. Lefler, le D^f Robert W. Menefee et le D^f Wayne Taylor. La mise au point finale du manuscrit a été assurée par le D^f H. Ibstedt, J. Kent et E. G. Smith.

Pour la préparation de ce travail, de multiples commentaires et avis d'utilisateurs des éditions antérieures du *Manuel* ont été recueillis par la Confédération mondiale des organisations de la profession enseignante (CMOPE). Les organisations et associations d'enseignants ont été invitées à faire des suggestions et une étude spéciale a été menée par l'Association zambienne pour l'enseignement des sciences. Ensuite, une réunion a été organisée sous les auspices de la CMOPE afin de définir les principes directeurs dont devrait s'inspirer la révision de l'ouvrage.

L'histoire du *Manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* remonte à la fin de la deuxième guerre mondiale. A cette époque,

l'Unesco avait patronné la rédaction d'une brochure intitulée *Suggestions for science teachers in devastated countries*, rédigé par J. P. Stephenson (ancien professeur de sciences à la City of London School, membre du Comité de la Royal Society pour la coopération avec l'Unesco, Royaume-Uni). Tout en se révélant fort utile dans les régions dévastées, cet ouvrage a connu un succès extraordinaire dans des pays jusque-là plus ou moins dépourvus de matériel pour l'enseignement pratique des sciences. En 1956, le texte fut considérablement augmenté, grâce surtout à des suggestions que les experts de l'enseignement scientifique envoyés en mission par l'Unesco avaient formulées au sujet de la fabrication d'instruments simples et de la réalisation d'expériences à l'aide de matériaux disponibles sur place. C'est ainsi que la première édition du *Manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* a vu le jour.

Une deuxième édition a paru en 1962 et, depuis lors, l'ouvrage a été réimprimé 24 fois et traduit dans 30 langues; plus de 750 000 exemplaires ont été vendus à ce jour.

Il serait absolument impossible de citer ici tous ceux qui ont contribué à la production de ce *Manuel*. Une bonne partie de la documentation utilisée a des origines fort lointaines et constitue un patrimoine commun aux professeurs de sciences du monde entier. En dehors de J. P. Stephenson, du D^f David Lockard et de ses collaborateurs, mentionnés plus haut, il importe de remercier en particulier les nombreuses personnes et les nombreux groupes qui ont participé de diverses manières à la préparation de la présente édition. Il convient de rappeler enfin le rôle joué par tous ceux dont les noms sont indiqués dans les préfaces aux éditions antérieures.

Sources

Les auteurs du présent *Manuel* ont trouvé nombre d'idées intéressantes qu'ils ont modifiées et adaptées dans les ouvrages des auteurs et éditeurs ci-après : R. et M. Buchsbaum, A. D. Bulman, Louis T. Cox Jr., Alfred E. Friedl, Paul D. Merrick, Alberta Whitfield, R. Kudo, R. Sund, L. Trowbridge, Henry Holt and Co., Charles E. Merrill Publishing Company, National Science Teachers Association (États-Unis d'Amérique), Association for Science Education (Royaume-Uni) et University of Chicago Press.

Ils se sont évidemment inspirés d'autres manuels d'enseignement des sciences, notamment du *Sourcebook for elementary science*, de Hone, Joseph et Victor, du *Sourcebook for the physical sciences*, de Joseph. Brandwein, Morholt, Pollack et Castka, du *Sourcebook for the biological sciences*, de Morholt, Brandwein et Joseph tous publiés par Harcourt Brace Jovanovich Inc.

et du *Geology and earth sciences sourcebook*, publié par l'American Geological Institute. Ils expriment à ces auteurs et éditeurs leurs sincères remerciements.

Ils ont trouvé aussi des idées très utiles dans divers programmes d'enseignement, notamment ceux qui sont proposés au Royaume-Uni, par les Nuffield Projects et, aux États-Unis d'Amérique, sous les auspices de la National Science Foundation (ISCS, BSCS, PSSC) et par les départements de l'éducation des États.

La carte détaillée des étoiles des régions intertropicales a été établie spécialement pour cette publication par H. A. Diamand, expert de l'Unesco au Congo. Les illustrations sont dues à M^{lle} Dominique Bazin et à Paolo Moriggia.

Table des matières

Introduction 10

Chapitre premier

Ressources, installations et techniques pour l'enseignement des sciences 13

Quelques suggestions pour l'enseignement des sciences 13

Ressources utilisables éventuellement en milieu rural 13

Exploitation des ressources 14

Installations pour l'enseignement des sciences 14

La sécurité au laboratoire 16

Outillages et techniques utiles 19

Outils 19

Comment couper le verre 19

Nettoyage de la verrerie 21

Soudure 21

Tirages héliographiques et diazo 23

Fabrication d'instruments d'usage général 24

Instruments de pesage 24

Instruments d'optique 26

Sources de chaleur 28

Appareils de mesure 29

Autres suggestions pratiques 30

Solutions chimiques 31

Préparation de solutions de molarité déterminée 32

Préparation de réactifs 33

Réactifs d'emploi général au laboratoire 33

Réactifs généraux 33

Solutions et réactifs spéciaux 34

Chapitre deux

Sciences physiques 39

Chimie 41

Introduction 41

Le brûleur Bunsen (ou bec Bunsen) 41

Identification des corps purs 42

Énergie nécessaire pour transformer les solides en liquides et les liquides en vapeur 46

Utilisation du point de fusion, du point d'ébullition, de la solubilité et de la densité pour séparer des corps des mélanges qui les contiennent 47

Action de la chaleur sur les corps 52

Comment préparer et recueillir quelques gaz et en déterminer les propriétés 53

Qu'est-ce que la rouille? 57

Colorants végétaux employés comme indicateurs d'acides et de bases 58

Cristallisation 59

Les particules qui forment la matière : mouvements, nombre et dimensions 62

Conductivité des corps 65

Matériaux de construction 66

Électrolyse des corps fondus et des solutions aqueuses 70

Réactions chimiques 72

Énergie calorifique mise en jeu par les réactions chimiques 76

Énergie électrique obtenue à partir de réactions chimiques 78

Facteurs qui influent sur la vitesse d'une réaction 83

Comment casser des molécules 85

Polymérisation de molécules 88

Chaleur et température 89

Énergie calorifique 89

Dilatation 89

Thermomètres	91
Conduction	92
Convection	94
Rayonnement	95
Quantités de chaleur	96
Magnétisme et électricité	97
Électricité statique	97
Courant électrique	101
Magnétisme	108
Électromagnétisme	111
Mouvements ondulatoires	115
Production des ondes	115
Son	117
Lumière : <i>Production de la lumière; Réflexion de la lumière; Réfraction de la lumière: La couleur</i>	121-124-127
Mécanique	131
Équilibres	131
Expériences sur la pesanteur	131
inertie	134
Force centripète	135
Forces et mouvement	136
Action et réaction	137
Machines	137
Mécanique des fluides	143
Pressions dans un liquide	143
Poussée de bas en haut dans les liquides	145
Tension superficielle	148
Pression atmosphérique	151
Chapitre trois	
Sciences biologiques	159
Introduction	161
Niveaux d'organisation	161
En quoi consistent les niveaux	161
Schéma d'organisation	162
Étude des organismes	164
Pourquoi étudier les organismes vivants	164
Comportement des oiseaux	164
Organismes aquatiques	167
Embryons de poulets	168
Insectes	169
Collecte d'organismes vivant dans le sol	171
Piégeage des petits mammifères et reptiles	172
Comment garder des animaux en cage	172
Planaires	173
Étude des populations	174
Étude des communautés	179
Écosystèmes	183
Étude des plantes	184
Étude des animaux	192
Étude des tissus	192
Étude des cellules	193
Chapitre quatre	
Sciences de la terre et de l'espace	197
Introduction	199
Roches et minéraux	199
Les premiers pas	199
Propriétés physiques des minéraux	200
Principaux minéraux constitutifs des roches	202
Grands groupes de roches	203
Comment fabriquer des roches artificielles	206
Activités dirigées	207
Sols	208
Le sol et l'eau	210

Autres activités	214	9. Rapporteur, équerre, etc.	278
Astronomie et sciences de l'espace	215	10. Appellations latines et françaises des constellations	280
Instruments d'observation astronomique	215		
Cadrans solaires	217		
Comment se familiariser avec les étoiles et les planètes	219	Index	283
Observation des phénomènes célestes	230		
Comment observer l'effet de la rotation de la Terre	232		
Montages et démonstrations d'astronomie	236		
Modèles et montages pour l'étude des sciences de l'espace	239		
Météorologie	243		
Comment fabriquer des instruments et installer une station météorologique	243		
Le vent et le temps	249		
Comment l'air se charge d'humidité	251		
Comment l'air perd son humidité	253		
Travaux pratiques	254		
Les nuages et le temps	258		

Annexes

1. Unités SI 265
2. Tableau de correspondance pour unités en dehors du SI 267
3. Table périodique 268
4. Liste des éléments 270
5. Indicateurs colorés pour les solutions acides et basiques 273
6. Humidité relative (pourcentage) 274
7. Correspondance entre températures selon différentes échelles 274
8. Logarithmes 276

Introduction

Dans toutes les parties du monde, les hommes de science se livrent à des recherches scientifiques dont l'objet est de nous faire mieux comprendre les phénomènes qui se déroulent autour de nous. Et, tout comme la science elle-même, les efforts visant à améliorer les méthodes de l'enseignement scientifique sont universels. Le *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* se fonde sur des suggestions fournies par des éducateurs du monde entier quant aux moyens de tirer partie, aux fins de cet enseignement, de ressources et de matériaux d'un usage courant, généralement faciles à obtenir. Il s'adresse aux enseignants et plus particulièrement à ceux qui font des cours de sciences dans les écoles primaires et les classes du premier cycle secondaire ainsi qu'aux futurs maîtres.

Pour que les notions scientifiques puissent être vraiment assimilées, elles doivent faire l'objet d'expériences. Ces notions sont si intimement liées à la vie quotidienne de chaque écolier ou écolière que le maître ne se trouve en aucun cas dépourvu de matériel de première main pour ses leçons de choses. En nous-mêmes, autour de nous, au-dessus et au-dessous de nous, il existe, en n'importe quel point du globe, une quantité illimitée de phénomènes qui peuvent servir de base à l'enseignement des sciences, ainsi que de matériaux permettant de produire de l'équipement scientifique et des auxiliaires pédagogiques.

Le *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* est destiné à fournir des indications pour l'organisation d'activités, de recherches et d'expériences scientifiques pouvant être menées à bien sans difficulté par les élèves

eux-mêmes et pour la fabrication de matériel scientifique simple à l'aide des ressources disponibles sur place. Comme ces ressources locales diffèrent très largement à l'intérieur d'un pays donné aussi bien que d'un pays à l'autre, chaque maître devra y puiser lui-même ce qu'il lui faut en fonction des besoins de ses propres élèves et des conditions dans lesquelles il dispense son enseignement.

Le *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* pourra aussi être utilisé par des groupes d'élèves qui participent, par exemple, aux activités de clubs scientifiques, ou par tel ou tel élève qui souhaite faire des travaux et des recherches scientifiques à titre individuel. On a admis, cependant, que ces activités seront menées sous la direction et le contrôle général d'un enseignant, afin que l'élève puisse tirer le maximum de profit de ses observations et conclusions et, aussi, en raison de la nécessité d'appliquer, dans bien des cas, des règles de sécurité. C'est pourquoi cet ouvrage ne s'adresse pas directement aux élèves.

La présente édition révisée a été établie en vue de mettre à jour le *Manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* et de tenir compte des idées nouvelles sur la manière de dispenser cet enseignement dans les classes du primaire et du premier cycle secondaire. Compte tenu de l'ampleur considérable des progrès récents concernant la conception et la méthodologie de l'enseignement scientifique, on n'a pas tenté d'inclure dans ce volume des suggestions relatives aux stratégies pédagogiques d'ensemble. Celles-ci seront contenues dans un ouvrage complémentaire, un guide du maître, qui abordera également

différents aspects du processus d'apprentissage chez l'enfant et comportera un certain nombre de considérations d'ordre sociologique en rapport avec l'activité des professeurs de sciences.

Si l'on veut donner aux élèves la largeur de vues nécessaire pour faire face aux problèmes que soulève l'application de la science à leur vie quotidienne, il faut que l'enseignement des sciences repose sur une base très large. Un tel enseignement doit réunir des éléments soigneusement choisis, tirés de toutes les disciplines scientifiques, y compris les sciences de la terre et de l'espace et les domaines interdisciplinaires.

La portée du *Manuel* a été considérablement accrue à cet effet. La présente édition révisée comprend donc une section plus développée sur les sciences biologiques et de multiples éléments nouveaux relatifs aux sciences de la terre et de l'espace. En outre, la section consacrée aux sciences physiques fait une place beaucoup plus grande à la chimie.

Pour que la science soit perçue par les élèves comme un tout, il faut mettre l'accent sur les concepts clés qui servent de fondement à un grand nombre de disciplines scientifiques. Différents concepts de base matière, énergie et interrelation entre les deux, niveaux d'organisation des êtres vivants, etc. fournissent donc les thèmes essentiels des principaux chapitres de cet ouvrage.

Le style du *Manuel* a été aussi peu modifié que possible pour éviter de désorienter ses nombreux utilisateurs dans le monde entier; certains changements capitaux ont toutefois été apportés à la présentation du texte afin d'en faciliter la lecture

et un index a été ajouté. Les sujets traités ont été groupés sous quatre grandes rubriques : « Ressources, installations et techniques pour l'enseignement des sciences », « Sciences physiques », « Sciences biologiques » et « Sciences de la terre et de l'espace ». Cela n'implique aucunement qu'il soit nécessaire d'organiser l'enseignement scientifique selon ce plan particulier. Mais, comme l'ouvrage s'adresse à des enseignants qui appliquent des programmes d'études très divers par leur contenu et leur structure, cette formule a été adoptée en vue d'en faciliter la consultation et une intégration plus poussée des divers éléments n'a pas été recherchée. On s'est efforcé d'accroître la précision de tous les renseignements fournis et de mentionner uniquement des expériences et du matériel dont il est prouvé qu'ils ne sont pas affectés par les conditions climatiques. Bon nombre des figures et des diagrammes qui se trouvaient déjà dans l'édition précédente ont été refaits. Une grande attention a été accordée aux règles de sécurité à appliquer dans les laboratoires; elles font d'ailleurs l'objet d'une section nouvelle. Les unités employées d'un bout à l'autre de l'ouvrage sont les unités internationales et métriques.

Les utilisateurs du *Nouveau manuel* sont invités à présenter à l'Unesco des commentaires, des critiques et des suggestions qui pourront servir pour la préparation des éditions futures.

Chapitre premier

Ressources, installations et techniques pour l'enseignement des sciences

Quelques suggestions pour l'enseignement des sciences

Ressources utilisables éventuellement en milieu rural (activités écologiques)

Un *champ laissé en jachère* constitue un endroit très favorable à l'observation du processus connu sous le nom de succession. Les premiers végétaux qui germent dans le champ sont appelés pionniers. A mesure que le temps passe, la communauté qui occupe ce champ (écosystème) change : certaines populations sont remplacées par d'autres. Cette relève porte le nom de succession écologique. Souvent, il est possible d'observer un site occupé par une communauté arrivée à l'état de maturité, par exemple une forêt, à proximité immédiate d'un champ abandonné. Il est intéressant d'étudier les divers stades de développement et d'en déduire quels doivent être les stades intermédiaires.

Un *bois* ou une *forêt* proches de l'école permettront : d'observer les changements saisonniers chez les animaux et les plantes; d'étudier leurs modes de vie; de découvrir l'habitat des animaux; de voir comment la vie animale et la vie végétale dépendent l'une de l'autre, comment le milieu physique (humidité, température, ensoleillement) affecte les êtres vivants; de trouver des exemples de plantes et d'animaux utiles ou nuisibles. Exemples d'activités : organisation d'une promenade sur le terrain pour l'observation et la collecte d'échantillons; des spécimens choisis seront apportés en classe.

Un *bâtiment en construction* fournira l'occa-

sion de voir : comment on installe les câbles électriques; comment on assure l'isolation du bâtiment; quels sont les matériaux utilisés; quelle est la différence entre le sol extrait par les terrassiers qui font les fondations et la terre de jardin; comment on évacue les eaux usées. Exemples d'activités : collecte de spécimens de matériaux de construction pour les étudier (fils électriques avec leurs différents types d'isolation, divers types de matériaux d'isolation thermique, échantillons de sols, etc.); conversation avec les ouvriers qui installent l'électricité, la plomberie ou qui exécutent d'autres tâches semblables; observation des procédés utilisés pour décider de l'emplacement d'un puits et pour le creuser, s'il en est prévu un; étude des installations de plomberie; si les W.C. sont extérieurs, étude de leur emplacement par rapport à celui des points d'eau et des raisons qui ont conduit à le choisir.

Une *scierie* aidera : à comprendre comment on choisit les arbres à abattre; à découvrir comment on protège les jeunes arbres, quelles sortes d'arbres sont les plus appréciés et pourquoi; à observer comment on se sert des machines; à apprendre comment on prépare et comment on traite le bois d'œuvre; à observer les changements provoqués dans le monde animal et végétal à la suite d'une coupe. Exemples d'activités : visite de la scierie pour observer son fonctionnement; collecte d'échantillons de bois dont on observera les couches concentriques de croissance; promenade dans les bois permettant d'observer comment on

abat les arbres; étude des diverses machines pour en apprécier l'utilité.

Une *ferme* permettra : d'observer les diverses manières de conserver et de stocker les denrées alimentaires, d'élever les animaux, de cultiver les légumes et les fleurs; d'observer l'emploi de machines à la maison, aux champs, dans la grange, dans le jardin ou le verger; d'observer comment on protège les bâtiments et les champs contre l'incendie et quelles précautions sont prises pour éviter les accidents.

Un *jardin potager ou d'agrément* permettra : d'étudier comment on procure aux plantes suffisamment de lumière, d'humidité ainsi que les autres éléments nécessaires à leur croissance; d'apprendre comment on prépare le sol pour les plantations, comment on repique les plantes et comment on dissémine les graines; d'observer comment s'opère la fécondation des fleurs par pollinisation directe ou croisée et comment les semences germent et poussent; d'apprendre quels sont les sols qui conviennent à la croissance des diverses espèces de plantes et comment on analyse les sols; d'observer comment les plantes emmagasinent les substances alimentaires et comment elles changent avec les saisons. Exemples d'activités : visite du jardin pour observer les plantes et les méthodes de culture; collecte de graines et de fruits montrant les systèmes de dispersion; semis de graines dans la classe pour mieux en étudier la germination et la croissance; expériences concernant l'action de la lumière, de la température et de l'humidité sur la croissance des plantes; aménagement si on le peut d'un jardin à l'école pour mieux étudier la croissance des plantes.

Un *rucher* permettra : d'observer comment on élève les abeilles, comment on construit les ruches et comment on les aménage en prévision des temps froids; d'étudier la formation des essaims et la manière de les capturer sans danger; de comprendre en quoi les abeilles sont utiles à l'homme; de les observer au travail et d'étudier la vie à l'intérieur de la ruche; de voir ainsi un exemple d'insectes vivant en société et d'insectes utiles à l'homme.

Un *ruisseau ou une mare* permettront : d'ob-

server certains types de vie végétale et les adaptations des tiges, racines, fleurs et fruits au milieu humide; d'apprendre comment les animaux sont adaptés à la vie dans l'eau ou au bord de l'eau et de faire la comparaison avec les animaux terrestres; d'observer comment ces animaux et ces plantes changent selon les saisons; d'observer la manière dont ils se procurent la nourriture et dont ils construisent leurs gîtes.

Exploitation des ressources

La valeur des ressources utilisées dépend de l'habileté avec laquelle on en tire parti. Chacune d'elles doit être utilisée à des fins déterminées : aider à résoudre un problème, rendre plus parlant l'énoncé d'un principe scientifique, encourager la curiosité des élèves à l'égard de leur environnement.

Lors de la préparation d'une excursion, professeur et élèves doivent avoir clairement présent à l'esprit un ou plusieurs problèmes nettement définis. Le maître accompagné peut-être d'un petit groupe d'élèves se rendra d'abord sur les lieux que la classe doit visiter pour s'assurer que l'endroit est bien celui qui convient et qu'il est accessible.

Chaque fois que les élèves se proposent de demander des renseignements à un habitant, on s'assurera que celui-ci comprend bien l'objet de la visite et saura mettre ses explications à la portée des élèves.

Les discussions collectives qui doivent faire suite à l'excursion seront préparées avec soin. On s'appuiera, pour la solution du problème posé, sur les données appropriées et l'on consignera par écrit les résultats toutes les fois qu'ils sembleront susceptibles d'être utilisés par la suite.

Installations pour l'enseignement des sciences

Aménagement d'un « coin des sciences » dans la classe. Réserver un coin de la salle de classe et l'appeler le « coin des sciences ». Se procurer, si possible, une ou deux tables pour les expériences

ou les expositions. Le gardien de l'école aidera peut-être à installer sous la table des rayonnages pour ranger des matériaux, des fournitures et des appareils, comme on le verra plus loin. Encourager les élèves à apporter des objets qui pourront être exposés dans le « coin des sciences ». On ne laissera jamais ces objets trop longtemps sur la table; ils perdraient tout leur intérêt : le « coin des sciences » doit être un lieu d'activité et de renouvellement.

Tableau d'affichage scientifique. Si on les y encourage, les enfants apporteront très souvent à l'école des coupures intéressantes de journaux ou de revues. Elles seront fixées sur le tableau d'affichage, ainsi que des dessins et d'autres documents provenant des leçons de sciences. Un bon emplacement est juste au-dessus des tables, dans le « coin des sciences ». Le panneau d'affichage peut être en bois tendre ou en fibre agglomérée.

Étagère à collections. Dès qu'ils y prennent goût, les enfants deviennent des collectionneurs insatiables et, bien sûr, certaines des Choses qu'ils collectionnent prendront le chemin de l'école. Il faut les encourager, et une manière d'y parvenir est d'aménager une étagère en musée scolaire où les collections ou spécimens pourront être exposés.

Aquariums et terrariums. Aquariums et terrariums sont des centres d'intérêt permanents, propices à l'observation de nombreux phénomènes scientifiques importants. On trouvera au chapitre trois des conseils pour la fabrication et l'entretien des aquariums.

Cages pour animaux. On peut garder dans la classe plusieurs types d'animaux pour les observer. Certains supportent mieux que d'autres cette captivité. On peut aussi encourager les enfants à apporter leurs animaux favoris pour de courtes périodes d'observation et d'étude. On trouvera au chapitre quatre des suggestions pour la construction de cages.

Installation d'une station météorologique. Le cha-

pitre quatre contient la description d'instruments météorologiques simples susceptibles d'être fabriqués à partir de matériaux très courants. L'observation quotidienne des changements de temps est pleine d'intérêt et peut donner lieu à des leçons de sciences très utiles.

Culture deplantes. De petits pots de fleurs disposés sur un appui de fenêtre bien éclairé suffiront largement pour faire germer des graines et cultiver des plantes de faible encombrement. Si certaines expériences exigent plus de place, on pourra se procurer de petites boîtes peu profondes ou en fabriquer avec des planchettes ou de vieilles planches de caisses.

Effets du climat tropical. Sous les tropiques, de nombreux inconvénients peuvent nuire au bon fonctionnement d'un laboratoire, surtout pendant la saison humide. Les matériaux se gâtent, les papiers se collent, les instruments rouillent, les spécimens moisissent, un champignon se forme sur les lentilles, endommageant leurs surfaces polies et les rendant inutilisables. Enfin les fourmis, les termites et d'autres insectes poursuivent leur incessante œuvre de destruction.

On conservera donc dans des récipients hermétiquement clos tout ce qu'on peut y mettre. L'idéal est de disposer de bocaux en verre, tels que les bocaux à spécimens, avec un couvercle bien enduit de graisse. Les bouteilles à bouchon à vis, comme par exemple les bocaux à bonbons, se révéleront très pratiques. Des boîtes en métal, à biscuits ou cake, deviendront passablement étanches grâce à un ruban adhésif isolant collé sur le joint du couvercle.

Les lentilles des microscopes seront placées dans un dessiccateur entre les périodes d'utilisation. Un bout de ficelle imprégné de créosote et placé avec l'oculaire dans la boîte à accessoires retarde l'apparition des moisissures.

Pendant la saison humide, microscopes, galvanomètres et autres instruments délicats seront, si possible, rangés dans un placard étanche où une ampoule de 50 watts restera allumée en permanence. Les aiguilles peuvent être piquées dans un morceau de tissu imprégné de vaseline. Les

instruments métalliques, palmers ou calibres à vis, pieds à coulisse, diapasons, etc., seront graissés. On huilera fréquemment les vis des socles de supports, les anneaux et les serre-joints, noix ou étriers. Les scalpels seront enduits de vaseline et conservés dans un étui. On passera un chiffon imprégné d'huile sur les parties métalliques des outils.

La sécurité au laboratoire

La leçon de sciences profite considérablement des activités dirigées et des expériences qui l'accompagnent, en raison de l'intérêt passionné que peuvent y prendre les élèves. Mais ces activités peuvent également être dangereuses et le professeur de sciences doit prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter les accidents.

Beaucoup de nos occupations quotidiennes comportent quelque danger : allumer un feu, traverser une rue, conduire une voiture ou même prendre un bain peuvent être occasion d'accident; la crainte de l'accident ne nous empêche tout de même pas de nous livrer à ces activités. Nous apprenons plutôt à nos enfants quels sont les dangers qu'elles présentent pour qu'ils puissent en tirer joie et profit tout en évitant les risques. Le même raisonnement vaut pour les leçons de sciences. Il convient d'apprendre aux enfants quels sont les dangers que chaque activité peut présenter et comment y parer. Voici un certain nombre de précautions générales.

Feu, brûlures. La brûlure est peut-être l'accident le plus fréquent dans un laboratoire. On peut éviter la plupart des brûlures si les élèves retiennent que « ce qu'on chauffe devient brûlant, et peut rester brûlant pendant quelque temps ». La chose est évidente, et pourtant on l'oublie souvent. Les élèves placent un morceau de métal ou de verre dans une flamme pendant quelques secondes, le retirent et mettent les doigts sur l'extrémité pour voir si c'est chaud : bien sûr que c'est chaud! Et malheureusement la plupart des objets brûlants ne se distinguent des mêmes objets froids ni à la vue, ni à l'odorat, ni à l'ouïe. C'est

seulement au toucher qu'on peut s'en apercevoir, et, si l'objet en question est trop chaud, même un contact prudent peut occasionner une brûlure. Autre avertissement simple au sujet du feu : « ne jamais mettre de choses inflammables près d'une flamme découverte ». Les élèves doivent bien comprendre que les vêtements, les cheveux, le papier, le bois et de nombreux produits chimiques courants prennent feu assez facilement. Les brûleurs doivent être éteints quand ils ne servent plus. Une précaution supplémentaire en ce qui concerne les lampes à alcool : si une grande quantité de chaleur se trouve renvoyée vers le bas, vers le réservoir (par exemple, lorsqu'on fait chauffer quelque chose dans une boîte en métal brillant pouvant former déflecteur), il peut arriver que l'alcool se vaporise dans ce dernier : le petit brûleur devient alors une sorte de chalumeau à température très élevée.

Coupures, éclats de verre. Les coupures sans gravité sont un deuxième type d'accident très courant. Elles ont en général trois causes : tubes de verre cassés, récipients de verre jetés par terre et explosions d'appareils producteurs de gaz.

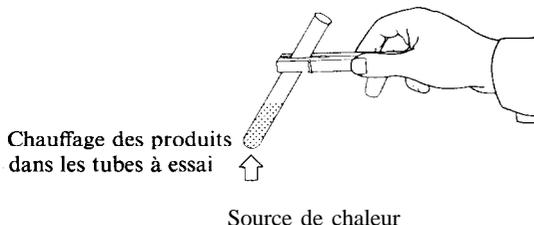
On évitera à peu près toutes les coupures occasionnées par les tubes de verre si on entoure le tube d'un torchon avant de l'enfoncer dans un bouchon. Le verre, préalablement lubrifié à la glycérine ou à l'eau, sera tenu au moyen du torchon et on le fera pénétrer dans le bouchon en le tournant.

Toutes les extrémités des tubulures ou tubes de verre seront bordées à la flamme, mais on prendra soin de ne pas les boucher. Si l'extrémité a été involontairement bouchée et qu'on utilise ensuite le tube dans un dispositif de distribution de gaz, le passage du gaz est bloqué et il peut se produire une explosion. On vérifiera donc toujours les dispositifs de génération de gaz pour s'assurer que les circuits ne sont pas obstrués. Des précautions particulières s'imposeront quand on fabriquera de l'hydrogène ou de l'oxygène, en raison du risque supplémentaire d'explosion. Les procédés de fabrication de ces gaz qui demandent l'utilisation d'une source de chaleur *sont fortement déconseillés*.

Il est évident que les risques de coupures dues à la chute d'objets de verre seront beaucoup moins grands si les récipients de verre sont disposés sur le sol ou sur une étagère d'où il y a peu de chances qu'on les fasse tomber accidentellement. Ceci est particulièrement le cas des grandes bonbonnes d'acides, de gaz ou de liquides inflammables.

Le verre cassé doit être jeté dans des récipients spéciaux et non pas dans la poubelle ou la corbeille à papiers : penser aux gens qui évacuent les déchets.

Chauffage des produits dans les tubes à essai. Quand on fait chauffer des produits dans un tube à essai, il convient d'imprimer au tube un mouvement de va-et-vient sur la flamme, et l'ouverture du tube ne doit jamais se trouver dirigée vers les personnes présentes mais vers une paroi (voir figure).



Ne jamais remplir un tube à essai à plus du tiers ou de la moitié de sa capacité pour éviter qu'il ne déborde quand on porte le contenu à ébullition. Pour transvaser des produits, tenir les récipients à bout de bras.

Comment sentir et goûter. Le nez est un organe fragile : soyons prudents chaque fois qu'il s'agit de sentir des produits chimiques ! La bonne technique consiste à placer la main derrière le tube ou récipient, comme un déflecteur : on enverra le gaz vers les narines et on le flairera avec précaution (voir figure).

Si l'on ne perçoit aucune odeur, on peut approcher le visage et recommencer. Pour ce qui est de goûter, la règle la plus sûre est *abstiens-toi!*



Comment sentir

N'introduire dans la bouche que les substances connues pour être absolument sans danger (comme le simple sel de cuisine ou le sucre) : certains produits sont tellement toxiques que même une fraction de gramme peut se révéler fatale.

Produits chimiques dangereux. Se rappeler que tout produit chimique peut être dangereux. *En aucun cas on ne doit tolérer que les élèves fassent des expériences sans autorisation et aucune expérience ne doit être autorisée si l'on n'est pas absolument sûr qu'elle est sans danger.* Les expériences décrites dans ce livre doivent être considérées comme sans danger si aucun avertissement ne les accompagne. Par ailleurs, la nature du danger doit en principe ressortir clairement de l'avertissement, mais *dans le doute, abstenez-vous* : c'est le fusil « non chargé » qui tue et c'est l'expérience tenue pour inoffensive qui, souvent, provoque l'accident. Ainsi, des produits comme le sucre, le soufre et la limaille de zinc sont absolument sans danger... en principe; mais, mélangés à des agents très oxydants comme les chlorates ou les permanganates, ils forment des mélanges explosifs. On trouvera ci-dessous une liste de quelques-unes des catégories de produits chimiques les plus dangereux, avec les dangers qu'ils présentent.

Acides et bases. Tous les acides « forts » ou « acides minéraux » comme l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique ou l'acide nitrique sont dangereux lorsqu'ils sont concentrés. Dilués, leur manipulation n'offre que peu de dangers : il suffit de laver à grande eau si de l'acide est répandu.

Naturellement, le plus grand risque est le contact avec les yeux, aussi convient-il de les protéger derrière des lunettes spéciales. Certains acides, tels que l'acide sulfurique et l'acide nitrique, sont plus dangereux que d'autres parce qu'ils sont aussi très oxydants. Les acides organiques sont en général moins dangereux que les acides minéraux, mais il y a des exceptions. Ainsi, le phénol (ou acide phénique, acide carbolique) et l'acide oxalique sont dangereux, non en tant qu'acides, mais parce qu'ils sont toxiques. Les bases fortes telles que l'hydroxyde de sodium (soude caustique) et l'hydroxyde de potassium (potasse caustique) peuvent occasionner le même genre de brûlures que les acides forts. Les bases faibles, comme l'hydroxyde de calcium (chaux éteinte) peuvent également provoquer des brûlures si elles restent longtemps au contact de la peau. Les solutions diluées des bases sont relativement sans danger, mais on se lavera tout de même immédiatement à grande eau pour les éliminer de la peau.

Produits oxydants. Les oxydants sont des produits qui activent la combustion. Au contact des matières qui peuvent être combustibles (comme toutes les matières organiques) il y a danger d'explosion ou d'inflammation. Parmi les produits les plus dangereux de cette catégorie, il faut citer les chlorates, les peroxydes, les perchlorates et l'acide perchlorique. Étant donné que le chlorate de sodium et le chlorate de potassium sont des produits assez courants, il convient d'être averti de leur danger. Il s'agit de composés stables et on peut les manipuler en toute sécurité à condition de faire très attention. On prendra soin d'éviter tout contact entre ces produits et les acides forts : en effet ils forment avec eux du dioxyde de chlore, qui est toxique, et ils peuvent également exploser. On les éloignera des substances facilement oxydables telles que le soufre, les sulfures, le phosphore, le sucre, les alcools, les solvants organiques, les composés ammoniacaux, les métaux en poudre, les huiles ou les graisses et les poussières de toutes sortes.

Bonnes habitudes à prendre. Quelques mots main-

tenant de certaines manières d'opérer à respecter systématiquement.

1. Mettre toujours des lunettes de protection s'il y a un risque de projections de produits brûlants ou caustiques dans les yeux.
2. Toujours faire bien attention aux étiquettes des flacons de réactifs : les lire plutôt *deux fois* qu'une; il y a une grande différence entre du chlorure de potassium et du chlorate de potassium, entre du chlorure mercurique et du chlorure mercurique, entre du manganèse et du magnésium.
3. Ne jamais diriger vers une personne présente un tube à essai ou un dispositif qui peut projeter un gaz ou un liquide.
4. Vérifier toujours, avant usage, que les verres ne sont pas fêlés.
5. Tous les objets en verre, quels qu'ils soient, doivent être placés au fond de la table d'expériences pour éviter toute casse. Les bonbonnes ou réserves seront sur le sol ou près du sol.
6. Toute blessure, si légère soit-elle, doit faire l'objet de soins médicaux immédiats.
7. Pour diluer un acide, il faut toujours verser progressivement l'acide dans l'eau, jamais l'inverse.
8. Le laboratoire doit absolument être tenu propre et en ordre. On jettera les débris de verre ou de métal dans des récipients spéciaux et l'on fera couler l'eau en abondance dans l'évier après y avoir évacué des produits chimiques.

Emploi du mercure. Si étrange que cela paraisse, le mercure se vaporise même à la température où l'eau gèle, produisant une vapeur inodore, incolore et sans saveur, dont la concentration dépend de la température. Cette vapeur est toxique et peut affecter le système nerveux. Le mercure pénètre dans l'organisme facilement par inhalation, par ingestion ou à travers la peau. Une action prolongée peut entraîner un empoisonnement progressif, qui se traduit par des symptômes nerveux ou psychiques.

Que faire si du mercure se répand. Le mercure s'insinue dans les fentes, se mélange à la poussière et pénètre dans des corps comme le bois, les carreaux, les tuyaux de fer et la brique. Si l'on

utilise du mercure, il faut avoir des sols lisses et sans fissures : les fentes seront bouchées avec du vernis. Le mercure répandu doit être enlevé aussitôt; la salle sera évacuée et l'on ouvrira les fenêtres pour mieux aérer. On fermera les portes donnant sur les couloirs. Le mercure répandu sera récupéré immédiatement par pompage à la trompe à eau ou au moyen d'une serpillière mouillée : à défaut, on utilisera une pelle à ordures et un balai ou un lave-pont en caoutchouc pour rassembler le mercure en une seule masse. On le recueillera dans un récipient solide de plastique, de verre ou de métal pouvant être scellé hermétiquement. Les nombreuses petites gouttelettes restées dans les fentes et les fissures peuvent encore être nocives, même après qu'on a recueilli la majeure partie du mercure : on traitera donc soigneusement la zone contaminée au calcium, au polysulfure de sodium ou à la fleur de soufre le soufre du commerce destiné au soufrage des vignes convient très bien. Ces corps se combinent au mercure pour donner un composé inerte qui ne s'évapore pas. Toutes les fois qu'on doit utiliser du mercure, il est recommandé d'avoir une réserve de fleur de soufre à portée de la main.

Protection de la peau. On évitera à tout prix

de faire entrer du mercure ou de la vapeur de mercure en contact avec la peau. On portera des gants imperméables et des chaussures à semelle de caoutchouc (le cuir absorbe le mercure). On se lavera soigneusement les mains, si elles ont touché du mercure, pour éviter l'absorption à travers la peau. Si du mercure s'est répandu, on inspectera les vêtements : il peut en effet avoir pénétré accidentellement dans les revers de pantalon, les poches ou d'autres ouvertures.

Stockage. On stockera le mercure dans un endroit bien aéré où les récipients seront tenus au frais et à l'abri des rayons du soleil. On évitera les parquets de bois : on préférera le linoléum épais, le ciment non poreux, le carrelage ou un sol vitrifié; ce qu'il faut, c'est un sol uni et dépourvu de fissures. N'utilisez pas de mercure, n'en conservez pas, à proximité de sources de chaleur ou d'ammoniaque. Tenez les récipients bien bouchés en dehors des périodes d'utilisation ; ceci est très important : un faible courant d'air qui passe sur un vase ouvert contenant du mercure à la température ambiante peut entraîner plusieurs milligrammes de mercure par mètre cube d'air. Si l'on dispose d'une armoire étanche, elle conviendra très bien pour le stockage du mercure.

Outillage et techniques utiles

Outils

Il arrive que des expérimentateurs adroits obtiennent des résultats extraordinaires avec un outillage extrêmement réduit; il est donc impossible de dire en quoi consiste l'outillage minimal. De toutes manières, chacun constituera probablement son outillage petit à petit et on ne renoncera pas à un projet sous prétexte que tel ou tel outil fait défaut. Voici ce qu'il faudra prévoir pour commencer :

Outils pour le travail du métal. Étau, scie à métaux, tournevis, pinces (universelles et à becs ronds), pinces coupantes, marteau, fer à souder électrique ou ordinaire, chignole électrique, mèches

hélicoïdales, tarauds et filières, diverses sortes de limes, pointe à tracer.

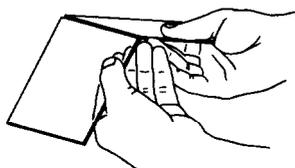
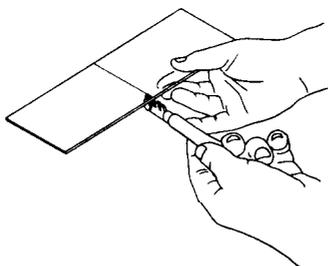
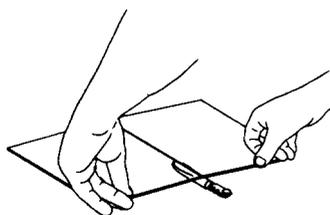
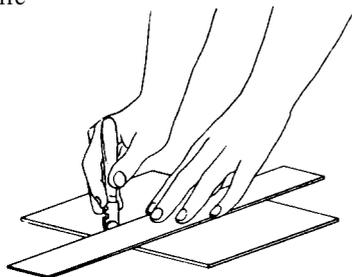
Outils usuels pour le travail du bois. Ciseaux, scie ordinaire, scie à refendre, rabot métallique, râpe ou rabot-râpe, vilebrequin et forets, un choix de colles et de ciments, peintures de couleurs différentes.

Comment couper le verre

1.1 Coupe droite

La roulette à couper le verre ne le coupe pas, mais le fêle : si la roulette est bien aiguisée et qu'on la manoeuvre à la surface du verre à la vitesse et

1.1 Coupe du verre



avec la pression voulues, elle trace une fine rainure en écrasant le verre et en le pulvérisant légèrement. Les flancs biseautés de la roulette agissent comme des coins qui forcent les bords de la rainure et fendent le verre, amorçant une fêlure. Si cette amorce de fêlure ne se produit pas, tapoter sur la rainure avec la tête de la roulette. Avant

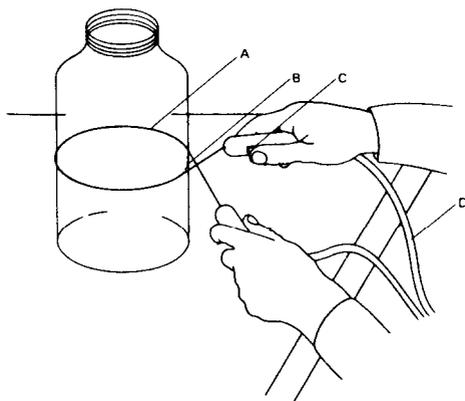
d'essayer de faire une coupe bien propre, faire quelques essais sur un bout de verre inutilisable, pour apprendre à régler la vitesse et la pression qui permettront d'avoir une cassure franche (voir figure). Le verre à vitres ordinaire se présente en deux épaisseurs, simple ou double. Le verre simple est plus mince et plus facile à couper. La glace, jusqu'à 6 mm d'épaisseur, se coupe de la même manière que le verre à vitres ordinaire. Le verre de sécurité feuilleté, fait de deux feuilles de verre, ou davantage, soudées par un plastique transparent, demande un outillage spécial.

1.2 Coupe de tubes de verre

Une des manières de couper des tubes est de faire une marque à la surface avec une lime triangulaire ou tiers-point : donner un coup de tiers-point en poussant. L'arête d'une lime plate ordinaire peut jouer le même rôle. Donner le coup de lime à angle droit par rapport à l'axe du tube afin que celui-ci se casse bien droit. Pour le casser, le poser sur l'établi en mettant une allumette ou un cure-dent juste au-dessous du trait de lime, celui-ci étant sur le dessus du tube. Maintenir solidement l'une des extrémités du tube et appuyer sur l'autre : il se cassera d'un seul coup. Une autre méthode fréquemment employée consiste à donner un léger trait de lime sur le tube, puis à prendre le tube ainsi rayé solidement entre les deux mains, les pouces étant dirigés l'un vers l'autre mais de chaque côté du trait de lime et à casser le tube en ramenant les poignets vers soi. Passer les extrémités coupées à la flamme pour les border.

1.3 Coupe-verre à résistance électrique

Se procurer environ 60 cm de fil de nichrome d'environ 0,55 mm de diamètre et le munir à ses extrémités de poignées isolantes improvisées dont une pourvue d'un interrupteur. Brancher sur une source de courant 12 V, 5 A (batterie de voiture ou transformateur). S'assurer que les connexions et l'interrupteur sont assez forts pour le courant débité. Le fil doit être porté au rouge quelques secondes après la mise du contact : s'il ne rougit pas, vérifier d'abord l'alimentation et les connexions. Il peut s'avérer nécessaire de rac-



Coupe-verre à résistance électrique

- A Fil de nichrome d'environ 0,5 mm de diamètre
- B Petit trait de lime sur le flanc de la bouteille
- C Interrupteur dans une poignée
- D Fil électrique d'alimentation

couvrir le fil s'il persiste à ne pas chauffer suffisamment. Faire un léger trait de lime sur le bocal de verre à l'endroit où les fils se croiseront. Former une boucle avec le fil et le placer à l'endroit choisi pour la coupe, en empêchant les fils de se toucher à l'endroit où ils se croisent, dans le trait de lime. Mettre le contact et, au bout de quelques secondes, le verre doit normalement se casser net à l'endroit du fil. Si cela ne s'est pas produit au bout de 15 à 20 secondes, couper le contact, enlever rapidement le fil de nichrome et placer le bocal sous le robinet d'eau courante : la rétraction du verre provoquera alors la cassure selon la ligne prévue. Soyez prudent au cours de cette dernière opération (voir figure).

Nettoyage de la verrerie

Les solvants forts utilisés pour le nettoyage seront réservés au maître et interdits aux élèves. Faire dissoudre 100 g de bichromate de potassium dans une solution d'acide sulfurique de 100 g d'acide concentré pour un litre d'eau. On fera tremper la verrerie dans cette solution, qui peut servir de nombreuses fois.

Attention : prendre grand soin d'éviter tout contact entre cette solution très corrosive et la peau ou les vêtements. Pour étendre l'acide sulfurique concentré, utiliser un récipient en grès ou en terre. Verser l'acide très lentement dans l'eau : l'opération dégage une grande quantité de chaleur.

Le professeur utilisera ses connaissances de chimie pour faire disparaître les taches d'origine connue. Si des récipients sales ont contenu des bases, ou des sels alcalins, il est bien évident que c'est avec un peu d'acide dilué qu'on peut d'abord essayer de les nettoyer; si les taches sont dues au permanganate de potassium, on essaiera une solution de sulfite de sodium, acidifiée au moyen d'un peu d'acide sulfurique dilué, etc. Les alcalis attaquent lentement le verre et les bouteilles qui ont contenu de la soude caustique, etc., pendant longtemps ne redeviendront jamais parfaitement transparentes.

Soudure

La soudure sert à assembler les surfaces métalliques : cuivre, fer, nickel, plomb, étain, zinc et aluminium par exemple. Elle est particulièrement utile pour les connexions électriques, l'assemblage de tôles et le bouchage des joints pour éviter les fuites. Le fers à souder ou pistolets électriques sont très utilisés pour les montages électriques, mais on peut également faire des soudures avec des fers ordinaires en cuivre, non électriques.

1.4 Soudures

La plupart des soudures tendres sont des alliages d'étain et de plomb. Celles qui servent à souder l'aluminium sont en général des alliages d'étain et de zinc ou d'étain et de cadmium. Les points de fusion de la plupart des soudures en alliage de plomb et d'étain sont de 165 °C ou plus. Les soudures étain-plomb portent en général des numéros qui précisent les proportions d'étain et de plomb. Le premier chiffre indique le pourcentage d'étain, le deuxième le pourcentage de plomb. Les soudures à fort pourcentage d'étain sont plus chères que celles qui contiennent beaucoup de plomb.

D'une manière générale, les soudures à fort pourcentage d'étain ont un point de fusion moins élevé que celles à fort pourcentage de plomb; les premières sont préférables pour les contacts électriques, tandis que les autres offrent une plus grande résistance mécanique.

On trouve les soudures sous différentes présentations : baguettes, fils, lingots et poudres. Les soudures en fils sont vendues avec ou sans décapant incorporé.

1.5 Décapants

Pour qu'une soudure soit bonne, il faut que le métal à souder, l'extrémité du fer à souder et la soudure elle-même soient débarrassés de tout corps étranger (saleté, corps gras, oxydes, etc.) qui empêcherait la soudure d'adhérer au métal. Les décapants sont employés pour nettoyer les surfaces à souder, faire disparaître la petite couche d'oxyde normalement présente à la surface d'un métal et empêcher une nouvelle oxydation. Ils réduisent également la tension superficielle de la soudure et en font un meilleur agent mouillant. On utilisera le décapant approprié au métal à souder, comme indiqué ci-dessous.

Métaux	Décapants
Laiton, cuivre, étain	Colophane
Plomb	Suif, colophane
Fer, acier	Borax, chlorure d'ammonium
Fer galvanisé	Chlorure de zinc
Zinc	Chlorure de zinc
Aluminium	Stéarine, décapant spécial

On classe généralement les décapants en trois catégories : corrosifs forts, corrosifs moyens et non corrosifs. Les décapants non corrosifs sont utilisés pour la soudure des contacts électriques ou pour d'autres travaux exigeant l'absence de toute trace de résidu corrosif. La colophane est le décapant non corrosif le plus couramment utilisé. A l'état solide, la colophane est neutre et non corrosive; à chaud, elle devient suffisamment active pour réduire les oxydes présents à la surface du métal chauffé et agir comme décapant. On

la trouve sous forme de poudre, de pâte ou de liquide.

Les décapants à base de colophane laissent souvent une trace brune sur le métal soudé. Celle-ci est difficile à enlever, mais on peut l'éviter jusqu'à un certain point en ajoutant un peu d'essence de térébenthine à la colophane. On additionne quelquefois la colophane d'un peu de glycérine pour en renforcer l'action.

1.6 Techniques de soudure

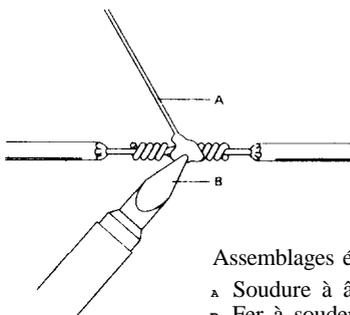
Les remarques générales suivantes sont valables pour la plupart des travaux de soudure :

1. S'assurer que toutes les surfaces à souder sont totalement débarrassées de tout corps étranger (saleté, oxyde, matière grasse, etc.). Si possible, les éléments à souder doivent être assemblés mécaniquement, de telle sorte que la soudure aura seulement pour fonction de maintenir l'assemblage, comme la colle de menuisier maintient un assemblage en bois.
2. Utiliser la soudure et le décapant correspondant au type de soudure à effectuer. Se rappeler que le point de fusion du décapant doit être *plus bas* que le point de fusion du type de soudure utilisée.
3. Chauffer les parties à souder juste assez pour faire fondre la soudure : la soudure ne prend pas sur des surfaces non chauffées. Mais on fera très attention à ne pas trop chauffer la soudure, les fers à souder ou les parties à souder; en règle générale, la soudure ne doit pas être chauffée au-delà de la température requise : l'élévation de la température de la soudure fondue accroît le taux d'oxydation et, si la surchauffe se produit au contact de l'air, l'oxydation fait perdre plus d'étain que de plomb.

1.7 Connexions électriques

Pour souder les connexions électriques, employer une soudure à âme de colophane. La raison est qu'il est habituellement difficile, voire même impossible, de faire disparaître le décapant acide des appareils électriques, qu'il s'agisse de décapant incorporé à la soudure ou de décapant appliqué au pinceau. Or l'acide qui reste une fois la

soudure faite provoque une corrosion indésirable. Pour souder des fils électriques, placer le fer à souder (la panne) sous l'épissure à souder, en assurant le contact le plus large possible de manière à



Assemblages électriques

- a Soudure à âme de colophane
- b Fer à souder

permettre le plus grand transfert de chaleur possible; appliquer la soudure à âme de colophane sur l'épissure (voir figure). Éviter de trop chauffer les pièces électriques.

1.8 Soudure à la lampe à souder

La lampe à souder est souvent utilisée pour les petits travaux ou pour les endroits peu accessibles. On peut utiliser une lampe au propane ou à l'alcool. La technique consiste en général à faire agir la flamme de la lampe sur les surfaces à souder et à appliquer ensuite la soudure froide, baguette ou fil : les surfaces chauffées feront fondre cette soudure. Au fur et à mesure, en enlèvera la soudure en excès au moyen d'un torchon humide avant qu'elle ait le temps de durcir.

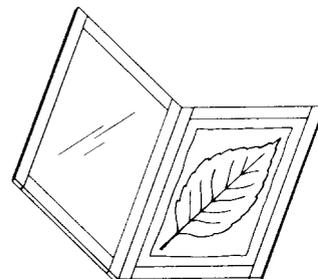
Tirages héliographiques et diazo

Se procurer deux plaques de verre d'environ 25 x 35 cm. Les border avec une ganse adhésive et les réunir par leur plus grand côté au moyen d'un adhésif formant charnière.

1.9 Tirages héliographiques

Placer une feuille de papier héliographique, face verte en dessus, sur l'une des plaques de verre; placer l'objet à reproduire sur le papier (voir figure) : un négatif photographique, une feuille

d'arbre ou un morceau de dentelle donneront de bons résultats. Les maintenir en place au moyen de la deuxième plaque de verre. Les exposer au soleil de 20 secondes à plusieurs minutes, selon

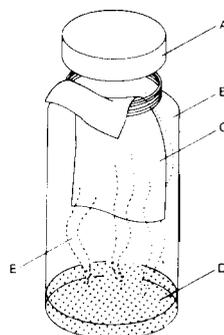


l'intensité de la lumière solaire. Rincer le papier en le mettant dans une cuvette d'eau pendant quelques minutes : toute la couche sensible non exposée sera entraînée. Mettre à sécher sur une table à la surface lisse et bien plate.

1.10 Tirages diazo

Même technique que pour les tirages hélio jusqu'au stade du lavage : dans ce cas, ce n'est pas de l'eau qu'on utilise, mais des vapeurs d'ammoniac. On exposera le papier à ces vapeurs pendant quelques minutes, dans un grand bocal. Le papier cessera alors d'être sensible à la lumière (voir figure).

Ces expériences peuvent inciter certains élèves à effectuer des travaux en utilisant les produits photographiques, plus sensibles : se renseigner



- A Couvercle
- B Bocal à large goulot
- C Papier diazo
- D Ammoniaque ordinaire du commerce
- E Vapeurs d'ammoniac

auprès des commerçants locaux pour le développement des films et des papiers photographiques.

1.11 Fabrication de papier héliographique

Préparer des solutions de ferricyanure de potassium (10 g pour 50 cm³ d'eau) et de citrate double ammoniaco-ferrique (10 g pour 50 cm³ d'eau) : ces solutions doivent être préparées séparément et tenues à l'abri de la lumière. Pour l'utilisation, les

mélanger par quantités égales en lumière atténuée et les mettre dans une cuvette plate en verre ou une cuvette émaillée. On rend le papier sensible en passant cette solution à sa surface au moyen d'un pinceau large et doux, ou encore en laissant flotter le papier à la surface du liquide pendant quelques secondes. Le papier, une fois sensibilisé, sera mis à sécher en le suspendant dans la chambre noire.

Fabrication d'instruments d'usage général

Instruments de pesage

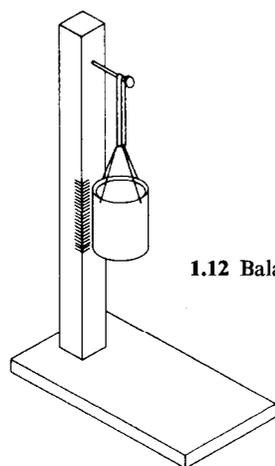
1.12 Balance simple

A l'aide d'une pointe, faire quatre trous dans une vieille boîte à conserves, en les espaçant régulièrement sur la circonférence; y faire passer des bouts de ficelle qu'on attachera ensemble et fixer ce plateau de balance à un bracelet de caoutchouc suspendu à un clou (voir figure). Si l'on ne dispose pas de poids, on peut établir une graduation en versant dans la boîte des volumes d'eau connus grâce à un récipient gradué et en traçant des repères sur la colonne support, à la hauteur du bord du plateau. On cherchera ensuite des cailloux qui provoqueront des allongements équiva-

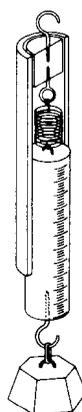
lents du caoutchouc, et on les marquera pour s'en servir ultérieurement comme poids. On peut aussi utiliser des pièces de monnaie.

1.13 Peson à ressort

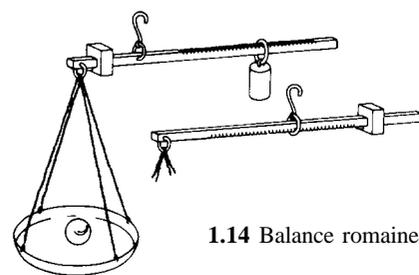
Un peson à ressort à boudin risquera moins de se détériorer si le ressort est enfermé dans un tube. La lecture se fait à l'extrémité inférieure du tube sur un curseur de bois gradué qui coulisse à l'intérieur du tube (voir figure). Commencer par enrouler le ressort et le fixer par un petit piton à oeillet à un embout (plastique ou bambou) bien ajusté à l'intérieur du tube. Fixer l'autre extrémité du ressort au moyen d'une agrafe métallique à un cylindre de bois couissant dans le tube. Fixer



1.12 Balance simple



1.13 Peson à ressort



1.14 Balance romaine

l'embout au sommet du tube et y visser un crochet de suspension. Visser un autre crochet au curseur coulissant : on peut alors porter des graduations sur ce curseur.

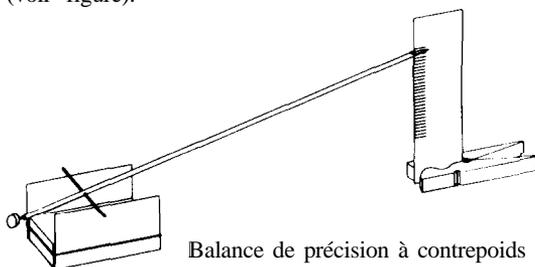
1.14 Balances romaines

On peut improviser des balances romaines (ou pesons) avec des bouts de tuyaux de plomb ou de fer servant de contrepoids et des boucles de fil de fer servant de couteaux (voir figure).

Le fléau peut être soit en bois, soit en métal : dans ce dernier cas, on peut faire à la lime, sur l'arête inférieure du fléau, des encoches correspondant à différents poids.

1.15 Balance de précision à contrepoids

Se procurer un petit boulon qui s'ajuste exactement à l'intérieur d'une paille (chalumeau pour boire les boissons fraîches); l'adapter à l'une des extrémités et donner quelques tours de vis. Repérer à peu près le point d'équilibre de cet ensemble et piquer une aiguille à coudre dans la paille pour servir de pivot. Pour une meilleure stabilité, le trou sera légèrement au-dessus de l'axe de la paille (voir figure).



Balance de précision à contrepoids

Tailler en biseau l'autre extrémité de la paille. Une fois l'aiguille en place, la mettre à cheval sur les bords de deux lamelles de microscope (ou de deux lames de rasoir) disposées parallèlement et maintenues par une planchette et un bracelet de caoutchouc. Régler le boulon pour que la paille forme un angle d'environ 30 degrés par rapport à l'horizontale. Placer un petit carton verticalement derrière le biseau de la paille en le maintenant au moyen d'une pince à linge ou d'une planchette et d'une punaise : ce carton portera les graduations.

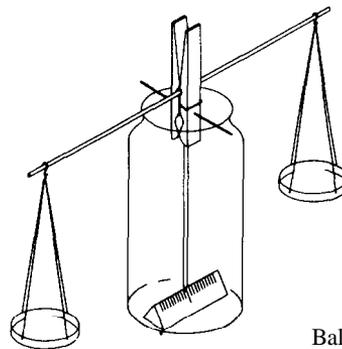
Suspendre au biseau qui peut servir de petit plateau un cheveu, ou un bout de papier de soie et repérer l'abaissement du fléau. Pour une mesure il faut étalonner la balance. On peut utiliser du papier d'aluminium (provenant de paquets de cigarettes) pour en faire de petits poids.

Couper ce papier d'aluminium en petits carrés de 1 mg, 2 mg, etc., et les placer dans le « plateau » au moyen de petites pinces faites de fil de cuivre soudé. Repérer les positions du fléau correspondant aux divers poids et les inscrire sur le carton. On peut faire varier la sensibilité de la balance en agissant sur le boulon.

1.16 Balance de précision à fléau et plateaux

Pour faire cette balance, il faut disposer d'une pince à linge, d'une aiguille à tricoter rigide d'environ 30 cm de long, de deux épingles ou aiguilles et d'un support tel que bouteille à lait ou bocal à conserves (voir figure).

Le fléau est constitué par l'aiguille à tricoter passant dans le trou du ressort de la pince à linge. Les couteaux sont les deux aiguilles ou épingles, une de chaque côté de la pince à linge, un peu au-dessous du trou où passe l'aiguille à tricoter. Celle-ci doit être équilibrée de chaque côté de l'épingle à linge et peut être bloquée par un petit coin de bois. Les mâchoires de la pince à linge, dirigées vers le bas, serrent un crayon qui sert d'aiguille indicatrice. Les plateaux sont constitués par deux couvercles de boîtes métalliques percés sur leur pourtour de trous régulièrement espacés. Des ficelles passées dans ces trous sont attachées



Balance de précision à fléau et plateaux

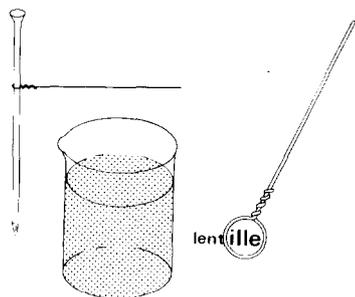
ensemble et suspendues au fléau par une boucle. Une fois les plateaux équilibrés, il est recommandé de faire un trait de lime sur l'aiguille à tricoter pour que les boucles ne glissent pas sur celle-ci. Enfin, une échelle graduée sera placée à l'intérieur du bocal en face de l'aiguille indicatrice.

On peut utiliser comme poids des pièces de monnaie, des capsules de bouteille, des allumettes, etc., étalonnées au moyen de poids marqués. Si on ne dispose pas de poids marqués, on peut mettre deux fioles identiques dans les deux plateaux, et verser dans l'une des quantités d'eau connues, mesurées dans un verre gradué. Faute de mieux, une vieille seringue graduée en centimètres cubes peut servir de doseur pour de très petites quantités d'eau. On peut improviser un système de poids divisionnaires en suspendant au fléau un anneau de fil métallique.

Instruments d'optique

1.17 Loupe facile à réaliser

Enrouler un fil de cuivre autour d'une pointe un seul tour; plonger dans l'eau la boucle ainsi obtenue, la retirer et regarder au travers. Voici une loupe semblable aux premières loupes qu'on ait faites. L'agrandissement est souvent de l'ordre de quatre ou cinq fois (voir figure).



Si on tapote avec cette loupe le rebord du verre, une gouttelette d'eau se détache : mais, par suite de l'adhérence de l'eau et du fil de cuivre, le liquide restant forme une lentille très mince à son centre, donc une lentille concave.

1.18 Une goutte d'eau formant loupe

Déposer délicatement une goutte d'eau sur une plaque de verre. Approcher l'oeil tout près de la goutte et observer quelque chose de très petit à travers cette goutte et la plaque de verre : on constatera que ce système simple fonctionne comme loupe.

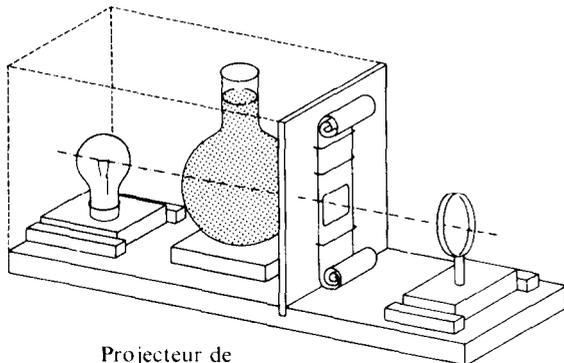
1.19 Modèle réduit de longue-vue

Placer une lentille à longue distance focale à l'extrémité d'un banc d'optique (voir chapitre deux, expérience 2.219) en dirigeant l'ensemble vers un paysage vu par la fenêtre. Disposer de l'autre côté de la lentille un rectangle de carton blanc, en cherchant l'endroit où l'image du paysage donnée par la lentille est la plus nette. Placer alors une lentille à courte distance focale derrière ce carton en la rapprochant jusqu'à ce que la distance entre le carton et cette lentille soit légèrement inférieure à sa distance focale. Retirer le carton et regarder le paysage à travers les deux lentilles.

1.20 Projecteur de diapositives ou de films fixes

Le socle de l'appareil sera constitué par une planche de 40 x 10 cm et de 3 cm d'épaisseur. Le passe-film sera une planchette de contre-plaqué de 25 x 10 cm, fixée dans une rainure sur le socle. Une ouverture de 35 x 23 mm ménagée dans cette planchette servira de fenêtre pour que la lumière ne traverse qu'une seule des vues du film. Le film sera pressé contre cette fenêtre, en position verticale, au moyen de guides réalisés avec des « trombones » ou clips de bureau : ceux-ci se laissent facilement plier à la largeur du film; on coupe ensuite les extrémités et on les affûte à la lime afin de pouvoir les enfoncer dans le contre-plaqué. Il est inutile de prévoir des bobines : le film sera déroulé à la main; il suffit de tirer sur l'extrémité et il s'enroule sur lui-même suffisamment pour tenir en place (voir figure).

La lampe une ampoule de phares d'automobile dont la douille sera encastrée dans un socle sera réglable. On la fera coulisser entre deux règles de bois clouées au socle de l'appareil. Le condenseur sera constitué par une carafe ou un ballon rempli d'eau et disposé de telle sorte que



Projecteur de diapositives ou films fixes

l'image de la lampe qu'il donne couvre la totalité de la fenêtre. Une fois mis en place, lampe et condenseur seront collés au socle.

La lentille servant d'objectif sera pourvue d'un manche de bois modérément serré dans un trou prévu pour le recevoir et percé dans un bloc de bois qui, comme le support de la lampe, pourra glisser entre deux guides de bois. On peut alors régler la position de la lentille en enfonçant plus ou moins le manche dans le trou où il est fixé jusqu'à ce que lampe, condenseur et objectif soient à la même hauteur.

Il convient de prévoir un couvercle recouvrant lampe et condenseur (en pointillé sur le dessin). L'obscurité est nécessaire pour faire une séance de projections avec cet appareil. Les projecteurs du commerce utilisant des ampoules de 100 watts peuvent être employés dans une demi-obscurité, mais l'évacuation de la chaleur dégagée par la lampe pose alors des problèmes très difficiles.

1.21 Microprojecteur

Le système optique de cet appareil est le même que celui du projecteur de vues fixes. La différence, du point de vue de la construction, est due à la dimension des objets projetés (plaques pour examen au microscope ou autres objets montés de même manière) et à la nécessité d'utiliser un objectif à très courte distance focale pour obtenir un fort agrandissement. La lampe sera constituée par une ampoule de phare d'auto, le condenseur par une petite ampoule de verre de 1,5

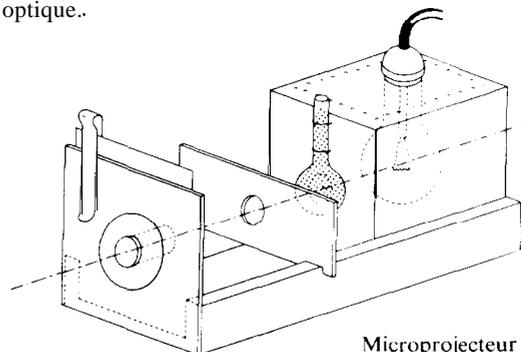
à 2 cm de diamètre fabriquée par soufflage dans un tube de verre, et l'objectif sera l'objectif d'un microscope ordinaire.

Pour réaliser le socle de l'appareil, on fera une sorte d'auge en bois de 10 x 7 cm et 4 cm d'épaisseur en clouant deux tasseaux de 4 cm sur les bords d'une planche de 10 x 5 cm et de 1 cm d'épaisseur. Ces dimensions ne sont pas impératives et on peut les modifier selon les dimensions des autres parties de l'appareil. A une extrémité du socle, on fixera un porte-objectif constitué par une plaque de contre-plaqué de 9 x 7 cm percée d'un trou de 2,5 cm.

Une boîte à lumière rectangulaire sera ajustée dans la gouttière. On l'improvisera facilement en fixant une ampoule de phare avec sa douille dans une boîte à conserves rectangulaire. On percera des trous de ventilation tout autour du haut et de la base de cette boîte. Un trou de 1,5 cm de diamètre maintiendra le condenseur, qui sera solidement fixé par des fils de cuivre passant autour de son col et dans des trous percés dans la boîte.

Le porte-objet sera placé dans des encoches taillées sur les côtés de la gouttière et qui le maintiendront en position verticale de telle sorte que la lumière venant du condenseur le traverse. Pour déterminer l'emplacement des encoches, on procédera comme indiqué plus loin.

L'objectif du microscope doit être bien ajusté dans une ouverture découpée dans une plaque de contre-plaqué de 7 x 4 cm. Celle-ci sera plaquée contre le porte-objectif par une pince à pantalon pour cycliste. L'objectif doit être disposé de telle sorte que les lentilles soient dans l'axe du système optique.



Microprojecteur

Sur la figure, les divers éléments sont représentés plus éloignés qu'ils ne doivent être en réalité, ceci pour mieux montrer leurs positions relatives. Pour monter l'appareil, on avancera ensemble le porte-objet, la boîte à lumière et le condenseur de telle sorte que la lumière traverse l'objectif en donnant une image celle d'un spécimen botanique par exemple sur un verre dépoli de 30 cm de côté placé à environ 60 cm de l'avant de l'appareil. Une fois qu'on aura déterminé l'emplacement du porte-objet, on pratiquera à la scie, dans les côtés du socle, les encoches destinées à le recevoir, leur emplacement restant fixe pour toutes les autres projections à faire. On peut également utiliser cet appareil pour projeter des anneaux de Newton ou des phénomènes de diffraction.

1.22 Utilisation d'un microscope comme microprojecteur

A condition d'utiliser une source lumineuse très brillante, on peut renvoyer sur un écran, à l'aide d'un miroir, l'image fournie par l'oculaire d'un microscope composé. Un projecteur de vues fixes puissant convient bien à cet usage.

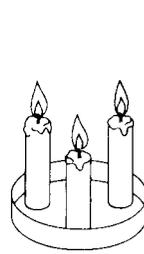
Sources de chaleur

1.23 Brûleur à bougies

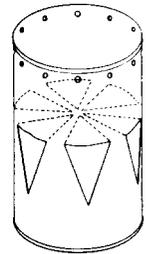
Des bougies peuvent tenir lieu de brûleur si on les fixe au fond d'une boîte à conserves ou d'un couvercle dans un peu de cire fondue. Le résultat sera meilleur si l'on s'arrange pour que les bougies aient à peu près la même longueur (voir figure).

1.24 Réchaud très simple à charbon de bois

Utiliser une grande boîte à conserves d'au moins 10 cm de diamètre. A mi-hauteur environ, tracer l'emplacement de 6 fenêtres triangulaires réparties sur le pourtour de la boîte, comme le montre la figure, et découper les côtés inférieurs de ces triangles, sans toucher à la base supérieure. Recourber les pointes vers l'intérieur de la boîte : elles serviront de grille pour le charbon de bois. Limer les rebords des fenêtres et percer des trous pour l'arrivée de l'air.



1.23 Brûleur à bougies



1.24 Réchaud à charbon de bois

1.25 Lampe à alcool faite d'une bouteille à encre

Se procurer une bouteille à encre pourvue d'un bouchon métallique à vis. A l'aide d'un clou, percer un trou au centre du bouchon, et l'élargir en y faisant pivoter un tiers-point jusqu'à ce qu'il ait 8 à 10 mm de diamètre. Polir les bords au moyen de quelque objet rond et dur. Découper, dans une boîte à conserves ou une feuille peu épaisse, en métal doux, un rectangle d'environ 2,5 x 4 cm et l'enrouler sur un morceau de tube ou sur une baguette ronde d'un diamètre tel qu'on obtienne un tuyau s'ajustant dans le trou du bouchon de la bouteille. Introduire ce tuyau dans le bouchon de manière à ce qu'il dépasse d'environ 1 cm à l'intérieur. On peut souder ce tube sur le bouchon et souder également le tube sur sa longueur. La mèche sera constituée par des bouts de coton, un morceau de serviette éponge ou des fils de coton réunis en torsade. La mèche doit aller jusqu'au fond de la bouteille et s'y étaler largement. Utiliser de l'alcool dénaturé ou de l'alcool à brûler.

Dans les pays chauds, il faut prévoir un capuchon pour couvrir la mèche en dehors des périodes de service. Un vieux capuchon de stylo peut faire l'affaire. Si l'on dispose d'une cartouche de fusil en cuivre, la douille, découpée au bon endroit avec une scie à métaux peut servir à faire aussi bien le tube que le capuchon (voir figure).

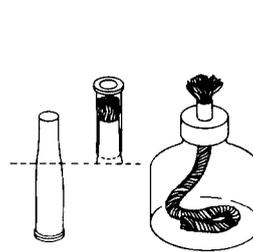
1.26 Le brûleur Bunsen

Si l'on ne dispose pas déjà d'un bec Bunsen, il est à la fois facile et instructif d'en fabriquer un avec des matériaux de récupération. Il n'existe aucun impératif précis quant à la taille : tout dépend de

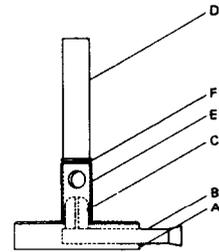
cc qu'on a sous la main. Les tubes de cuivre peuvent avoir environ 1 cm de diamètre, mais si ceux dont on dispose ont d'autres dimensions, on pourra essayer tout de même.

Faire fondre des morceaux d'étain de récupération sur un réchaud à gaz, dans une boîte à conserves solide ou dans un vieux pot, et verser l'étain fondu dans une boîte à cirage. On obtiendra ainsi un socle lourd [A sur la figure] (on peut laisser en place la, boîte à cirage). On y percera des trous verticaux et horizontaux comme le montre la figure : ils recevront les tubes de cuivre B et C. Ceux-ci seront d'un diamètre légèrement plus réduit à l'une de leurs extrémités et on les fera pénétrer à force dans le socle. Le tuyau d'alimentation B doit pénétrer d'environ 2 cm dans le socle, tandis que le tuyau brûleur C doit être très peu enfoncé verticalement. Après avoir vérifié que le tube C a la dimension convenable, on y coulera un bouchon de plomb en versant du plomb fondu autour d'une aiguille bien graissée, placée dans l'axe du tube. En retirant l'aiguille on dégagera un orifice qui constituera l'injecteur. Pour faciliter l'opération, on peut placer le tube dans un trou peu profond percé dans un bloc de bois. l'aiguille étant centrée avec précision dans l'axe du tube.

Des tubes de cuivre de diamètre approprié sont nécessaires pour fabriquer la cheminée D et la virole de réglage de l'arrivée d'air E dans lesquels il convient de découper des trous d'arrivée d'air d'égales dimensions. Si on éprouve de la difficulté à réaliser une virole en cuivre, on peut la remplacer par un tuyau de fer-blanc, mais l'aspect sera moins joli. Si D ne s'ajuste pas très bien sur le tube C, on peut le consolider avec de la résine époxy. La meilleure manière de faire les trous d'arrivée d'air dans D et E est d'y passer des baguettes rondes maintenues dans un étou. Ces baguettes seront légèrement effilées pour qu'elles pénètrent mieux. On aplatira légèrement les tubes à la lime et on les percera au moyen d'une mèche de 5 mm. On finira les trous à la lime ronde, qui servira aussi à polir l'intérieur de la virole pour qu'elle tourne librement sur D. On soudera sur D, juste au-dessus de la virole, un anneau de fil de



1.25 Lampe à alcool



1.26 Brûleur Bunsen

- A Socle en plomb
- B Tuyau d'arrivée du gaz, en laiton
- C Injecteur en laiton
- D Cheminée
- E Arrivée d'air (adaptée à celle de D) ou virole
- F Anneau en fil de cuivre

cuivre F pour empêcher le réglage d'arrivée d'air de glisser et de se perdre.

Avec des arrivées d'air doubles, c'est-à-dire traversant le tube de part en part, il peut se faire que l'entrée d'air soit excessive : en fonctionnement, il arrive alors parfois que le gaz « brûle en dedans ». Ne pas laisser le gaz « brûler en dedans » longtemps, car il peut alors arriver que l'injecteur, qui est en plomb, fonde et bouche l'orifice d'arrivée du gaz.

1.27 Utilisation du propane

Les bouteilles de gaz propane à jeter après usage constituent une source de chaleur peu coûteuse et pratique. On les trouve dans des dimensions et des présentations variées et elles sont à utiliser quand on ne dispose pas du gaz de ville.

Appareils de mesure

1.28 Calorimètre simple

On peut trouver de petites boîtes à conserves (de potage ou de sauce par exemple) qui s'adaptent sans frotter au goulot d'un bocal à confiture. En découpant soigneusement le couvercle avec un bon ouvre-boîtes à roulette, on peut confectionner un excellent calorimètre (voir figure).

Pour empêcher la boîte de tomber dans le bocal, on peut soit entourer le bord d'un fort bracelet de caoutchouc, soit y découper des encoches puis le rabattre légèrement vers l'extérieur. Ce type de suspension ainsi que la faible conductivité du verre et de l'air contribuent à l'efficacité du calorimètre.



Dans certains pays, on trouve des gobelets de polystyrène expansé; ils constituent d'excellents calorimètres. On peut aussi faire des calorimètres avec deux boîtes à conserves en fer-blanc ou deux gobelets en verre. On les choisira de telle sorte que l'un entre dans l'autre en laissant un espace intermédiaire d'au moins 1 cm, qu'on garnira de laine de verre ou de papier froissé.

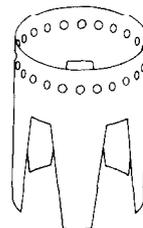
1.29 Verre ou éprouvette gradués

Choisir plusieurs bocaux de verre cylindriques de dimensions assorties : les bocaux à olives sont très pratiques pour la réalisation d'éprouvettes graduées. Coller verticalement à l'extérieur une bande de papier d'environ 1 cm de large jusqu'à 1 cm du bord environ. Se procurer ensuite une éprouvette graduée du commerce, de capacité à peu près identique, et, après l'avoir remplie d'eau, transvaser son contenu dans le bocal jusqu'à ce que le niveau atteigne presque le sommet de la bande de papier. Tracer une ligne transversale sur celle-ci et, au-dessous, noter le nombre de centimètres cubes d'eau qui a été transvasé. Recommencer avec de plus petites quantités pour compléter la graduation.

Autres suggestions pratiques

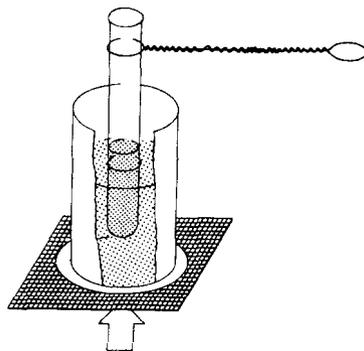
1.30 Petit trépied de chauffage

On peut réaliser un trépied simple et pratique en découpant les parois d'une boîte à conserves. Il est bon d'en fabriquer deux ou trois qui s'adapteront aux différents types de brûleur et serviront aussi de supports pour ballons, cornues, etc. On percera des trous sur le pourtour supérieur afin de laisser échapper les produits de la combustion (voir figure).



1.31 Bain-marie

On peut fabriquer un bain-marie à l'aide d'un vieux bidon à huile. On verse de l'eau dans le bidon et on la chauffe par en dessous. On fabrique un porte-tube en enroulant autour de celui-ci un fil de cuivre torsadé qui fait un manche. Le produit à chauffer sera placé dans le tube et l'on procédera comme le montre la figure.



1.32 Production d'eau distillée

Une bouilloire fournira la vapeur, qui viendra se condenser dans un pot à confiture pourvu d'un

grand bouchon et plongé dans une cuvette d'eau froide. Le joint peut être un tuyau de caoutchouc, une bande d'adhésif ou de la pâte à modeler (voir figure).

1.33 Étuve

Pour réaliser une étuve, utiliser une grande boîte à conserves. Fixer un thermomètre dans le couvercle grâce à un bouchon passant dans un trou qu'on y aura percé; la coupelle sera posée sur un banc de treillis métallique placé dans le fond de la boîte (voir figure).

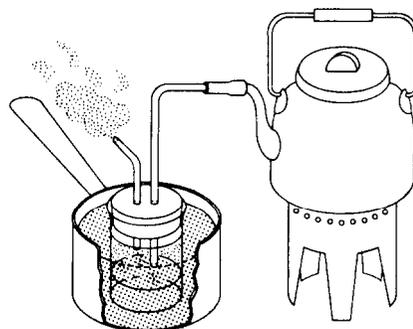
1.34 Pince pour tubes à essai

Pour faire une pince pour tubes à essai, plier du fort fil d'acier ou de laiton faisant ressort comme le montre la figure. Le fil de cintres à vêtements convient parfaitement (voir figure).

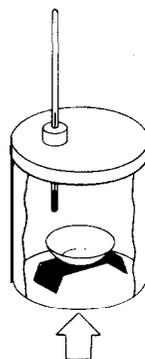
1.35 Brucelles de laboratoire

Les bandes d'acier flexibles (feuillard) utilisées pour les expéditions de colis ou de malles peuvent servir à fabriquer des brucelles ou pinces très pratiques (voir figure).

Les brucelles de la figure ont environ 12 cm de long. Une d'elles peut être obtenue en soudant à la brasure ou en rivant deux bandes de feuillard qui seront ensuite courbées et coupées selon le modèle. L'autre paire a été faite avec un seul morceau de feuillard de 25 cm de long. Pour former l'arrondi du ressort, on a enroulé le milieu du ruban autour d'une tige de fer de diamètre approprié; puis on a taillé et courbé les mâchoires pour leur donner la forme et la dimension prévues.



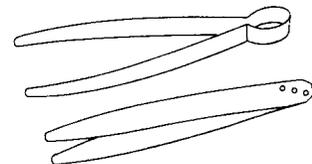
1.32 Production d'eau distillée



1.33 Étuve



1.34 Pince pour tubes à essai



1.35 Brucelles de laboratoire

Solutions chimiques

La plupart des réactions chimiques étudiées dans les cours d'initiation scientifique sont celles obtenues entre solutions. Normalement, c'est le produit dissous dans l'eau (ou dans un autre solvant)

qui est intéressant; c'est lui qui subit les transformations chimiques. Néanmoins, bien qu'il s'agisse là d'une règle très généralement valable, il y a des exceptions. Dans ce livre, on étudiera plusieurs

cas où l'eau sera modifiée chimiquement, donc participera à la réaction chimique. Étant donné que ce qui nous intéresse habituellement c'est le produit dissous, il est important de savoir quelle est la quantité de ce produit (soluté) qui est effectivement présente dans un volume donné de solution. Par exemple, le vinaigre est une solution diluée d'acide acétique : c'est l'acide acétique qui donne au vinaigre son goût aigre et il est donc important de connaître sa concentration. Le vinaigre du commerce est la plupart du temps une solution à 5%, c'est-à-dire que 100 g de vinaigre contiennent 5 g d'acide acétique. Les pourcentages en masse sont une des manières de préciser la concentration d'une solution. Mais, étant donné que les modifications chimiques font intervenir des réactions entre molécules, on préfère souvent exprimer la concentration en fonction des molécules plutôt que des masses. Autrement dit, on cherchera à définir la concentration de telle sorte que des volumes égaux de deux solutions différentes et de même concentration contiennent le même nombre de molécules. On appelle cela la molarité. Dans ce livre, la concentration sera toujours exprimée en molarité, l'abréviation étant « M ». Si l'on écrit qu'une solution est de molarité 1 ou 1 M, ceci veut dire qu'un litre de cette solution contient une mole de molécules ($6,2 \times 10^{23}$ molécules) du soluté. La masse d'une mole de molécules est appelée masse molaire.

Préparation de solutions de molarité déterminée

Pour préparer une solution de molarité donnée, il suffit de déterminer la masse du nombre de moles de molécules correspondant à cette concentration et de dissoudre cette masse de produit dans la quantité d'eau distillée nécessaire pour obtenir un litre de solution. Mais comment déterminer la masse molaire? Un exemple va nous y aider.

Supposons qu'on veuille préparer une solution 2 M de $MgSO_4$. On déterminera d'abord la masse de 2 moles de molécules de $MgSO_4$. On trouvera la masse d'une mole de molécules en additionnant les masses atomiques, c'est-à-dire d'une mole d'atomes, pour tous les atomes représentés par la

formule, la somme étant donnée en grammes :

1 mole d'atomes de Mg	: 1 x 24,3 = 24,3
1 mole d'atomes de S	: 1 x 32,1 = 32,1
4 moles d'atomes de O	: 4 x 16,0 = 64,0
	Total 120,4
	(masse molaire)

Une mole de molécules de $MgSO_4$, pèse donc 120,4 g. On trouvera la masse de deux moles en multipliant par deux. (On trouverait la masse de n'importe quel nombre de moles en multipliant par ce dernier nombre.) La masse de deux moles de molécules de $MgSO_4$, est donc de $2 \times 120,4 \text{ g} = 240,8 \text{ g}$. Pour obtenir une solution 2 M, on pèsera donc dans une balance 240,8 g de $MgSO_4$ et on les fera dissoudre dans de l'eau distillée. Une fois le produit dissous, on ajoutera de l'eau jusqu'à ce que le volume total de la solution soit égal à un litre. On obtiendra une solution de même concentration (2 M) en faisant dissoudre une quantité de produit solide égale à la moitié de la quantité ci-dessus pour 500 ml de solution, ou un quart de cette quantité pour 250 ml de solution.

Certains produits chimiques contiennent de l'eau par hydratation ou cristallisation, c'est-à-dire que l'eau fait partie intégrante du cristal solide. Pour ces sels, il convient de tenir compte de l'eau dans le calcul du poids d'une mole du solide à partir de la formule. Ainsi, par exemple, le chlorure de magnésium cristallise selon la formule $MgCl_2 \cdot 6H_2O$: ce qui veut dire que 6 molécules d'eau sont à inclure avec chaque unité (molécule) de $MgCl_2$. La masse de cristaux contenant une mole de molécules de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ est donc la suivante :

1 mole d'atomes de Mg	: 1 x 24,3 = 24,3
2 moles d'atomes de Cl	: 2 x 35,4 = 70,8
12 moles d'atomes de H	: 12 x 1,0 = 12,0
6 moles d'atomes de O	: 6 x 16,0 = 96,0
	Total 203,1

La masse de cristaux $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ contenant une mole de molécules de $MgCl_2$, est donc 203,1 g.

Pour la plupart des solutions utilisées dans cet

ouvrage, une concentration précise n'est pas nécessaire et l'on peut peser le produit à dissoudre au gramme près.

Hydroxyde de sodium, 3 M. Faire dissoudre 126 g de soude solide (à 95 %) dans l'eau et compléter la solution à un litre.

Préparation de réactifs

Les volumes sont donnés en millilitres (ml) et en litres (l). Un millilitre équivaut à un centimètre cube (cm^3 ou cc). Les masses sont données en grammes (g). La proportion par rapport à une solution molaire ($M = 1$) est donnée dans de nombreux cas. On utilisera de l'eau distillée comme solvant.

Réactifs généraux

1.38 Électrolyte pour batterie (accumulateur au plomb)

Selon la charge, la densité relative de l'acide sulfurique varie comme suit : accumulateur en pleine charge, 1,28; à mi-charge, 1,21; déchargé, 1,15. Ces chiffres sont approximatifs; il convient de se conformer aux instructions du fabricant, habituellement inscrites sur la batterie, pour effectuer le remplissage et la première charge.

Pour préparer une solution d'acide sulfurique de densité relative 1,28, on pourra procéder comme suit : verser, très lentement et en remuant, l'acide concentré dans un grand becher en Pyrex rempli aux trois quarts d'eau distillée jusqu'à ce que la solution soit presque bouillante; laisser refroidir et ajouter de l'acide, en prenant les mêmes précautions que ci-dessus, jusqu'à ce que la solution soit de nouveau sur le point de bouillir. Après l'avoir laissé refroidir jusqu'à ce qu'elle soit à la température ambiante, régler la densité relative en ajoutant de l'acide ou de l'eau selon les indications données par le densimètre. Être toujours très prudent pour manipuler l'acide sulfurique concentré : porter des lunettes et des vêtements protecteurs.

Réactifs d'emploi général au laboratoire

1.36 Acides dilués, molarité 3

Utiliser la quantité d'acide concentré indiquée pour faire un litre de solution diluée.

Acide acétique : $N = 3$ (normalité 3_1). Utiliser 172 ml d'acide 17,4 M (à 99-100 %).

Acide chlorhydrique : $N = 3$. Utiliser 258 ml d'acide 11,6 M (à 35 % d'HCl).

Acide nitrique : $N = 3$. Utiliser 195 ml d'acide 15,4 M (à 69 % d' HNO_3).

Acide sulfurique : $N = 6$. Utiliser 168 ml d'acide 17,8 M (69 % d' H_2SO_4). Dans le cas de l'acide sulfurique, le verser lentement dans les trois quarts du volume prévu d'eau et attendre que cette solution soit refroidie pour compléter à un litre.

1.37 Bases diluées

Ammoniaque ou hydroxyde d'ammonium, 3 M. Diluer 200 ml de solution concentrée 14,8 M (soit une solution à 28 % de NH_3) pour faire un litre de solution.

Chaux éteinte ou hydroxyde de calcium, 0,02 M. Solution saturée, soit 15 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour un litre. Mettre la chaux légèrement en excès, filtrer le CaCO_3 et tenir à l'abri du CO_2 de l'air.

1.39 Eau régale

Mélanger une partie d'acide nitrique concentré HNO_3 et 3 parties d'acide chlorhydrique concentré (HCl). Il convient d'ajouter un volume d'eau si l'on doit conserver l'eau régale pendant quelque temps, faute de quoi il peut y avoir production de chlore ou d'autres gaz indésirables.

1.40 Chlorure de bismuth, 0,17 M

Faire dissoudre 53 g de chlorure de bismuth (BiCl_3) dans un litre d'acide chlorhydrique (HCl), dilué à raison d'une partie d'HCl concentré pour 5 parties d'eau.

1. La normalité d'un acide est le nombre de moles d'ions H^+ par litre. Elle est égale à la molarité pour les monoacides.

1.41 Nitrate de bismuth, 0,083 M

Faire dissoudre 40 g de nitrate de bismuth ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), dans un litre d'acide nitrique (HNO_3), dilué à raison d'une partie d'acide nitrique concentré pour 5 parties d'eau.

1.42 Sulfate cuivrique, 0,5 M

Faire dissoudre 124,8 g de sulfate cuivrique ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), dans de l'eau additionnée de 5 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). Diluer pour obtenir un litre de solution.

1.43 Chlorure ferrique, 0,5 M

Faire dissoudre 135,2 g de chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dans de l'eau additionnée de 20 ml d'acide chlorhydrique concentré (HCl). Diluer pour obtenir un litre de solution.

1.44 Sulfate ferrique, 0,25 M

Faire dissoudre 140,5 g de sulfate ferrique ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) dans de l'eau additionnée de 100 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). Diluer jusqu'à obtenir un litre de solution.

1.45 Sulfate double ammoniaco-ferreux, 0,5 M

Faire dissoudre 196 g de sulfate double ammoniaco-ferreux ($\text{Fe}(\text{NH}_4\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dans de l'eau contenant 10 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). Diluer jusqu'à un litre de solution. Les résultats seront meilleurs avec une solution fraîche.

1.46 Sulfate ferreux, 0,5 M

Faire dissoudre 139 g de sulfate ferreux ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), dans de l'eau contenant 10 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). Diluer pour obtenir un litre de solution. Cette solution se garde mal.

1.47 Eau de chaux

La chaux est peu soluble dans l'eau, mais on préparera facilement la solution à utiliser en classe en ajoutant 10 g de chaux éteinte à 1 000 ml d'eau distillée. Agiter, laisser reposer et décanter le liquide clair.

1.48 Solution de tournesol

Réduire en poudre le tournesol et le faire bouillir

avec de l'eau pendant cinq minutes. Filtrer la solution et la conserver dans une bouteille. Il sera nécessaire de renouveler la solution de temps en temps.

1.49 Nitrate mercurieux

Utiliser une partie de nitrate mercurieux ($\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$) pour 20 parties d'eau et une partie d'acide nitrique concentré (HNO_3).

1.50 Eau de mer

On peut obtenir un utile équivalent de l'eau de mer en dissolvant dans 2 litres d'eau les produits suivants :

45,0 g de chlorure de sodium
3,5 g de sulfate de magnésium
5,0 g de chlorure de magnésium
2,0 g de sulfate de potassium

1.51 Sulfure de sodium, 0,5 M

Faire dissoudre 120 g de sulfure de sodium ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) dans de l'eau pour un litre de solution; ou encore, saturer par H_2S 500 ml d'hydroxyde de sodium, 1 M (21 g de soude solide à 95 %), en refroidissant la solution, et diluer dans 500 ml de NaOH , 1 M.

1.52 Chlorure stanneux, 0,5 M

Faire dissoudre 113 g de chlorure stanneux ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dans 170 ml d'acide chlorhydrique concentré (HCl), en chauffant si besoin est. Ajouter de l'eau pour obtenir un litre de solution. Ajouter quelques morceaux de papier d'étain. Renouveler fréquemment la solution.

Solutions et réactifs spéciaux**1.53 Alliages**

Alliages à bas point de fusion. On peut les réaliser sur un bec Bunsen. Si l'alliage contient à la fois du bismuth et du plomb, faire d'abord fondre ensemble le bismuth et le plomb et ajouter ensuite les autres éléments. Ne pas chauffer plus qu'il n'est nécessaire, pour éviter une oxydation excessive. Les proportions sont données en masses.

Alliage	Plomb	Étain	Bismuth	Cadmium
Alliage de Wood	4	2	7	1
Soudure	1	1	0	0
Alliage pour fusibles électriques	8,5	2,5	1,3	0

Alliages à point de fusion élevé. On peut les réaliser dans un four. Faire fondre d'abord le cuivre, ajouter ensuite les autres métaux.

Alliage	Cuivre	Étain	Zinc
Bronze	80	5	15
Laiton malléable	58	0	42
Laiton pour moulages	72	4	24

1.54 Liqueur de Bénédicte (réactif qualitatif du glucose)

Faire dissoudre à chaud 173 g de citrate de sodium et 100 g de carbonate de sodium anhydre (Na_2CO_3) dans 800 ml d'eau. Filtrer si nécessaire et ajouter de l'eau pour obtenir 850 ml de solution. Dissoudre 17,3 g de sulfate cuivrique ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dans 100 ml d'eau. Verser cette dernière solution, en agitant constamment, dans la solution de carbonate et de citrate et diluer pour obtenir un litre de solution.

1.55 Bleu de bromothymol

Faire dissoudre 0,5 g de bleu de bromothymol dans 500 ml d'eau. Ajouter une goutte d'hydroxyde d'ammonium qui donnera à la solution une coloration bleu foncé.

1.56 Colles ou cires et mastics

Les indications ci-dessous permettront de préparer facilement des colles et mastics.

Colles

Colle inattaquable par les acides : 1 partie de dissolution de caoutchouc; 2 parties d'huile de lin; 3 parties de blanc de terre à pipe.

Ciment pour aquariums : a) Mélanger en parties

égales de la fleur de soufre, du chlorure d'ammonium et de la limaille de fer. Ajouter de l'huile de lin bouillie et mélanger intimement le tout. Ajouter du blanc de céruse pour former une pâte consistante. Ce ciment doit être appliqué tant qu'il est encore fluide.

b) Mélanger du minium avec une quantité suffisante de vernis d'apprêt pour obtenir une pâte assez molle et appliquer immédiatement. Laisser durcir plusieurs jours et laver l'aquarium à grande eau avant de l'utiliser.

Colle pour cellulose : des fragments de cellulose sont solubles dans l'acétone ou l'acétate d'amyle. On obtient ainsi une colle qui peut être utile pour la fabrication de petits accus.

Colle pour le fer : 90 parties de limaille de fer fine, 1 partie de fleur de soufre, 1 partie de chlorure d'ammonium. Former une pâte en ajoutant de l'eau juste avant de s'en servir.

Mastics

Mastic de Chatterton : 1 partie de poix d'Arkhangelsk, 1 partie de résine. Mélanger et ajouter 3 parties de caoutchouc crêpe coupé en petits morceaux.

Mastic de Faraday : 5 parties de résine, 1 partie de cire d'abeilles, 1 partie d'ocre jaune. Mélanger dans une boîte à conserves la résine et la cire et ajouter l'ocre en remuant.

1.57 Solution de Clarke à base de savon (pour apprécier la dureté de l'eau)

Faire dissoudre 100 g de savon blanc pur en poudre dans un litre d'alcool éthylique à 80 degrés et laisser reposer pendant une nuit (solution A).

Préparer une solution titrée (B) de chlorure de calcium (CaCl_2) en faisant dissoudre 0,5 g de carbonate de calcium (CaCO_3) dans de l'acide chlorhydrique (HCl) (densité 1,19), neutraliser à l'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) faire en sorte que la solution présente au tournesol une réaction légèrement alcaline et diluer pour obtenir 500 cm^3 de solution : un millilitre équivaut à 1 mg de CaCO_3 .

Titrer la solution A avec la solution B (solution A dans la burette). Diluer A avec de l'alcool éthylique à 80 degrés jusqu'à ce qu'un ml de la solution résultante soit équivalent à 1 ml de B, en

tenant compte du facteur moussant (quantité de solution de savon dans l'alcool nécessaire pour produire une mousse persistante dans 50 cm³ d'eau distillée). Un centimètre cube de la solution A résultante, après déduction du facteur moussant, correspond à 1 mg de CaCO₃.

1.58 Hydroxyde cuivrique ammoniacal ou réactif de Schweitzer (dissout le coton, le lin et la soie, mais pas la laine)

a) Faire dissoudre 5 g de sulfate cuivrique dans 100 ml d'eau bouillante et ajouter de l'hydroxyde de sodium (soude) jusqu'à précipitation complète. Laver soigneusement le précipité et le faire dissoudre dans la quantité minimale d'hydroxyde d'ammonium.

b) Faire barboter lentement de l'air dans 300 ml d'hydroxyde d'ammonium concentré contenant 50 g de cuivre en copeaux fins; poursuivre l'opération pendant une heure.

1.59 Noir mat

Ce noir est utile pour l'intérieur des appareils d'optique (chambres noires, etc.) où il amortira les réflexions indésirables, évitera la diffusion des rayons et assurera des images plus nettes. Mélanger du noir de fumée à du vernis d'apprêt et ajouter de l'essence de térébenthine, en remuant constamment, jusqu'à obtention d'un mélange suffisamment fluide pour pouvoir être utilisé comme peinture.

1.60 Teinture

Pour teindre du coton, il convient d'éliminer d'abord l'apprêt du tissu. On y parvient en le faisant bouillir pendant 5 minutes dans une solution d'acide chlorhydrique (HCl) dilué à raison d'une partie d'acide concentré pour 10 parties d'eau. La formule suivante constitue une bonne teinture :

Rouge Congo : 0,5 g
NaHCO₃ (hydrogénocarbonate de sodium) : 2,0 g
Na₂SO₄ (sulfate de sodium) : 1,0 g
H₂O (distillée) : 200,0 ml.

On fera bouillir le tissu dans cette solution pen-

dant 4 à 5 minutes, puis on le rincerà à l'eau froide et on le fera sécher.

On peut utiliser, au lieu de rouge Congo, du bleu de méthylène ou de la primuline (brune). On mélangera d'abord les teintures et les sels et on les versera ensuite dans l'eau, lentement et en remuant constamment.

La soie, la rayonne ou la laine blanches peuvent être teintes de la même manière. Faire chauffer un morceau de tissu de coton blanc dans une solution diluée de (NH₄)₂SO₄ (sulfate d'ammonium) pendant 10 minutes. Le laisser quelques minutes dans NH₄OH dilué (hydroxyde d'ammonium) avant de rincer. La soie blanche peut être mordancée par ébullition pendant 5 minutes dans une solution d'acide tannique. La laisser ensuite quelques minutes dans une solution d'émétique. On pourra étudier l'efficacité du mordantage en faisant bouillir pendant quelques minutes des morceaux mordancés et des morceaux non mordancés de coton et de soie dans une solution d'alizarine; ensuite rincer et faire sécher.

Faire bouillir 5 minutes des échantillons de coton mordancé et non mordancé et de soie mordancée et non mordancée dans une solution de vert malachite (ou de bleu de méthylène). Rincer et faire sécher. On obtient la solution de vert malachite en faisant dissoudre 1 g de teinture dans 200 g d'eau. Acidifier d'autre part 200 g d'eau à l'acide acétique et ajouter à cette eau acidifiée 40 g de la solution de teinture.

La coloration des fibres par des teintures dites imprégnées ou développées exige l'emploi de trois solutions. La première s'obtient en faisant dissoudre 0,1 g de primuline et 0,1 g de NaHCO₃ (hydrogénocarbonate de sodium) dans 100 cm³ d'eau. Faire bouillir pendant 1 minute dans cette solution une bande de coton dépourvu d'apprêt, puis la transférer dans la deuxième solution. Celle-ci s'obtient en ajoutant 0,5 g de NaNO₂ (nitrite de sodium) et 3 cm³ d'HCl à 100 cm³ d'eau. Laisser tremper dans ce bain pendant 15 minutes et passer ensuite dans le bain de développement. Celui-ci s'obtient en faisant dissoudre 0,05 g de NaOH (hydroxyde de sodium) et 0,05 g de phénol dans 100 cm³ d'eau. (On peut remplacer le phénol par de l'*l*-naphthol ou du résorcinol.) Le

traitement par cette solution se fait à chaud, et le tissu doit y séjourner 20 minutes, après quoi on rincera et on fera sécher.

1.61 Bains de galvanoplastie

1. *Cuivre*. Dissoudre environ 100 g de cristaux de sulfate cuivrique dans 300 cm³ d'eau environ; ajouter ensuite 6 g d'hydrogénosulfate de potassium et 5 g de cyanure de potassium et compléter à 450 cm³. (La solution doit rester 'froide pendant sa préparation.)

2. *Argent*. Dissoudre environ 20 g de cyanure de sodium (poison) et 40 g de cristaux de carbonate de sodium dans environ 500 cm³ d'eau. Dissoudre d'autre part 20 g de nitrate d'argent dans 250 cm³ d'eau. Verser lentement cette deuxième solution dans la première et compléter pour obtenir 1 litre de solution définitive.

Le courant électrique à faire passer dans ces solutions dépend de la surface de l'électrode sur laquelle doit se déposer le métal. Il ne doit pas dépasser environ 2 ampères pour 100 cm² de surface. Une source de courant continu de 4 à 6 volts convient généralement : par exemple, une batterie de voiture de 6 volts. Le courant devra être réduit proportionnellement à la surface de l'électrode. Le métal déposé ne présentera l'aspect brillant attendu qu'une fois poli, le polissage pouvant être effectué à l'aide d'une spatule en os ou d'un autre objet dur, lisse et non métallique.

1.62 Liqueur de Fehling (réactif réducteur des sucres)

1. *Solution de sulfate cuivrique*. Faire dissoudre 34,7 g de CuSO₄·5H₂O dans de l'eau et compléter à 500 cm³.

2. *Solution alcaline de tartrate*. Faire dissoudre 173 g de tartrate double de sodium et potassium (sel de Seignette, sel de la Rochelle, KNaC₄H₄O₆·4H₂O) et 50 g de NaOH dans de l'eau et diluer après refroidissement pour obtenir 500 cm³ de solution.

Mélanger les deux solutions en volumes égaux au moment de l'utilisation.

1.63 Solution de fluorescéine

L'intérêt de cette solution est qu'on peut y obser-

ver très nettement le trajet d'un rayon lumineux. On fera dissoudre 1 g de fluorescéine dans 100 ml d'alcool à brûler ou alcool méthylique industriel.

1.64 Papier sensible à la chaleur

Verser une solution aqueuse de chlorure de cobalt dans une solution aqueuse de chlorure d'ammonium : les proportions sont sans importance. Diluer la solution jusqu'à ce qu'elle soit rose pâle. Du papier filtre trempé dans cette solution et séché ne change guère de couleur, mais, si on le chauffe, il devient d'un vert éclatant.

1.65 Teinture d'iode

Mettre 70 g d'iode (I₂) et 50 g d'iodure de potassium (KI) dans 50 cm³ d'eau et compléter avec de l'alcool pour obtenir 1 litre de teinture d'iode.

1.66 Réactif de Nessler (pour l'ammoniac)

Faire dissoudre 50 g de KI dans très peu (le moins possible) d'eau froide (50cm³). Ajouter une solution saturée de chlorure mercurique (il en faudra environ 22 g pour 350 cm³ d'eau) jusqu'à formation d'un précipité indiquant l'excès. Ajouter ensuite 200 cm³ d'hydroxyde de sodium (NaOH, 5 N) et diluer jusqu'à 1 litre. Laisser reposer et décantier le liquide clair.

1.67 Solution absorbante pour l'oxygène

Faire dissoudre 300 g de chlorure d'ammonium dans un litre d'eau et ajouter 1 litre de solution concentrée d'hydroxyde d'ammonium. Agiter vigoureusement. Pour absorber l'oxygène, on le fera barboter dans une bouteille à moitié pleine de copeaux de cuivre et remplie presque complètement de cette solution de NH₄Cl-NH₄OH.

1.68 Argenture du verre

Pour faire la *solution A*, dissoudre 12,5 g de nitrate d'argent dans 100 cm³ d'eau et dissoudre d'autre part 32,5 g de tartrate double de sodium et potassium dans 100 cm³ d'eau. Mélanger les deux solutions, chauffer à 55 °C et maintenir à cette température pendant 5 minutes. Refroidir et décantier le liquide clair en laissant le précipité qui s'est déposé. Compléter à 200 cm³.

Pour faire la *solution B*, dissoudre 1.5 g de

nitrate d'argent dans 12 cm^3 d'eau. Ajouter de l'hydroxyde d'ammonium dilué jusqu'à redissolution quasi complète du précipité qui se forme d'abord, et compléter le liquide à 200 cm^3 .

Mélanger ensuite *les deux solutions A et B*. (On maintiendra la surface à argenter après l'avoir soigneusement nettoyée pour la débarrasser de toute trace de corps gras dans cette solution, le côté à argenter étant tourné vers le bas, et juste au-dessous de la surface du liquide. On peut aussi verser cette solution dans un tube à essai ou un petit ballon bien propres : une couche argentée formant miroir se déposera sur l'intérieur. On peut réchauffer légèrement la solution pour accélérer la formation du dépôt.)

1.69 Hydroxyde de sodium (pour l'absorption de CO_2)

Faire dissoudre 330 g de NaOH dans de l'eau et diluer pour obtenir 1 litre de solution.

1.70 Solution d'amidon

a) Former une pâte avec 2 g d'amidon soluble et 0,01 g d'iodure mercurique (HgI_2) dans une petite quantité d'eau. Introduire lentement dans 1 litre d'eau bouillante et faire bouillir quelques minutes. Conserver dans une bouteille bouchée à l'émeri. Si on n'utilise pas d'amidon soluble, la solution ne deviendra pas claire à l'ébullition : il conviendra de la laisser reposer et de décantier le liquide limpide.

b) Pour obtenir une solution d'amidon qui se conservera indéfiniment, on procédera comme suit : mélanger 500 cm^3 de solution saturée de NaCl (filtrée), 80 cm^3 d'acide acétique cristallisable, 20 cm^3 d'eau et 3 g d'amidon. Porter lentement à ébullition et faire bouillir 2 minutes.

1.71 Acide tannique (réactif de l'albumine, des alcaloïdes et de la gélatine)

Faire dissoudre 10 g d'acide tannique dans 10 cm^3 d'alcool et ajouter de l'eau pour obtenir 100 cm^3 de solution.

Chapitre deux

Sciences physiques

Chimie

Introduction

Les expériences sont présentées de manière à permettre un exposé simple et progressif des notions esquissées sous les principaux titres. Les maîtres pourront choisir et réaliser toute expérience qui leur semblera intéressante, mais peut-être éprouveront-ils le besoin de revenir en arrière pour faire une expérience figurant plus tôt dans la progression : par exemple, après avoir entrepris une expérience sur la production d'énergie électrique à partir de réactions chimiques, ils trouveront peut-être utile d'étudier la conductivité électrique et les propriétés des ions; ou encore, ils s'apercevront peut-être qu'il convient d'approfondir l'étude des critères de la pureté des substances avant d'essayer de les séparer.

Ces expériences ont pour objet d'encourager la discussion non seulement sur les grands principes de la chimie, mais aussi sur la manière dont ils peuvent être exploités à leur profit par les hommes vivant dans une société donnée. L'industrie doit séparer et purifier les substances avant d'entreprendre de les transformer pour en faire des substances plus utiles : elle a recours à des usines de filtrage, ou de tri, à des centrifugeurs; elle utilise les différences de points de fusion, de points d'ébullition, de solubilité et de densité. Les expériences présentées sous ces rubriques conduiront les élèves à se demander comment l'industrie traite ces questions à une échelle beaucoup plus grande.

En regardant autour d'eux, sans même quit-

ter leur milieu habituel, les élèves peuvent prendre conscience des problèmes liés au choix des matériaux de construction (plâtres, mortiers et ciments, béton) ou à l'utilisation des métaux (soudure, alliages, conductivité, etc.).

Les descriptions des expériences comportent un certain nombre de questions. On espère que les travaux qu'ils feront inciteront les élèves à poser des questions analogues, à discuter et à compléter leur information par des lectures afin d'enrichir leur compréhension des problèmes de la chimie.

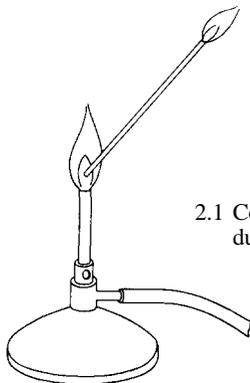
 Dans toutes les figures, ce symbole désignera la source de chaleur

Le brûleur Bunsen (ou bec Bunsen)

2.1 Étude d'un brûleur Bunsen

Pour chauffer des objets, il faut savoir quelle est la partie la plus chaude de la flamme donnée par un bec Bunsen.

A. Pour commencer, fermer l'arrivée d'air, ou virole, et ouvrir à fond le robinet à gaz. Allumer, et présenter un fil de fer ou de cuivre dans la flamme à différents endroits, en allant de bas en haut. Quel est le point le plus chaud? Ouvrir ensuite l'arrivée d'air. Passer de nouveau le fil métallique dans la flamme, de bas en haut. Quelle est la région la plus chaude de la flamme? Les



2.1 Combustion du gaz issu du cône central d'une flamme

élèves doivent pouvoir comparer les deux flammes et dire laquelle comporte la région la plus chaude.

B. Fermer l'arrivée d'air. Présenter le fond d'un tube à essai juste au-dessus de la flamme. Du carbone se déposera peut-être sur le verre. Est-ce le carbone non brûlé qui donne à la flamme sa couleur jaune? Obtient-on le même résultat en saupoudrant la flamme de charbon en poudre?

C. Rouvrir l'arrivée d'air. Est-ce que du carbone se dépose sur un tube à essai tenu au-dessus de cette flamme? L'air mélangé au gaz le fait brûler plus vite et mieux. Que contient le cône central plus froid? Introduire dans la flamme une petite baguette de bois, de manière qu'elle traverse le cône central. Quelle est la partie de la baguette qui brûle? Introduire un tube de verre de manière qu'une de ses extrémités pénètre dans le cône central comme l'indique la figure : du gaz se dégage à l'autre extrémité et l'on peut l'enflammer. Peut-on fabriquer un brûleur à gaz qui donnerait une flamme plus chaude?

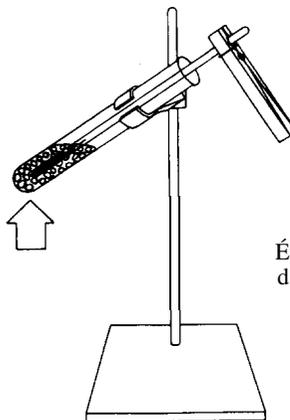
D. Étudier la flamme d'une bougie et la flamme d'une lampe à alcool en procédant comme ci-dessus. Quelle est la partie la plus chaude de la flamme? La flamme contient-elle des particules de carbone non brûlées? Existe-t-il un cône central constitué par des gaz non brûlés?

Identification des corps purs

2.2 Comparaison des points de fusion du naphthalène et de l'acide stéarique

Le naphthalène (ou naphthaline, anti-mites courant) est d'un emploi très commode. Son point de fusion est $80,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mettre, sur une hauteur d'environ 2 cm, du naphthalène dans un tube à essai de $100 \times 16\text{ mm}$, tenu par un support à pince (voir figure). Introduire dans le tube un thermomètre dont le réservoir pénètre dans le naphthalène.

Chauffer doucement le tube sur une petite flamme et surveiller attentivement la température. Quelle est la température du naphthalène au moment de la fusion? Interrompre le chauffage quand le naphthalène fond et laisser refroidir. Quelle est la température au moment où le corps se solidifie?



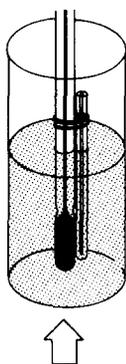
Évaluation approximative d'un point de fusion

Effectuer la même expérience, en utilisant un tube à essai et un thermomètre propres, avec de l'acide stéarique ou tout autre corps dont le point de fusion est inférieur à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ si le thermomètre utilisé va jusqu'à $110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

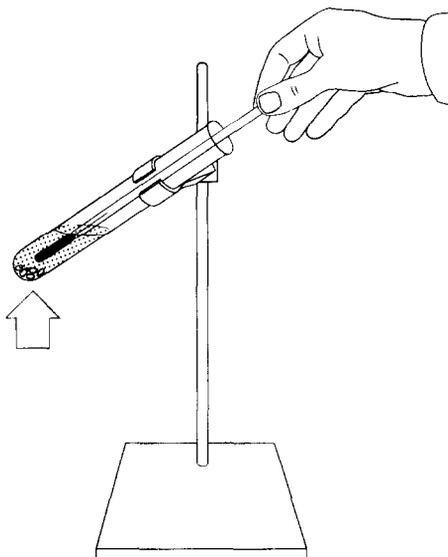
2.3 Méthode plus précise pour trouver le point de fusion

Mettre une très petite quantité de naphthalène dans un tube capillaire scellé à une de ses extrémités.

(On peut faire un tube capillaire en étirant un tube de verre ordinaire.) Au moyen d'un bracelet de caoutchouc découpé par exemple dans un tube de caoutchouc - attacher ce tube capillaire, l'extrémité scellée vers le bas comme le montre la figure, à un thermomètre et chauffer dans un becher posé sur un trépied. On peut utiliser le thermomètre comme agitateur, mais faire bien attention à ne pas laisser entrer de l'eau dans le tube capillaire. Échauffer lentement l'eau et bien observer la température à laquelle le naphtalène fond. La noter. Laisser refroidir le tube et noter



tueuse et des projections. Porter l'eau à ébullition sur une très petite flamme. Lire la température. La température indiquée est-elle différente si le thermomètre touche le fond du tube? Quelle peut être l'explication?



la température à laquelle le naphtalène se solidifie. Prendre la moyenne des deux températures. Des deux expériences ci-dessus, laquelle semble donner le point de fusion le plus précis? Répéter la dernière expérience avec de l'acide stéarique.

2.4 Les impuretés modifient le point de fusion d'un corps

Mélanger au naphtalène un peu d'acide stéarique, ce qui le rend ainsi impur. Observer s'il y a une modification dans le point de fusion. Les impuretés abaissent le point de fusion.

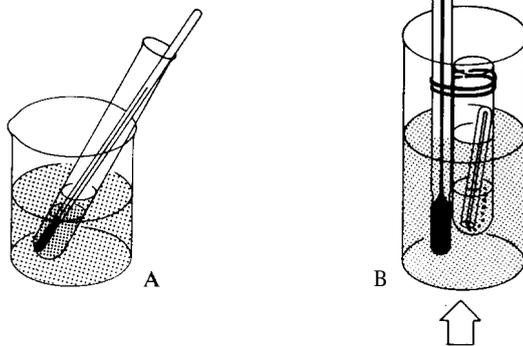
2.5 Point d'ébullition de l'eau

A. Mettre un peu d'eau dans un tube à essai et y plonger un thermomètre, le réservoir étant maintenu juste au-dessous de la surface comme le montre la figure. Ajouter quelques perles de verre ou copeaux pour empêcher une ébullition tumultueuse

B. Suggestion pour les élèves : chercher si le point d'ébullition de l'eau dépend de la quantité d'eau utilisée.

2.6 Point d'ébullition des liquides inflammables

A. Les élèves connaissent sans doute d'autres liquides incolores que l'eau. Certains sont très inflammables, l'alcool et l'acétone par exemple. Il faut donc procéder d'une manière différente pour les faire chauffer. Mettre d'abord environ 2 cm d'alcool ou d'acétone dans le tube à essai et plonger le thermomètre dans le liquide. Faire bouillir de l'eau à bonne distance du tube à essai - puis verser cette eau chaude dans le becher de telle sorte que le niveau de l'eau dépasse celui de l'alcool contenu dans le tube (voir figure). Remuer doucement l'alcool au moyen du thermomètre et observer la température. Quel est le point d'ébullition de l'alcool? Montrer pourquoi



cette manière de trouver le point d'ébullition des liquides inflammables est dépourvue de danger.

B. Une autre technique sans danger et qui demande peu de liquide inflammable est la suivante : sceller à la flamme l'extrémité d'un tube de verre d'environ 8 cm de long et 2 à 3 cm de diamètre extérieur. Introduire dans ce tube un peu du liquide à étudier. Plonger dans le liquide un tube capillaire scellé à une extrémité (comme le tube utilisé pour trouver le point de fusion), de telle sorte que l'extrémité scellée soit tournée vers le haut et l'extrémité ouverte plongée dans le liquide (voir figure). Au moyen d'un bracelet de caoutchouc, attacher le tube - celui qui contient le liquide et le tube capillaire - au réservoir d'un thermomètre. Plonger le tout dans un becher contenant de l'eau, qu'on fera chauffer doucement sur un bec Bunsen. A mesure que la température s'élève, des bulles se dégagent lentement du tube capillaire, mais, lorsqu'on atteint le point d'ébullition, les bulles se mettent soudainement à sortir en chapelet continu. Lire la température, puis laisser refroidir l'eau et noter de nouveau la température quand le chapelet de bulles cesse de se dégager. Le point d'ébullition est la moyenne de ces deux lectures. Trouver par cette méthode le point d'ébullition du benzène.

2.7 Point d'ébullition d'un mélange de deux liquides

Les points d'ébullition du benzène et de l'éthanol sont assez voisins. En utilisant la méthode indiquée plus haut, trouver le point d'ébullition de

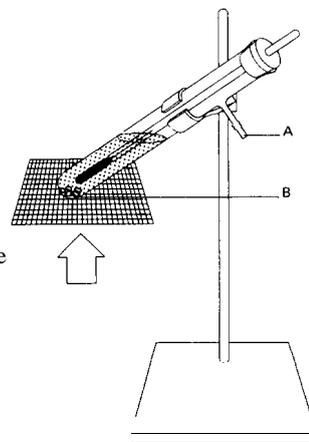
mélanges de benzène et d'alcool de proportions variables. Point à discuter avec les élèves : Peut-on reconnaître un corps pur à son point de fusion ou à son point d'ébullition?

2.8 Une variation de pression modifie le point d'ébullition

Mettre de l'eau dans une éprouvette munie d'un tube de dégagement latéral ou avec un deuxième tube à dégagement dans le bouchon. Pour éviter les projections, mettre quelques perles de verre dans l'eau. Humecter le bouchon qui porte le thermomètre avant de l'enfoncer dans le tube (voir figure). Chauffer fortement le treillis métallique pour porter l'eau à ébullition. Quelle est la température indiquée? Interrompre le chauffage et relier A à une trompe à eau. Quand l'eau cesse de bouillir, mettre la trompe à eau à plein régime.

Ébullition de l'eau sous pression réduite

- a Vers la trompe à eau
- b Perles de verre pour éviter les projections



Remettre le bec Bunsen en place et chauffer à nouveau. Quelle a été la modification de la pression à l'intérieur du tube? Quelle est maintenant la température à laquelle l'eau bout?

Au Kenya, en Afrique orientale, l'eau bout à 100 °C à Mombasa, situé sur la côte; mais, à Nairobi, l'eau bout à moins de 95 °C. Pourquoi?

2.9 Comparaison des solubilités dans l'eau de corps différents

On choisira un certain nombre de sels sur l'étagère du laboratoire pour montrer que chacun a

une solubilité dans l'eau différente. Prendre des échantillons de 5 g et essayer de faire dissoudre chacun dans 15 cm³ d'eau recueillie dans un tube à essai. (Dans les recueils de constantes la solubilité est indiquée en grammes par 100 g d'eau à une température déterminée, 20 °C habituellement.) On bouchera les divers tubes à essai et on les agitera vigoureusement pendant un même laps de temps. On montrera ainsi que sa solubilité dans l'eau constitue l'une des propriétés caractéristiques d'une substance donnée. Parmi les corps à étudier, citons par exemple le sucre, le sel de table ordinaire, le nitrate de potassium, le sulfate de calcium, etc.

2.10 Influence de la température sur la solubilité

La solubilité du bichromate de potassium est d'environ 5 g pour 100 g dans l'eau froide et de quelque 95 g pour 100 g dans l'eau chaude. L'écart est donc important et l'on peut le démontrer de la manière suivante : préparer environ 50 cm³ de solution saturée de bichromate de potassium à 60 °C environ. Décanté dans un becher propre et maintenir la température de ce verre à 40 °C jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de cristaux. Transvaser alors, en décantant, dans un troisième becher propre en évitant d'y laisser entraîner des cristaux. Laisser refroidir la solution jusqu'à la température ambiante : de nouveaux cristaux se formeront au cours de ce refroidissement. Cette expérience montre qu'une solution saturée contient moins de solide dissous à basse température qu'à une température plus élevée.

2.11 Comment trouver la solubilité d'un corps dans l'eau à une température donnée

Mettre environ 50 cm³ d'eau dans un becher et y faire dissoudre, lentement et en remuant constamment, de la levure (hydrogénocarbonate de sodium) ou bien du sulfate de potassium. Remuer jusqu'à ce que plus rien ne se dissolve, c'est-à-dire jusqu'à ce que la solution soit saturée. Déterminer la température de cette solution saturée. Peser une capsule à évaporation propre. Y verser un peu de la solution saturée claire après décantation et peser à nouveau pour obtenir la masse de la solution. Faire évaporer complètement celle-

ci et peser de nouveau pour obtenir la masse d'hydrogénocarbonate de sodium dissous, en même temps d'ailleurs que la masse de l'eau de solution. On peut ainsi calculer la solubilité de l'hydrogénocarbonate en grammes pour 100 g d'eau à une température déterminée.

2.12 Influence de la grosseur des particules sur la solubilité

Comparer le temps mis par de gros grains de sel à se dissoudre avec le temps mis par du sel fin, ou par de gros cristaux de sulfate cuivrique et les mêmes cristaux réduits en poudre fine. Mettre 4 g de gros sel dans un tube à essai à moitié rempli d'eau et 4 g de sel fin dans un autre tube contenant la même quantité d'eau. Agiter les deux tubes en même temps et de la même manière et laisser reposer toutes les 3 ou 4 secondes pour observer la quantité de sel non dissous qui reste dans chaque tube : on constate que les petites particules se dissolvent plus vite que les grosses.

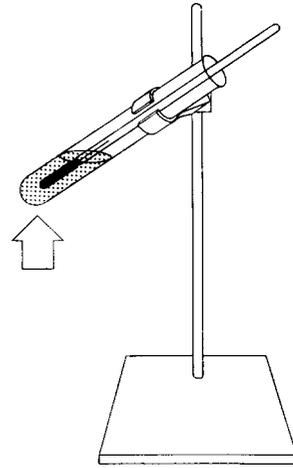
2.13 Étude de divers types de solvants

On pourra faire cette étude en observant la solubilité du sel de cuisine ou de l'iode dans trois solvants : eau, alcool et tétrachlorure de carbone. Remplir au tiers trois tubes à essai : l'un avec de l'eau, l'autre avec de l'alcool à brûler du commerce et le troisième avec du tétrachlorure de carbone. Verser dans chacun environ 1 g de sel, puis boucher et agiter. On constate que le sel se dissout facilement dans l'eau, moins facilement dans l'alcool et très difficilement dans le tétrachlorure de carbone. Prendre trois autres tubes à essai et les remplir au tiers des mêmes solvants, mais utiliser cette fois une très petite quantité d'iode - quelques cristaux - en la répartissant également entre les trois solvants. Les résultats obtenus sont totalement différents : cette fois, c'est le tétrachlorure de carbone qui dissout le plus d'iode et l'eau qui en dissout le moins.

2.14 Densité d'un solide

La densité d'un solide élément, composé ou minéral, par exemple - est, pour un choix d'unités convenable, mesurée par le même nombre que sa masse volumique, c'est-à-dire par le rapport

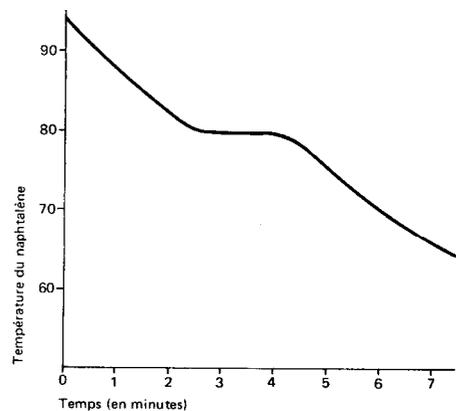
de sa masse à son volume. Il est facile de déterminer la masse au moyen d'une balance. Si le solide est insoluble dans l'eau, on peut - quelle que soit sa forme - déterminer son volume en mesurant le volume d'eau qu'il déplace. Pour cela, remplir à moitié d'eau une éprouvette graduée et repérer le niveau de l'eau. Immerger le solide dans l'eau et repérer le nouveau niveau : on obtient le volume en faisant la différence entre les deux lectures. Voici quelques exemples de masse volumique de quelques corps pouvant présenter de l'intérêt pour le chimiste (en g/cm^3) : soufre, 2,0; quartz, 2,6; calcite, 2,7; cuivre, 8,9; plomb, 11,4. Certains minerais, comme la malachite, la cassitérite et la césurite, n'ont pas une densité homogène, car ils contiennent des quantités variables de quartz, de feldspath et autres minéraux. (Voir aussi les expériences 2.286, 2.287 et 4.9.)



2.16 Solidification du naphthalène liquide

2.15 Densité d'un liquide

Le toluène, le tétrachlorure de carbone et le bromoforme sont des liquides dont il est intéressant d'étudier la densité. Le feldspath et le quartz flottent sur le bromoforme, dont la masse volumique est de $2,9 \text{ g/cm}^3$. Peser un petit récipient contenant le liquide; verser celui-ci dans une éprouvette graduée pour trouver son volume. Peu importe qu'une partie du liquide adhère aux parois du récipient. Avec une balance, trouver la masse du récipient et en déduire la masse de liquide transvasée dans l'éprouvette. La masse volumique s'obtient en divisant la masse du liquide par son volume. (Voir aussi les expériences 2.286 et 2.287.)



Energie nécessaire pour transformer les solides en liquides et les liquides en vapeur

2.16 Étude de l'énergie calorifique dépensée lorsqu'un liquide devient solide

En climat chaud, le naphthalène convient très bien pour cette expérience : au-dessus de $80,2 \text{ °C}$, il est liquide. En climat froid, le benzène convient mieux, car il faut de la glace pour abaisser sa température jusqu'au-dessous du point de fusion, qui est de $5,5 \text{ °C}$.

Mettre du naphthalène réduit en poudre dans un tube à essai de $100 \times 16 \text{ mm}$, jusqu'à une hauteur d'environ 6 cm. Chauffer doucement jusqu'à fusion complète du naphthalène. Plonger un thermomètre dans celui-ci. Cesser de chauffer quand la température du naphthalène est d'environ 95 °C . Il faut disposer d'une pendule ou d'une montre qui indique les secondes. Remuer doucement le naphthalène avec le thermomètre pendant qu'il refroidit. Relever la température toutes les 15 secondes, et cela pendant 6 minutes environ.

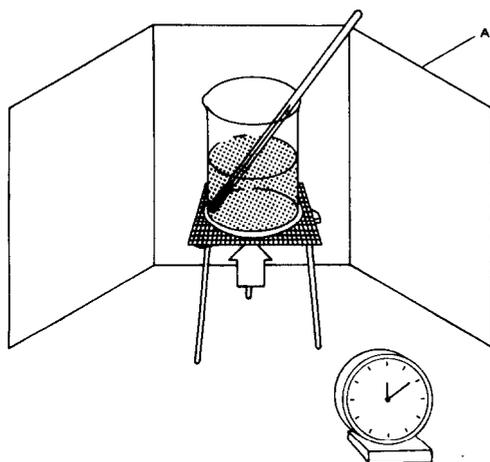
Établir une courbe des températures en fonction du temps - en abscisse - comme indiqué sur le graphique. On voit que la chute de température marque un palier au point de fusion. Comment peut-on expliquer cet arrêt du refroidissement de quelques secondes au niveau du point de fusion?

2.17 Chaleur massique et chaleur de vaporisation d'un liquide

Cette expérience peut être réalisée par les élèves avec de l'eau ou par le maître avec de l'éthanol, du trichloroéthane ou du tétrachloroéthane. Il importe avant tout de disposer d'une source de chaleur absolument constante et à l'abri des courants d'air.

A. Placer un bec Bunsen donnant une flamme d'environ 5 cm sous un ballon ou un becher contenant une masse connue du liquide à étudier : un volume de 50 cm³ convient très bien. Voir le dispositif sur la figure (noter l'écran de protection contre les courants d'air).

Plonger un thermomètre dans le liquide et relever l'élévation de température toutes les 15 secondes. Reporter les données sur un graphique, avec



Chaleur nécessaire à la vaporisation d'un liquide

A Écran formant paravent

le temps en abscisse. Réunir les points obtenus par la meilleure droite possible en négligeant les derniers points enregistrés; la pente de cette droite permettra de calculer l'élévation moyenne de température par minute. Si l'on admet que toute la chaleur passe dans le liquide et que celle qui est absorbée par le récipient est négligeable par comparaison, on peut calculer le nombre de calories absorbées par minute par le liquide en multipliant la masse du liquide- par sa chaleur massique et par l'élévation de température par minute. (Voir aussi expériences 2.135 et 2.136.)

B. Sans modifier l'intensité de la flamme ni la disposition du paravent, faire bouillir le liquide pendant un laps de temps déterminé (10 minutes pour l'eau, mais seulement 5 minutes pour les liquides plus volatils seront des durées convenables). La première partie de l'expérience permet de calculer facilement la quantité de chaleur fournie au liquide pour un nombre de minutes donné. Quelle hypothèse peut-on faire sur l'utilisation de cette chaleur? Le temps d'ébullition prévu une fois terminé, retirer le bec Bunsen, laisser refroidir et trouver la masse du liquide qui a été vaporisée. Les résultats obtenus jusqu'à présent permettent de calculer la quantité de chaleur nécessaire pour convertir une certaine masse de liquide en vapeur. Combien faut-il de kilocalories pour convertir 18 g d'eau, ou 46 g d'éthanol, etc., en vapeur? Le chiffre obtenu donne la chaleur de vaporisation du liquide considéré.

Utilisation du point de fusion, du point d'ébullition, de la solubilité et de la densité pour séparer des corps des mélanges qui les contiennent

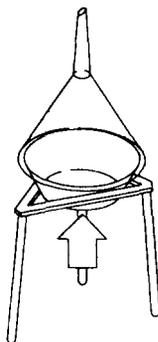
2.18 Extraction de l'étain d'un mélange d'étain et de carbone

Préparer un mélange d'étain et de carbone à l'aide de limaille d'étain ou de petits fragments d'étain, et de charbon de bois écrasé. On peut aussi utiliser de petits morceaux de soudure à l'étain, bien que celle-ci ne contienne qu'environ 66 % d'étain, le reste étant constitué par du plomb. Le plomb peut d'ailleurs lui aussi être

employé pour cette expérience. En revanche, le métal des boîtes à conserves est inutilisable car ces boîtes sont en fer-blanc recouvert d'une très mince couche d'étain. L'étain fond à 232 °C et le carbone à 3 730 °C. Chauffer le mélange dans un creuset. Remuer avec un bout de bois jusqu'à ce que l'étain fonde et se transforme en un liquide sur lequel nage le charbon de bois. Verser l'étain sur une plaque d'amiante ou une autre surface réfractaire, en retenant le charbon de bois dans le creuset au moyen d'un morceau de bois. On peut aussi couler l'étain dans un moule en plâtre préparé à l'avance.

2.19 Séparation par sublimation

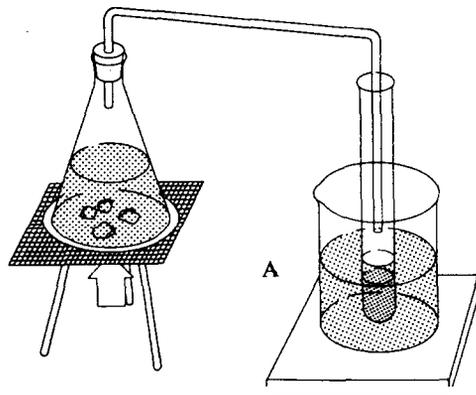
Extraction de l'iode d'un mélange contenant quelques cristaux d'iode et du chlorure de sodium. Faire chauffer ce mélange dans une capsule au-dessus de laquelle on aura placé un entonnoir (comme indiqué sur la figure). L'iode se sublime puis se condense sur les bords froids de l'entonnoir.



Sublimation de l'iode

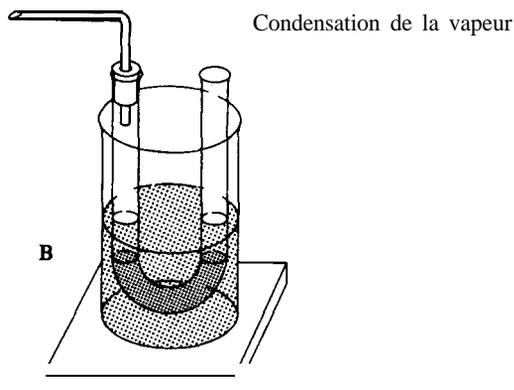
2.20 Séparation par distillation

Séparation de l'encre ordinaire et de l'eau : cette expérience a pour but de faire comprendre que l'eau, plus volatile, se transforme en vapeur avant de se condenser dans un deuxième récipient pour redonner de l'eau. Il est important d'utiliser pour cela une solution très colorée, comme l'encre, pour mettre en évidence la séparation. Verser environ 5 à 10 cm³ d'encre dans un récipient pouvant supporter l'ébullition - petite fiole conique ou éprouvette en Pyrex - et ajouter des perles



Condensation de la vapeur

de verre ou des copeaux pour empêcher les projections. Fixer à ce récipient un bouchon muni d'un tube à dégagement dont l'autre extrémité plongera jusqu'à mi-hauteur dans un tube à essai (figure A) ou dans un tube en U (figure B). Refroidir le tube récepteur. Chauffer la solution d'encre sur une flamme Bunsen très réduite. Les élèves pourront remarquer le déplacement de la limite très visible entre les zones froide et chaude : elle remonte dans la fiole ou l'éprouvette et va vers le tube collecteur. Au bout de quelques minutes, on voit apparaître des gouttes de liquide incolore dans le tube collecteur. A son action sur du sulfate cuivrique anhydre, on peut vérifier qu'il s'agit



Condensation de la vapeur

bien d'eau. On prendra soin de ne pas laisser l'encore déborder, sous forme de mousse ou de projections, dans le tube à dégagement.

2.21 Distillation fractionnée du pétrole brut

On peut facilement séparer le pétrole brut en trois ou quatre fractions, dont chacune a des propriétés intéressantes en tant que combustible ou lubrifiant. On obtiendra un équivalent du pétrole brut en mélangeant dans des proportions convenables de l'huile de vidange de moteur d'automobile, de l'essence minérale, du pétrole lampant, une huile de pétrole fine, du gas-oil et un peu de vaseline. Disposer le gros tube de Pyrex, le tube à dégagement et les quatre petits tubes à bords évasés en Pyrex épais comme indiqué sur la figure.

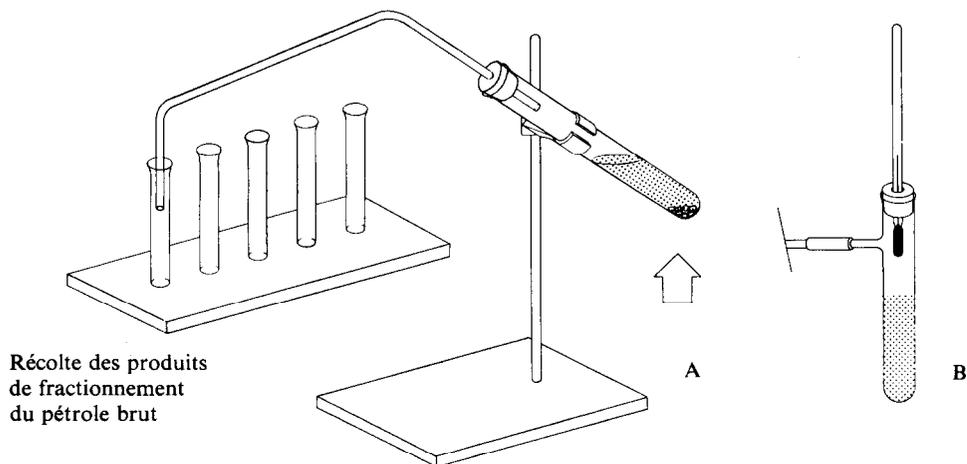
On utilisera si possible un thermomètre allant de 0 à 360 °C; dans ce cas, il vaudra mieux choisir un tube muni d'un tube à dégagement latéral comme celui de la figure B que le tube ordinaire de la figure A. Mettre environ 4 cm³ de pétrole dans l'éprouvette avec de la laine d'amiante ou des copeaux pour empêcher les projections. Aligner cinq petits tubes à bords évasés en Pyrex épais pour recueillir les produits de fractionnement. Chauffer doucement le pétrole. Recueillir environ 10 gouttes de distillat dans le premier tube, puis 10 gouttes dans le deuxième tube, et ainsi de suite. Le point d'ébullition du pétrole restant s'élèvera de plus en plus à mesure que la distillation se poursuivra, et il faudra donc activer

la flamme Bunsen. On disposera les produits de fractionnement selon l'ordre croissant des températures de distillation et on sera en mesure de faire les observations suivantes :

1. Les colorations doivent aller de l'incolore au jaune.
2. La viscosité doit aller en augmentant et la fluidité en décroissant.
3. Les produits de fractionnement obtenus à température élevée doivent être plus difficiles à enflammer que les produits obtenus à température basse.
4. Les produits de fractionnement obtenus à haute température doivent brûler en donnant plus de suie que les produits obtenus à basse température.

Pour faire brûler les produits de fractionnement, on peut utiliser des capsules de bouteille dont on aura retiré la rondelle de liège. Après avoir fait cette expérience, demander aux élèves quels produits de fractionnement leur semblent susceptibles d'être utilisés comme essence, pétrole lampant, gas-oil ou huile de graissage. Quelle peut être l'utilisation du résidu noirâtre qui est resté au fond du tube chauffé?

Si l'on a utilisé un thermomètre allant de 0 à 360 °C, les produits de fractionnement recueillis correspondent à diverses zones de température repérables : a) jusqu'à 80 °C; b) 80-120 °C; c) 120-180 °C; d) 180-220 °C. Sachant qu'on peut reconnaître les corps purs à leur point d'ébulli-



tion, doit-on considérer ici que chaque fraction recueillie est un corps pur? On incitera les élèves à se documenter sur les raffineries de pétrole.

2.22 Séparation du sel et du sable

Préparer un mélange de sel et de sable et en mettre environ 2 cm^3 dans un tube à essai de $100 \times 16\text{ mm}$. Ajouter 5 cm^3 d'eau et agiter jusqu'à complète dissolution du sel. Verser le contenu du tube sur du papier filtre placé dans un entonnoir et tenu au-dessus d'une capsule. Laver le tube à essai avec un peu d'eau et verser également cette eau sur le papier filtre. Le sable restera sur le papier filtre et l'on pourra le recueillir après séchage. Le sel pourra être extrait du filtrat si on chauffe la capsule pour faire disparaître l'eau.

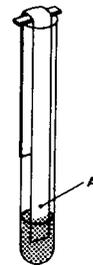
2.23 Extraction d'huile de noix de coco ou d'arachide au moyen d'un solvant

Mettre dans un mortier environ douze arachides ou des morceaux de noix de coco. Ajouter 20 cm^3 d'acétone ou d'alcool et brûler. Écraser les arachides dans le solvant aussi finement que possible pendant quelques minutes, puis verser le liquide dans un tube à essai. Filtrer dans un cristallisateur. Exposer le cristallisateur au soleil pendant 5 à 10 minutes, ou, s'il n'y a pas de soleil, le mettre sur un récipient d'eau chaude pendant 15 minutes. Le solvant s'évapore et il ne reste plus que l'huile extraite des arachides.

2.24 Séparation par chromatographie

A. Récolter des feuilles et de l'herbe et les faire sécher. Les hacher ou les déchirer en petits morceaux et les mettre dans un mortier. Ajouter environ 5 cm^3 d'acétone ou d'alcool. Ecraser complètement les feuilles et l'herbe dans le solvant jusqu'à obtenir une solution vert foncé : celle-ci doit être aussi concentrée que possible, c'est pourquoi on n'ajoutera pas trop de solvant. Découper une bande de papier filtre de 1 cm de large et suffisamment longue pour être suspendue dans un tube à essai sans toucher le fond. A l'aide d'une pipette fine, déposer une goutte de la solution concentrée sur ce papier à 1 cm de l'extrémité inférieure, comme indiqué sur la figure en A. Faire sécher le papier en l'agitant doucement, puis dépo-

ser une autre goutte au même endroit et faire sécher. Recommencer plusieurs fois en faisant sécher chaque fois avant de déposer une nouvelle goutte. Le but de l'opération est d'obtenir un dépôt, concentré sur une petite surface, des substances colorées contenues dans les feuilles et dans l'herbe. Mettre ensuite 1 cm^3 du solvant dans un tube à essai. Suspendre dans ce tube la bande de papier filtre de telle sorte que son extrémité inférieure soit tout juste immergée dans le solvant, la tache A restant nettement au-dessus du niveau du solvant, comme le montre la figure. Le solvant montera dans le papier filtre par capillarité et les substances colorées monteront avec lui selon leurs « affinités » respectives pour le papier ou le solvant. Normalement, ce chromatogramme fera apparaître une bande orangée de xanthophylle, en haut, et une bande verte de chlorophylle, en bas. Si l'on a utilisé du benzène ou du toluène comme solvant, on doit également voir une bande de carotène entre les deux premières.

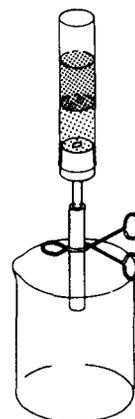
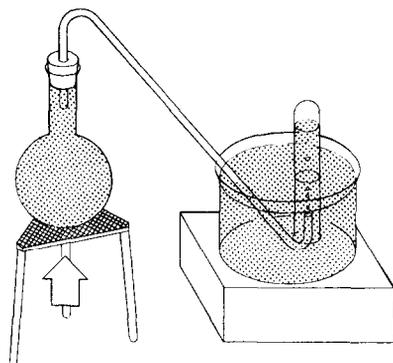


A Chromatogramme

B. Les encres - l'encre noire en particulier - contiennent habituellement plusieurs teintures colorantes qu'on peut séparer par chromatographie en utilisant le dispositif de l'expérience précédente. Déposer une petite goutte d'encre noire au point A et suspendre le papier filtre dans un mélange d'acétone et d'alcool alcalinisé au moyen de quelques gouttes d'hydroxyde d'ammonium. Essayer d'autres solvants. On doit pouvoir obtenir une bonne séparation des teintures colorantes.

2.25 Comment trouver la quantité de gaz dissoute dans une certaine quantité d'eau

Remplir à ras bord un ballon à fond rond avec



de l'eau du robinet et y mettre un bouchon muni d'un tube à dégagement, lui aussi complètement rempli d'eau. (Pour y parvenir facilement, mettre le bouchon en tenant l'ensemble de l'appareil immergé dans un évier rempli d'eau.) Installer l'appareil comme l'indique la figure et chauffer le ballon sur un bec Bunsen. Des bulles de gaz se dégageront et seront recueillies dans le tube à essai. Continuer jusqu'à ce que le contenu du ballon soit en ébullition. On peut ainsi recueillir environ un demi-tube à essai de gaz qui était en solution dans l'eau et a été libéré par l'échauffement.

2.26 Séparation de deux liquides non miscibles de densités différentes

Voici quelques mélanges pratiques, avec, pour les constituants autres que l'eau, leurs masses volumiques d (en g/cm^3) : a) eau et benzène ($d = 0,88$); b) eau et tétrachlorure de carbone ($d = 1,59$); c) eau et mercure ($d = 13,6$).

Pour effectuer la séparation de deux liquides on trouvera pratique d'employer une burette ou un gros tube muni d'un bouchon, d'un tuyau de verre et d'un tuyau de caoutchouc obturé à l'aide d'une pince comme le montre la figure. L'ajout d'un cristal d'iode aux mélanges a et b fera mieux ressortir les nappes superposées de benzène et de

tétrachlorure de carbone. Agiter le mélange et le verser dans le vase séparateur. Attendre qu'une limite se distingue nettement entre les deux liquides et soutirer la couche de liquide la plus lourde dans un verre placé en dessous du vase.

2.27 Séparation de deux solides par différences de densité

Dans l'industrie, on sépare les diamants (masse volumique voisine de $3,3 \text{ g/cm}^3$) du feldspath et du quartz en faisant flotter ces derniers sur une bouillie d'oxyde magnétique de fer à laquelle on a donné la densité voulue.

Le bromoforme n'est pas un produit très courant dans les laboratoires scolaires; si on a la chance d'en avoir, on pourra faire l'expérience suivante : le sable de rivières ou celui qu'on trouve sur les plages est fait souvent de petites particules de quartz mélangées à des particules plus lourdes telles que l'ilménite ou le zircon; dans le bromoforme, dont la masse volumique est de $2,9 \text{ g/cm}^3$, les particules de quartz flottent, alors que les autres, plus lourdes, s'enfoncent. Mettre du bromoforme dans un tube à essai jusqu'à une hauteur de 3 cm et ajouter un peu de sable : voir si l'on peut constater une séparation du quartz et des autres minéraux. Faire flotter du verre sur du bromoforme. Chercher des particules de roche qui s'enfoncent dans le bromoforme. Le même bromoforme pourra servir à effectuer de nombreuses expériences : ne pas le jeter.

1. Les masses volumiques des solides et des liquides sont, en g/cm^3 , exprimées par les mêmes nombres que leurs densités.

Action de la chaleur sur les corps

Quand on chauffe un corps, on peut observer diverses modifications : ce corps peut fondre, bouillir, se transformer en un autre corps, se transformer sous l'action de la chaleur, mais reprendre son état initial après refroidissement, changer de coloration ou de volume, devenir plus lourd, plus léger, ou conserver la même masse.

2.28 Corps qui prennent quelque chose à l'air

A. Nettoyer une feuille de cuivre de 3 cm de côté environ; la chauffer en la tenant avec des pinces : un corps noirâtre se forme à sa surface. Ce corps provient-il de la flamme? Ou s'agit-il de quelque chose qui provient de l'air et qui se serait fixé sur le cuivre? Ou encore, ce corps noirâtre vient-il de l'intérieur du cuivre? Quelles expériences peut-on envisager pour répondre à ces questions? Si l'on utilise une feuille de cuivre de surface beaucoup plus importante, y a-t-il un moyen de savoir si le cuivre change de masse quand on le chauffe?

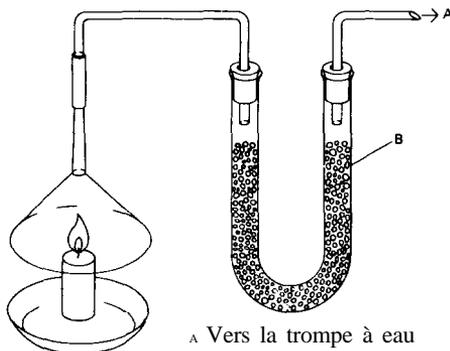
B. Action de la chaleur sur le magnésium. Nettoyer environ 25 cm de ruban de magnésium et le couper en morceaux de 1 cm. Placer ces morceaux dans un creuset muni d'un couvercle. Peser le creuset avec son couvercle et le magnésium. Poser le creuset sur un triangle de terre réfractaire placé sur un trépied. Chauffer d'abord très doucement, puis aussi vivement que possible. A l'aide d'une pince, tenir le couvercle près du creuset : lorsqu'il est sur le point de fondre, le magnésium prend une couleur plus foncée; au moindre signe de combustion, mettre le couvercle sur le creuset et retirer le bec Bunsen. Toutes les 4 secondes environ, soulever très légèrement le couvercle pour permettre une entrée d'air tout en évitant de laisser s'échapper de la fumée blanche d'oxyde de magnésium. Lorsque le magnésium ne prend plus feu quand on soulève le couvercle, retirer celui-ci avec précaution. Recommencer à chauffer fortement le creuset, en gardant le couvercle à portée de la main pour le cas où le magnésium recommencerait à prendre feu. Laisser refroidir. Une fois le creuset refroidi, peser l'ensemble creuset, couvercle et contenu. Constate-

t-on une augmentation de masse du magnésium? D'où provient-elle?

2.29 Comment recueillir et peser les gaz résultant d'une combustion

Les produits solides résultant d'une combustion sont faciles à peser, mais comment faire pour les produits gazeux?

Pour savoir si une bougie prend quelque chose à l'air, il est nécessaire de peser les gaz produits par la combustion. La cire, contenant de l'hydro-



A Vers la trompe à eau
B Chaux sodée peu tassée

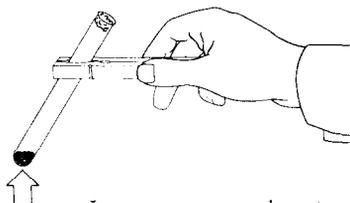
gène et du carbone, brûle en donnant de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone : des granulés de chaux sodée absorbent ces deux gaz. On construira l'appareil comme indiqué sur la figure.

On pèsera l'ensemble de l'appareil avant de commencer l'expérience. Puis on actionnera la trompe à eau pour aspirer l'air au-dessus de la bougie, qu'on allumera. On la laissera brûler pendant 5 minutes, puis on éteindra et on débranchera la trompe à eau. Une fois l'appareil refroidi, on pèsera de nouveau tout l'ensemble. La masse a-t-elle augmenté? La bougie prend-elle de l'oxygène dans l'air quand elle brûle? L'augmentation de poids est-elle due à l'absorption de la vapeur d'eau de l'air aspiré par l'appareil? On souhaitera peut-être s'en assurer en faisant une expérience témoin qui consistera à aspirer l'air dans l'appareil à l'aide de la trompe à eau, à la même vitesse et pendant le même laps de temps, mais sans allumer la bougie. Au cours de la première expérience, la bougie a perdu du poids, mais l'augmentation

de masse du tube en U résultant de l'absorption des produits gazeux doit être supérieure à la diminution de masse de la bougie.

2.30 Corps qui perdent du poids sous l'effet de la chaleur

A. Peser un tube à essai contenant 1 cm de permanganate de potassium et bouché avec un tampon de coton hydrophile pour éviter que tout produit solide se perde au cours du chauffage (voir figure). Chauffer le tube. Le peser à nouveau. Y a-t-il diminution de masse? Où la différence est-elle passée?



Le permanganate de potassium dégage un gaz

B. Essayer de chauffer du carbonate cuivrique de la même manière. Y a-t-il diminution de masse? Où la différence est-elle passée?

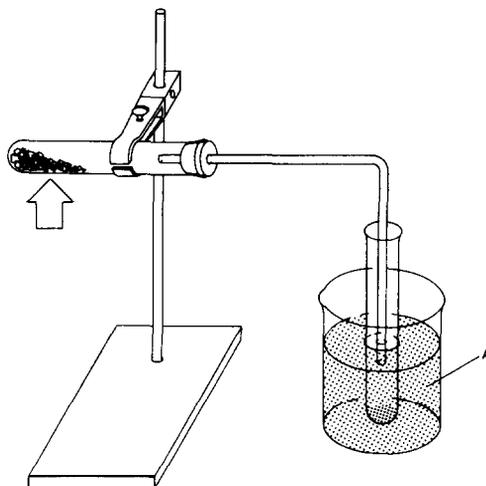
2.31 Certains corps n'augmentent pas et ne diminuent pas de masse quand on les chauffe

Chauffer de l'oxyde de zinc sec dans un tube à essai comme dans l'expérience précédente. Constate-t-on une augmentation ou une diminution de masse?

2.32 Action de la chaleur sur des cristaux de sulfate cuivrique

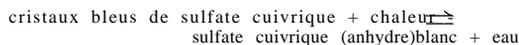
Écraser quelques cristaux bleus de sulfate cuivrique et en mettre sur 4 cm de hauteur dans un tube à essai. Disposer comme sur la figure. Chauffer le tube doucement. Que remarque-t-on? Condensation de vapeur sur les parties les plus froides? Changement de coloration, du bleu au blanc? Écoulement de liquide dans le tube collecteur? Est-il possible d'identifier le liquide recueilli en établissant son point d'ébullition? Une fois que

tous les cristaux de sulfate cuivrique sont devenus blancs et que le tube s'est refroidi, prendre le tube dans une main et verser le liquide recueilli sur les



2.32 Appareil pour recueillir le produit résultant du chauffage du sulfate cuivrique
A Becher d'eau froide

cristaux blancs. Reprennent-ils leur coloration bleue? Y a-t-il restitution de chaleur? On peut rendre compte de ce qui s'est produit en écrivant :



La transformation est réversible. Sujet à discuter : Les expériences précédentes sur le chauffage des corps étaient-elles réversibles?

Comment préparer et recueillir quelques gaz, et en déterminer les propriétés

2.33 Hydrogène

A. Mettre un peu de grenaille de zinc, ou des morceaux de feuille de zinc provenant de l'enveloppe d'une vieille pile sèche, dans un tube en Pyrex; ajouter 2 gouttes de solution de sulfate cuivrique et monter l'appareil comme l'indique la

figure. Au lieu de l'entonnoir à longue tubulure de la figure A, on peut utiliser une seringue comme sur la figure B. On peut aisément se procurer des seringues dans un hôpital ou dans une clinique, où elles sont souvent jetées après usage. Verser sur le zinc, par l'entonnoir, suffisamment d'acide sulfurique molaire (voir chapitre premier) pour immerger l'extrémité de la tubulure. Si on utilise une seringue, il n'est pas nécessaire d'immerger l'extrémité du tube, étant donné que le gaz ne risque pas de s'échapper par la seringue. Ne pas prendre les deux ou trois premiers tubes à essai d'hydrogène : ils contiennent aussi de l'air déplacé par le dégagement de gaz. *Attention* : une explosion dangereuse peut se produire si on allume le gaz dans un récipient plus grand qu'un tube à essai, surtout si le gaz est mélangé d'air. Recueillir quelques tubes à essai de gaz et les boucher. Vérifier le troisième tube à essai en approchant une bougie ou une allumette de son goulot immédiatement après avoir retiré le bouchon : l'hydrogène pur s'enflamme en faisant un petit « pop ». Ne jamais dessécher l'hydrogène avec de l'acide sulfurique concentré.

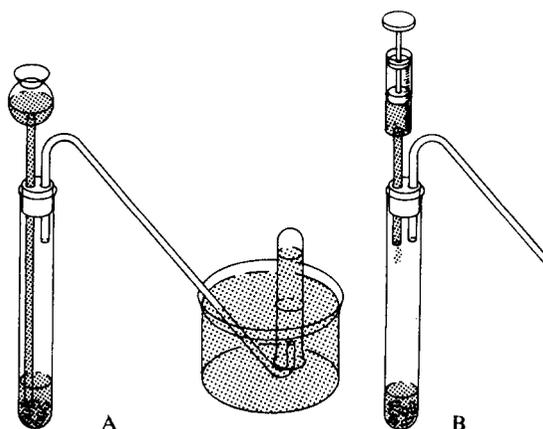
B. L'hydrogène brûle dans l'air en donnant de la vapeur d'eau. Lorsqu'on enflamme de l'hydrogène dans un tube à essai sec, peut-on constater la

présence, sur les bords du tube à essai, de gouttelettes ou de buée?

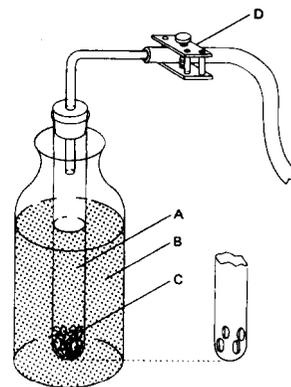
C. Pour savoir si l'hydrogène est plus léger que l'air, on peut le transvaser dans un tube à essai placé soit au-dessous, soit au-dessus de celui qui contient le gaz : une bougie allumée permettra de voir où est passé l'hydrogène. On peut aussi faire des bulles de savon en faisant déboucher le tube de dégagement de l'appareil générateur dans un détergent ou une solution savonneuse : les bulles gonflées d'hydrogène s'élèveront dans l'air, ce qui montrera que la densité de ce gaz est faible.

2.34 Petit générateur à hydrogène

La figure représente un appareil simple pour la fabrication de l'hydrogène. Le tube à essai A est un tube en Pyrex dont le fond est percé de trous. Pour les percer, on peut procéder comme suit : chauffer au rouge à la flamme d'un bec Bunsen le fond du tube à essai et une baguette de verre tenus côte à côte; faire fondre la baguette sur le tube à l'endroit où on veut faire un trou : en tirant la baguette, on entraîne un fragment de verre du tube; après l'avoir détaché complètement, border les trous à la flamme chaude. Faire ainsi trois ou quatre trous, puis mettre dans le tube un peu de grenaille de zinc et y adapter un bouchon muni



2.33 Appareil pour recueillir l'hydrogène

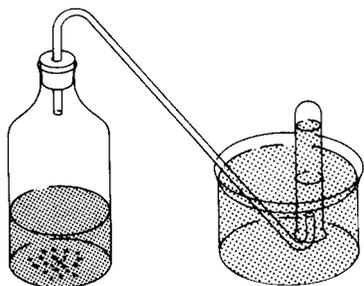


- A Tube en Pyrex percé de trous
- B Acide sulfurique dilué
- C Zinc
- D Pince de Mohr à vis

d'un tube de dégagement à pince de Mohr, comme indiqué sur la figure. Plonger le tube dans un bocal à confitures contenant de l'acide sulfurique molaire et quelques gouttes de solution de sulfate cuivrique. Si l'on desserre la pince, l'acide pénètre dans le tube A et réagit sur le zinc. Si l'on serre la pince, la pression de l'hydrogène produit refoule l'acide par les trous et la réaction cesse. Pour éviter que de petits morceaux de zinc ne passent par les trous, on tapissera le fond du tube de laine de verre.

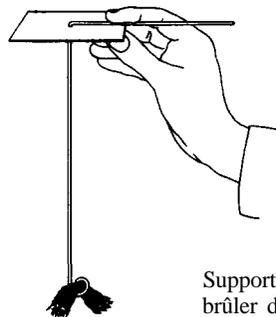
2.35 Oxygène

A. On peut fabriquer de l'oxygène en toute sécurité en décomposant une solution de peroxyde d'hydrogène. Le peroxyde d'hydrogène, ou eau oxygénée, se trouve couramment dans les pharmacies. Mettre quelque 20 cm³ d'eau oxygénée dans une bouteille de 100 cm³ environ. Ajouter deux spatules de dioxyde de manganèse et adapter un tube de dégagement sur la bouteille. L'oxygène qui se dégagera pourra être recueilli de la manière indiquée sur la figure.



Préparation de l'oxygène

B. L'oxygène est incolore et inodore. Comment peut-on savoir si le tube contient de l'oxygène? Prendre un fil de nichrome, le recourber comme l'indique la figure et ajuster en haut une petite plaque servant de protection; fixer dans la boucle terminale un peu de laine d'acier; chauffer celle-ci au rouge dans la flamme d'un bec Bunsen et introduire rapidement dans un tube à essai contenant de l'oxygène. Fixer à la boucle un petit morceau de charbon de bois; essayer de l'enflam-

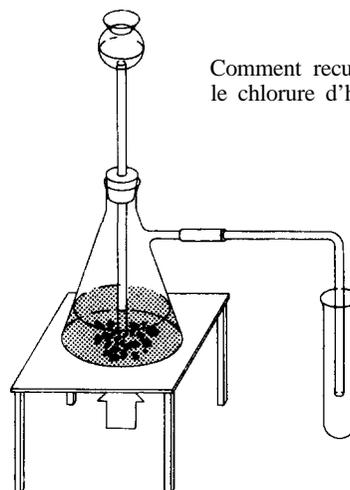


Support pour faire brûler des substances

mer au bec Bunsen et l'introduire rapidement dans un autre tube à essai d'oxygène. Plonger la boucle dans de la fleur de soufre; enflammer dans une flamme Bunsen et plonger dans l'oxygène. Quel est l'effet produit sur ces trois corps? Qu'arrive-t-il si on plonge dans un tube d'oxygène le bout incandescent d'une ficelle ou d'une brindille?

2.36 Chlorure d'hydrogène

Mettre un peu de sel gemme (chlorure de sodium) dans un Erlenmeyer de 100 cm³. (Le gros sel gemme produit moins de mousse que le sel fin.) Verser avec précaution de l'acide sulfurique concentré dans le tube à entonnoir : le chlorure d'hydrogène gazeux peut être recueilli par déplacement de l'air vers le haut (voir figure).



Comment recueillir le chlorure d'hydrogène

A. Remplir quatre tubes à essai de gaz et les boucher. Plonger l'un d'eux dans l'eau et retirer le bouchon : Quelle est la solubilité du chlorure d'hydrogène ?

B. Présenter un tampon de coton hydrophile imbibé d'hydroxyde d'ammonium au goulot d'un tube à essai de chlorure d'hydrogène : la présence de chlorure d'hydrogène se reconnaît à la formation d'un nuage blanc de chlorure d'ammonium.

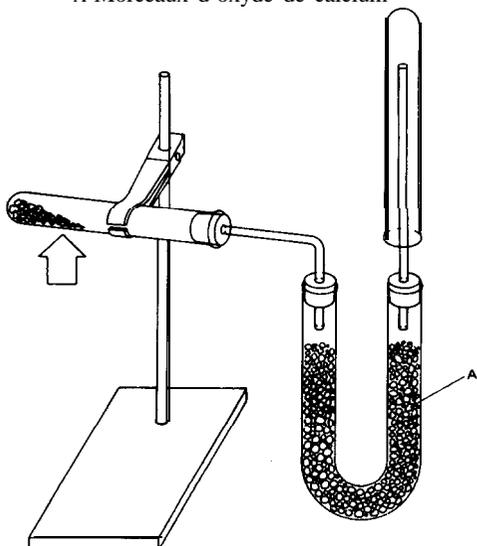
C. Verser de l'eau dans un tube contenant du chlorure d'hydrogène et agiter pour obtenir une solution. Soumettre cette solution à l'action d'un indicateur acide-base (voir expérience 2.44). Faire réagir un peu de magnésium sur cette solution : Peut-on recueillir le gaz dégagé et vérifier qu'il s'agit d'hydrogène ?

2.37 Ammoniac

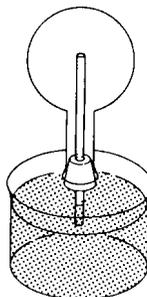
A. Mettre dans un tube à essai, sur une hauteur de 4 cm, un mélange d'hydroxyde de calcium et de chlorure d'ammonium. Remplir un tube en U de morceaux d'oxyde de calcium enrobés de coton

2.37A Préparation de l'ammoniac

A Morceaux d'oxyde de calcium



hydrophile (celui-ci empêche le tube de se boucher). Monter l'appareil comme l'indique la figure. Chauffer doucement le tube à essai. L'oxyde de calcium dessèche l'ammoniac. Pour voir si le tube collecteur est bien plein, présenter un papier de tournesol rouge mouillé au goulot. Recueillir des tubes à essai d'ammoniac et les boucher. Le procédé utilisé pour recueillir l'ammoniac montre que ce gaz est plus léger que l'air.



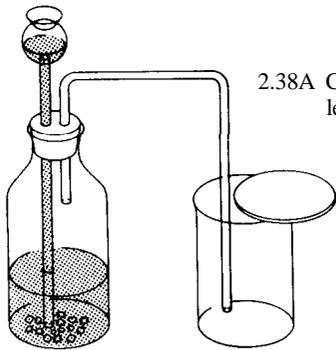
2.37B

Expérience de la « fontaine »

B. Remplir un ballon d'ammoniac et adapter au ballon un bouchon et un tube comme le montre la figure. (Normalement, le tube devrait être effilé pour former un jet.) Chauffer doucement le ballon pour provoquer une légère expansion du gaz, puis le renverser et plonger le tube dans l'eau : après quelques instants, l'eau jaillira à l'intérieur du ballon.

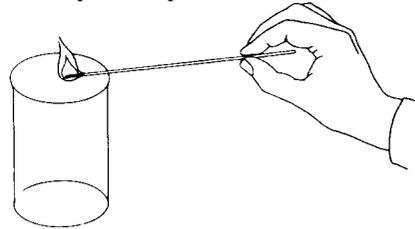
2.38 Dioxyde de carbone

Nombre de réactions permettent d'obtenir du gaz carbonique (dioxyde de carbone). Une bonne méthode consiste à faire agir un acide dilué sur des morceaux de marbre ou de toute autre roche calcaire. Le gaz n'étant pas très soluble, il peut être recueilli par déplacement d'eau (comme plus haut pour la préparation de l'hydrogène). On peut aussi recueillir le dioxyde de carbone par déplacement de l'air dans des bocaux secs comme indiqué sur la figure A. Pour vérifier si le récipient est plein, introduire dans le goulot une allumette ou une bougie allumées : si la flamme s'éteint, c'est



2.38A Comment recueillir le dioxyde de carbone

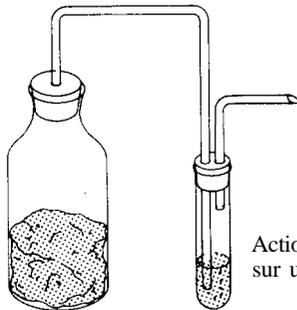
B Comment voir si le récipient est plein



que le récipient est plein (figure B). Placer sur le goulot un couvercle de carton pour empêcher le gaz de s'échapper par diffusion. Vérifier la densité du dioxyde de carbone en le transvasant dans un autre bocal placé soit au-dessus, soit au-dessous de celui qui le contient, et constater la présence du gaz dans l'un ou dans l'autre à l'aide d'une allumette enflammée. N. B. : la présence de dioxyde de carbone peut être confirmée au moyen d'eau de chaux - celle-ci devient laiteuse si on y fait barboter ce gaz.

2.39 Emploi du dioxyde de carbone pour la cuisine

On fera comprendre aux élèves le rôle de la levure



Action de la levure de bière sur une solution de sucre

chimique dans la préparation des gâteaux : elle dégage de toutes petites bulles de dioxyde de carbone, qui font gonfler et lever la pâte, rendant ainsi la pâtisserie légère et agréable à manger. Les levains jouent le même rôle dans la fabrication du pain, bien que le processus prenne plus de temps. La levure chimique (hydrogénocarbonate de sodium, autrefois bicarbonate de soude,

NaHCO_3) réagit sur un acide comme l'acide lactique du lait aigre pour donner du dioxyde de carbone. La levure du commerce contient souvent un acide solide qui ne réagit sur l'hydrogénocarbonate de sodium qu'en milieu humide.

A. Mettre un peu de levure chimique dans de l'eau : Y a-t-il dégagement de dioxyde de carbone? Y a-t-il dégagement de dioxyde de carbone, si on met de l'hydrogénocarbonate de sodium dans de l'eau? Faire agir de la levure chimique sur du vinaigre (acide acétique) ou sur du jus de citron dans un tube à essai : Y a-t-il production de dioxyde de carbone? Quelle est la nature du jus de citron?

B. Faire une solution de sucre et en remplir à moitié un bocal. Ajouter une cuillerée de levure de bière et attendre 2 ou 3 jours. Monter un tube barboteur qui s'adapte sur le bocal comme le montre la figure. La levure dégage-t-elle un gaz? Constate-t-on la présence de dioxyde de carbone dans la partie supérieure du bocal?

Qu'est-ce que la rouille?

2.40 A quoi la rouille est-elle due ?

Prendre 7 tubes à essai et 11 clous ou pointes propres. Préparer les tubes de la façon suivante.

Tube 1. Mettre 2 pointes propres dans le tube et les couvrir à moitié d'eau distillée. Ces pointes sont au contact de l'air et de l'eau et constituent l'expérience témoin.

Tube 2. Mettre au fond d'un tube sec quelques morceaux de chlorure de calcium anhydre ou de gel de silice, ainsi que 2 pointes. Boucher le

tube avec un tampon de coton hydrophile : les pointes sont en contact avec l'air, mais sans qu'il y ait humidité.

Tube 3. Faire bouillir de l'eau pendant quelques minutes pour en évacuer l'air dissous et, quand elle est encore chaude, en verser dans le tube. Mettre 2 pointes dans cette eau et mettre un peu de vaseline ou quelques gouttes d'huile d'olive à la surface de l'eau : la vaseline formera en fondant une couche, imperméable à l'air, qui se solidifiera par refroidissement. Les 2 pointes sont donc en contact avec l'eau mais pas avec l'air.

Tube 4. Couvrir à moitié 2 pointes avec de l'eau contenant un peu de sel de cuisine dissous : ces pointes sont en contact avec l'air, l'eau et le sel.

Tube 5. Entourer une partie de pointe à l'aide d'un morceau de feuille de zinc. Mettre la pointe dans le tube et verser de l'eau du robinet jusqu'à ce qu'elle soit presque entièrement immergée.

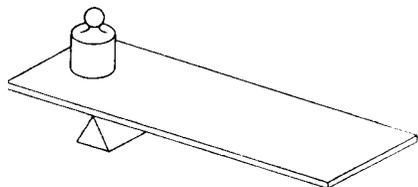
Tube 6. Entourer une partie de pointe à l'aide d'une feuille d'étain. Mettre la pointe dans le tube et verser de l'eau du robinet comme dans le tube 5.

Tube 7. Entourer une pointe d'un bout de fil de cuivre et la mettre dans le tube en l'immergeant de la même manière que celles des tubes 5 et 6.

Disposer ces 7 tubes dans un support et les laisser en place pendant plusieurs jours. Quelles conclusions peut-on tirer de l'expérience en ce qui concerne l'apparition de la rouille? Quel est le meilleur métal pour empêcher la formation de la rouille : le zinc, le cuivre ou l'étain?

2.41 La rouille entraîne-t-elle augmentation de la masse du fer ?

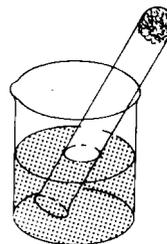
Placer une plaque de fer en équilibre sur un cou-



teau de la façon indiquée sur la figure; un poids en cuivre ou une pierre serviront de contrepoids. Exposer à l'air humide ou sur un rebord de fenêtre pendant plusieurs jours et observer l'action de la rouille sur le bras de levier le plus long.

2.42 Qu'est-ce qui se combine au fer quand il rouille ?

Humecter l'intérieur d'un tube à essai et le saupoudrer du contenu d'une spatule de limaille de fer en le faisant tourner horizontalement de manière que la limaille se répartisse bien et adhère aux parois du tube. On peut aussi introduire au fond du tube un petit tampon de laine d'acier humide. Renverser le tube à essai sur un becher rempli d'eau jusqu'au tiers, le tube reposant sur le rebord du becher (voir la figure). Le niveau de



l'eau doit être le même à l'intérieur et à l'extérieur du tube ; le noter sur le tube par un repère. Laisser le tube dans cette position pendant quelques jours. Le fer va rouiller et le niveau de l'eau va s'élever à l'intérieur du tube, avant de se stabiliser. Ajouter de l'eau dans le becher jusqu'à ce que les niveaux à l'intérieur et à l'extérieur du tube soient de nouveau les mêmes et repérer le nouveau niveau. On constatera qu'environ un cinquième du volume d'air a été absorbé, ce qui porte à penser que le processus a consommé l'oxygène. Le gaz résiduel n'entretient pas la combustion d'une allumette enflammée. (Voir aussi expériences 2.318 et 4.58.)

Colorants végétaux employés comme indicateurs d'acides et de bases

2.43 Extraction de substances colorantes végétales
Choisir quelques fleurs de couleurs vives, bou-

gainvillées rouges ou violets par exemple, ou des feuilles colorées. Écraser une fleur ou une feuille dans un mortier avec un mélange de 2 cm³ d'acétone pour 2 cm³ d'éthanol : la substance colorante est extraite par le solvant. Filtrer et recueillir le filtrat. Procéder de même pour obtenir un ou deux autres colorants d'origine florale et conserver ces solutions colorées pour les utiliser comme indicateurs dans l'expérience suivante.

2.44 *Emploi des extraits de plantes pour déterminer si un corps est acide ou alcalin*

Faire une tache sur du papier filtre avec l'extrait de fleur coloré et laisser sécher. Déposer une goutte de jus de citron sur la tache : la coloration change-t-elle? Prendre d'autres jus de fruits « surs », des jus de fruits en bouteille, du vinaigre, et renouveler l'expérience. Tous ces corps sont acides. Quel est le changement de coloration produit par de l'acide chlorhydrique dilué? Les légères différences de coloration constatées tendent à démontrer que certaines substances sont plus acides que d'autres. Mettre un peu du filtrat dont on s'est servi pour commencer sur une autre feuille de papier filtre. Après séchage, quelles sont les couleurs obtenues par l'action d'une solution d'hydrogénocarbonate de sodium, de « cristaux de soude » (c'est-à-dire de cristaux de carbonate de sodium), d'eau de chaux ou d'une solution diluée d'hydroxyde de sodium? Ces derniers corps sont alcalins, ou basiques. Donnent-ils tous la même couleur?

Nous avons vu que les extraits de plantes jouent le rôle d'« indicateurs » : ils renseignent sur le degré d'acidité ou d'alcalinité d'un corps. Ajouter 1 cm³ de solution d'hydrogénocarbonate de sodium à 1 cm³ d'indicateur à base d'extrait végétal dans un tube à essai; mettre du jus de citron et noter le changement de coloration. Faire de même avec de l'eau de chaux additionnée de l'indicateur en ajoutant de l'acide chlorhydrique dilué. Que se passe-t-il? Peut-on retrouver la coloration initiale en ajoutant à nouveau de l'eau de chaux? Combien de fois peut-on modifier la couleur de l'indicateur avant que le tube à essai ne soit plein? Le tournesol - extrait de lichens - est lui aussi un indicateur végétal.

Les chimistes préparent un « indicateur universel » qui se présente soit sous forme d'une solution, soit à l'état sec sur papier filtre. Cet indicateur universel ne révèle pas seulement si une substance est acide ou basique, il renseigne aussi sur son degré d'acidité. Les élèves pourront éventuellement étudier l'action de l'indicateur universel sur toutes les solutions mentionnées plus haut. Pour éviter de désigner l'acidité à l'aide des noms des couleurs, on utilise une échelle qui va de 0 à 14. C'est ce qu'on appelle le pH; bien qu'il corresponde à une formule mathématique quantitative, on peut l'employer tout simplement pour exprimer le degré d'acidité ou d'alcalinité au moyen d'un chiffre compris entre 0 et 14. L'acidité est la propriété de toute solution dont le pH est inférieur à 7. Les solutions de pH supérieur à 7 sont dites alcalines ou basiques. Les solutions de pH égal à 7 ne sont ni acides ni alcalines : elles sont neutres. Étudier le pH de l'eau : est-elle neutre? Sur la bouteille ou sur le papier de l'indicateur universel, on trouvera un tableau donnant les couleurs et les pH respectifs qui leur correspondent. Pour un indicateur universel ordinaire, on aura par exemple les changements de coloration suivants :

Couleur	pH	Acide/Base
Rouge	1-3	Très acide
Orange	4-5	Faiblement acide
Jaune	6	Très faiblement acide
Vert	7	Neutre
Bleu	8	Très faiblement basique
Indigo	9-10	Faiblement basique
Violet	11-14	Très basique

Utiliser 2 gouttes d'indicateur universel pour 10 cm³ de la solution à étudier.

Cristallisation

2.45 *Observation de la croissance des cristaux*

Les cristaux de sodium thiosulfate, ou hyposulfite de sodium, se forment rapidement dans une solution aqueuse sursaturée. Leur formule est

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Si on chauffe, ces cristaux se dissolvent dans une partie de leur eau de cristallisation. Mettre des cristaux d'hyposulfite de sodium dans un tube à essai sur une hauteur de 3 à 4 cm. Ajouter 1 ou 2 gouttes d'eau. Chauffer doucement jusqu'à dissolution complète des cristaux : on dirait qu'ils « fondent ». Laisser refroidir. Il est peu probable que des cristaux se forment tant qu'on n'a pas introduit dans la solution un petit cristal d'hyposulfite de sodium servant d'amorce. La croissance des cristaux commence alors et s'étend rapidement à toute la solution. Il est passionnant d'observer comment les cristaux se forment à partir d'un centre. Les élèves peuvent-ils faire d'autres remarques s'ils tiennent le tube à la main pendant que s'effectue la cristallisation?

2.46 Observation de la croissance des cristaux dans du naphthalène en fusion

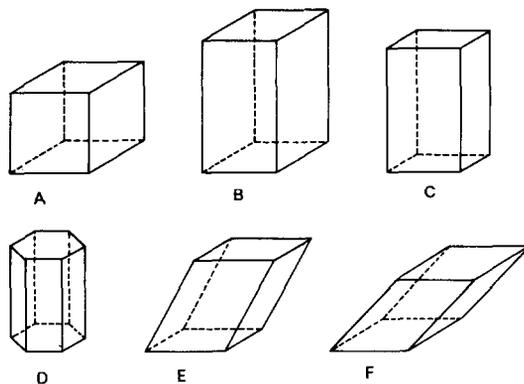
Mettre un peu de naphthalène sur une lame de verre et le placer au-dessus d'une flamme jusqu'à ce que les cristaux fondent. Mettre une lamelle sur le liquide et laisser refroidir. Observer la croissance des cristaux à la loupe. Parfois, les cristaux se formeront simultanément à partir de plusieurs points et l'on notera la présence de « frontières » aux points de rencontre. Les élèves pourront peut-être essayer de dessiner ces frontières entre les cristaux en formation et le naphthalène fondu. Il est très intéressant d'observer les cristaux à travers des filtres polaroïds.

2.47 Formes différentes des cristaux

Faire des essais en vue de déterminer la concentration à donner aux solutions aqueuses des sels énumérés ci-après pour obtenir de beaux cristaux sur une lame de microscope : si les solutions sont trop concentrées, il se formera trop rapidement des agglomérations de cristaux. On peut tenir au chaud les solutions de la concentration voulue en plongeant les tubes à essai qui les contiennent dans un becher rempli d'eau chaude. Voici des exemples de formes de cristaux :

Cubiques : chlorure de sodium et chlorure de potassium.

Tétragonaux : sulfate de nickel.



- | | |
|-------------------------------|----------------|
| a Cubique | D Hexagonal |
| B Tétragonal (ou quadratique) | E Monoclinique |
| c Orthorhombique | F Triclinique |

Orthorhombiques : nitrate de potassium, sulfate de zinc, chlorate de potassium, sulfate de sodium.

Tricliniques : sulfate cuivrique.

Des cristaux octaédriques se forment lorsque du chlorure de sodium se cristallise à partir de solutions alcalines, dans l'urée ou l'hydroxyde d'ammonium. Des cristaux en forme d'entonnoir se forment à partir d'une solution mixte de chlorure de sodium et d'alun. Pour observer ces cristaux, mettre 2 ou 3 gouttes de solution concentrée chaude sur une lame de microscope et les examiner à la loupe ou au microscope.

2.48 Étude des deux formes différentes des cristaux de soufre

On peut obtenir à la fois des cristaux orthorhombiques et des cristaux monocliniques de soufre à partir d'une solution de soufre dans le xylène. Le xylène est inflammable, mais on peut le faire chauffer sans danger dans un tube à essai en Pyrex, sur une petite flamme. Le xylène bout à 140 °C environ, selon la proportion des isomères qu'il contient : cette température est supérieure au point de fusion et au point de transition du soufre. On peut aussi utiliser du toluène comme solvant, mais le toluène étant également inflammable et beaucoup plus volatil que le xylène, il

faut prendre de grandes précautions pour que la vapeur ne s'enflamme pas. Le point d'ébullition du toluène est $111\text{ }^{\circ}\text{C}$, c'est-à-dire supérieur - comme celui du xylène - à la température de transition du soufre monoclinique et orthorhombique, qui est de $95\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dissoudre du soufre écrasé dans du xylène chaud, en laissant déposer, au fond du récipient, du soufre en excès. En refroidissant, la solution deviendra peut-être trouble, mais bientôt le soufre déposé au fond se solidifiera et de longs cristaux de soufre monocliniques, en forme d'aiguilles, se mettront à croître de bas en haut dans la solution. Laisser refroidir celle-ci : elle doit être d'un jaune pâle qui caractérise la solution saturée restante de soufre orthorhombique. Mettre 1 ou 2 gouttes de cette solution décantée sur une lame de microscope. Des cristaux de soufre orthorhombiques se formeront; on pourra les observer à la loupe et constater la différence avec les cristaux monocliniques.

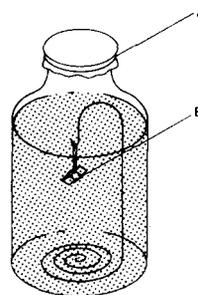
2.49 Comment obtenir de gros cristaux

a) Pour obtenir de gros cristaux, il faut utiliser un petit cristal appelé « amorce » ou « germe », qui doit mesurer 5 à 8 mm de long. On peut préparer ces petits cristaux en faisant évaporer lentement environ 30 cm^3 de solution saturée dans une capsule de verre. Faire sécher et nouer un morceau de coton autour des cristaux choisis pour servir de germes. On se lavera soigneusement les mains avant de faire cette opération, car la présence d'impuretés risque de modifier la taille et la forme des cristaux. Suspendre le cristal germe à 5 cm environ du fond du récipient par un fil de fer recourbé de la façon indiquée sur la figure. Remplir le bocal d'une solution du sel considéré ayant une concentration très légèrement inférieure à la saturation, puis mettre le cristal germe en place.

b) Une autre manière de maintenir le cristal germe, qui permet en outre d'avoir une monture pour le cristal quand il se sera formé, consiste à le poser à l'extrémité d'un tube de verre. Prendre un morceau de tube de verre d'environ 3 mm de diamètre intérieur et le passer à la flamme jusqu'à ce que l'extrémité se ramollisse suffisamment pour

qu'on puisse réduire la dimension du trou en le pinçant avec une pince ou des brucelles. Après refroidissement, y laisser tomber les cristaux germes jusqu'à ce que l'un d'eux se coince dans le trou et le maintenir en place en mettant d'autres cristaux par-dessus. Placer le tube sur un support de telle sorte que le cristal germe retenu à son extrémité soit immergé dans la solution de cristallisation. La croissance pourra alors se produire.

Si le cristal se développe de manière disproportionnée ou si de petits cristaux se forment à la surface, on vissera le bouchon du bocal sur le goulot pendant quelque temps : cela fera dissoudre les petits cristaux. Si le cristal n'est pas suspendu, il y aura avantage à le retourner de temps en temps de manière à obtenir une croissance égale sur toutes les faces. Si la croissance s'effectue dans un cristallisateur, il peut arriver que le liquide remonte en adhérant aux parois du récipient; pour éviter ce phénomène, enduire de vaseline le bord intérieur du cristallisateur. On peut accélérer l'évaporation en plaçant le bocal de cristallisation sur une boîte à conserves où l'on aura allumé une ampoule de 5 watts. On peut aussi activer la croissance en faisant passer un courant d'air sur la solution à l'aide d'un ventilateur.



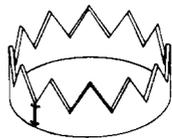
A Capuchon en tissu maintenu par un fil de fer
B Cristal germe (ou « amorce »)

On peut conserver les cristaux obtenus à partir d'une solution aqueuse en les plongeant dans du tétrachlorure de carbone, du benzène ou un autre liquide du même genre; on peut aussi les passer au vernis incolore.

2.50 Faisceaux de cristaux à exposer

Bouquet de cristaux. Immerger des morceaux de charbon de bois, de brique ou de porcelaine poreuse dans une solution saturée de chlorure de sodium. Ajouter de temps en temps de la solution saturée de façon qu'elle recouvre toujours ces fragments, qui y seront maintenus pendant 2 semaines environ. Ce délai écoulé, mélanger du bleu de Prusse ou de l'encre au chlorure de sodium et verser le mélange sur les morceaux de charbon de bois, puis laisser évaporer à sec. On verra se former des bouquets de cristaux. Selon la teinture utilisée, on pourra obtenir toutes sortes de couleurs.

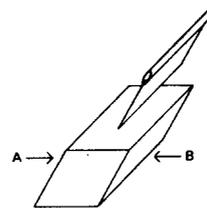
Couronne de cristaux. Découper une couronne dans un morceau de fer-blanc ou une boîte à conserves. La fermer au moyen d'un fil de fer ou de cuivre, comme le montre la figure. L'envelopper de bandes de tissu de coton. Plonger l'ensemble dans une solution de bichromate de potassium et laisser sécher : des cristaux germes se formeront sur le tissu. Préparer une solution saturée de bichromate de potassium à 80 °C et immerger la couronne dans cette solution pendant 1 jour ou 2.



Normalement, des cristaux rouges se formeront et la couronne deviendra étincelante. Si la couronne est de petite taille, il suffira d'une faible quantité de bichromate de potassium.

2.51 Comment cliver des cristaux

Si l'on dispose de cristaux de calcite ou de chlorure de sodium, on peut les cliver en procédant de la manière suivante. Se procurer une lame de rasoir du type représenté sur la figure; un scalpel de biologiste peut également faire l'affaire. Appuyer la lame sur le cristal de sorte que le plat de la lame soit parallèle aux plans des deux faces opposées du cristal (A et B). Donner un coup sec avec un petit marteau sur le haut de la lame.



Essayer de fendre le cristal en exerçant le minimum de force. Il doit normalement se cliver selon le plan de symétrie. Toutefois, si la lame n'est pas correctement orientée, le cristal s'émiettera au lieu de se cliver en deux parties.

La galène (sulfure de plomb naturel) se présente sous forme de cristaux cubiques qui se laissent facilement cliver selon trois plans à angle droit les uns par rapport aux autres. Les micas ont un seul plan de clivage, et le résultat est du plus bel effet; on peut les diviser en feuilles très minces et flexibles.

Les particules qui forment la matière : mouvements, nombre et dimensions

2.52 Mouvements browniens

A. Pour observer les mouvements de particules très petites, mais visibles, en suspension dans des liquides, on peut utiliser du graphite colloïdal (il se trouve dans le commerce) ou de la pâte dentifrice (qui contient des particules d'oxyde de magnésium). Mettre une petite goutte de graphite colloïdal sur une lame de microscope et y mélanger de l'eau distillée jusqu'à ce que le mélange soit à peu près incolore. On peut procéder de même avec de la pâte dentifrice, mais, dans ce cas, il suffit d'une trace de pâte. Placer une lamelle sur la lame et mettre celle-ci sur la platine du microscope. Éclairer latéralement et observer au grossissement maximal. Il faudra peut-être un peu de patience pour que le regard perçoive le très léger mouvement des particules qui se déplacent par petits sauts discontinus : fixer une particule donnée et suivre ses mouvements; au début, on a l'impression qu'elle reste au même endroit, mais, en fait, elle se déplace constamment dans toutes les directions. Cela est dû au fait qu'elle

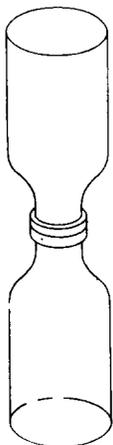
est heurtée de tous côtés par les molécules d'eau, beaucoup plus petites et invisibles.

Bien que le modèle ne soit pas fidèle, on peut aider les élèves à comprendre ce qui se passe, en utilisant un plateau sur lequel on aura mis un grand nombre de petites perles légères et une grosse bille située au centre. Les petites perles représentent les molécules d'eau et la grosse bille une particule de graphite ou de dentifrice en suspension. L'échelle est fautive, car, en réalité, la plus petite particule visible (même au microscope) contient environ 10^{10} ou 10^{11} atomes. Lorsqu'on secoue le plateau, les petites perles heurtent la bille de manière répétée et dans toutes les directions; les forces s'annulent rapidement, de sorte que la bille est affectée de petits mouvements désordonnés, mais revient au même endroit.

B. Remplir un becher avec de l'eau du robinet et y concentrer les rayons du soleil au moyen d'une loupe. On peut observer les mouvements des particules solides en suspension à l'endroit où les rayons se concentrent.

2.53 Un gaz plus lourd que l'air se répand vers le haut par diffusion

A. Remplir un bocal de dioxyde de carbone et le renverser sur un bocal identique plein d'air. Après quelques instants, verser un peu d'eau de chaux dans le bocal inférieur et l'agiter. L'eau de chaux



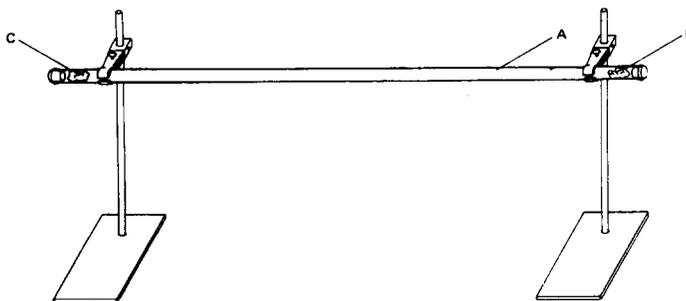
2.53 Diffusion vers le haut du dioxyde de carbone, gaz plus lourd que l'air

se trouble, ce qui montre que le dioxyde de carbone est descendu dans le bocal inférieur parce qu'il est le plus lourd des deux gaz.

B. Recommencer l'expérience, mais en mettant cette fois le dioxyde de carbone dans le bocal inférieur et renverser dessus un bocal d'air (voir figure). Si on laisse les bocaux dans cette position pendant 5 minutes environ, on constate que du dioxyde de carbone passe dans le bocal supérieur par diffusion, tandis que de l'air pénètre dans le bocal inférieur. Le test de l'eau de chaux révélera la présence de dioxyde de carbone dans le bocal supérieur.

2.54 Comparaison des vitesses de diffusion de l'ammoniac et du chlorure d'hydrogène

La figure montre le dispositif à utiliser. Le long tube de verre doit être placé horizontalement et être muni de bouchons aux deux extrémités. Avec une paire de brucelles ou une pince, plonger un peu de coton hydrophile dans de l'acide chlorhydrique concentré et un autre tampon dans de l'hydroxyde d'ammonium (ammoniaque) concentré. Faire égoutter le liquide en excès. Mettre dans toute la mesure du possible simultanément le coton imbibé d'ammoniaque à une extrémité du tube et le coton imbibé d'acide à l'autre bout et boucher les deux extrémités du tube. Après quelques instants, observer attentivement



2.54 Les gaz diffusants font la course
A Tube de verre de 1 m de long et 2 cm de diamètre
B Coton hydrophile imbibé d'une solution d'ammoniaque concentrée
c Coton hydrophile imbibé d'une solution d'acide chlorhydrique concentré

vement la formation d'un anneau blanchâtre au point où le gaz ammoniac et le gaz chlorure d'hydrogène se rencontrent après diffusion dans l'air. L'ammoniac est le gaz le moins dense : l'anneau blanc de chlorure d'ammonium doit donc normalement se former plus près de l'extrémité où l'on a introduit l'acide chlorhydrique que de celle où l'on a introduit l'ammoniaque.

2.55 Diffusion des liquides

A. Mettre un cristal de bichromate de potassium ou de bichromate d'ammonium au fond d'un becher d'eau. On peut le faire, par exemple, en introduisant un tube de verre dans le becher jusqu'à ce qu'il touche le fond et en laissant tomber le cristal dans le tube. Boucher l'extrémité du tube avec le doigt et retirer délicatement le tube, laissant le cristal au fond du becher. La coloration du cristal en cours de dissolution se répandra rapidement dans l'eau.

B. Remplir une petite fiole non bouchée d'une solution concentrée de permanganate de potassium et la placer dans un bocal plus grand. Remplir le grand bocal en versant de l'eau avec précaution le long de la paroi jusqu'à ce que le niveau dépasse le goulot de la petite fiole. Laisser en place pendant quelques jours : la solution de permanganate de potassium doit normalement s'être diffusée de manière égale dans tout le volume d'eau.

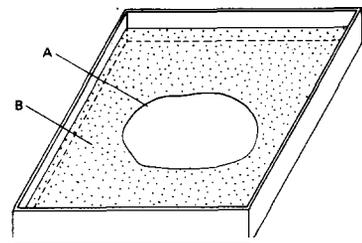
2.56 Étude des particules qui constituent la matière

Mettre un seul cristal de permanganate de potassium dans un tube à essai. Ajouter 1 cm^3 d'eau. Faire dissoudre le cristal complètement en agitant vigoureusement, en bouchant le tube à essai avec le pouce. Puis ajouter de l'eau pour obtenir un volume total de 10 cm^3 : on a donc dilué 10 fois. Verser ces 10 cm^3 de solution violette dans un becher de 100 cm^3 et remplir d'eau : on a alors dilué 100 fois. Remplir de cette solution le tube à essai de 10 cm^3 et jeter le liquide restant. Diluer à nouveau dans le becher pour faire 100 cm^3 de solution : on a alors dilué 1 000 fois. Combien de fois (en puissance de 10) faut-il diluer pour

obtenir une couleur si pâle qu'on ne la voie presque plus? La puissance de 10 en question montre que, si la matière est divisée en particules, alors la dimension de ces particules doit être vraiment très petite.

2.57 Comment trouver la dimension approximative d'une molécule

On prendra une molécule d'huile parce que sa densité est plus faible que celle de l'eau. L'huile flotte à la surface de l'eau et ne s'y mélange pas. Si l'eau présente une surface suffisamment grande, on admet que de l'huile fluide s'étale sur cette surface pour former une couche d'une molécule d'épaisseur appelée couche monomoléculaire, sans former de « bosses » ou amas de molécules. Si l'on connaît le volume de l'huile répandue et la surface qu'elle couvre en s'étalant, on peut calculer l'épaisseur de la couche monomoléculaire en divisant le volume par la surface. Il faut disposer d'un bac ou autre récipient plat d'au moins 30 cm de côté, de manière à ne pas limiter l'expansion de la pellicule d'huile. Saupoudrer la surface de l'eau d'une poudre très fine, comme du talc : quand on versera l'huile sur l'eau, elle repoussera la poudre et la surface couverte par l'huile ressortira nettement (voir figure). Pour trouver le volume de l'huile, verser de l'huile fluide dans une burette (l'huile qui convient le mieux est l'huile de vaseline fluide). Évaluer le volume correspondant à 50 gouttes en comptant les gouttes une à une à mesure qu'elles sortent de la burette. Faire tomber une goutte supplémentaire sur un morceau de plastique, puis toucher cette goutte du bout d'une baguette de verre qu'on mettra ensuite en contact avec la



A Couche d'huile

B Poudre de talc répandue à la surface de l'eau

surface de l'eau, préparée de la manière indiquée plus haut. L'huile s'étale et on peut mesurer approximativement la surface qu'elle couvre. Enfin, il faut estimer quelle est la fraction de la goutte d'huile qui a été prélevée à l'aide de la baguette de verre : on peut le faire de manière approximative en utilisant cette baguette de verre pour opérer des prélèvements successifs de la goutte d'huile jusqu'à ce qu'il n'en reste plus du tout. On peut alors calculer le volume d'huile étalé sur l'eau et faire une estimation de l'épaisseur de la couche d'huile. On trouvera probablement un chiffre voisin de 10^{-6} mm, qui donne le diamètre approximatif d'une molécule d'huile.

2.58 Étude d'une suspension de particules

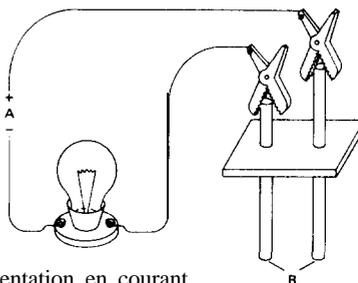
Mettre un peu de terre argileuse et de l'eau dans un tube à essai et agiter; laisser reposer. Remarquer que l'on obtient une couche d'humus en haut, une suspension d'argile trouble au-dessous et de fines particules de roche et de minéraux au fond du tube. Filtrer le liquide. Les élèves constateront que le filtrat reste trouble : cela tient au fait que les particules d'argile ont traversé le papier filtre. Comment se fait-il que les particules en suspension ne se déposent pas, même au bout de plusieurs jours? Les particules colloïdales ont une dimension de l'ordre de 1μ à 100μ . (1μ : 1 millimicron, soit 10^{-6} mm.)

Répartir le filtrat dans plusieurs tubes à essai, dont l'un servira de témoin. Mettre dans les autres quelques gouttes de solution de chlorure de baryum ou d'un sel d'aluminium et observer ce qui se passe après une demi-heure et après une heure. La même chose se produit quand une suspension d'argile présente dans l'eau d'une rivière rencontre les sels contenus dans l'eau de mer. Dans beaucoup de pays chauds, le sel se cristallise dans des marais salants aménagés dans les bancs d'argile qui se trouvent à proximité de l'embouchure des rivières.

Conductivité des corps

2.59 Solides conducteurs de l'électricité

Pour apprécier la conductivité des corps, les



a Alimentation en courant continu sous 6 volts
b Électrodes

élèves pourront utiliser un appareil comme celui qui est représenté sur la figure. Des piles sèches en série donnant un voltage de 6 volts pourront fournir le courant continu. L'ampoule, qui doit être de faible puissance, a pour rôle de montrer si le courant passe. Les électrodes, en carbone ou en acier, pourront être fixées sur un support en bois ou passées dans un bouchon de liège ou de caoutchouc qui les maintiendra à distance constante l'une de l'autre.

A. Pour éprouver la conductivité des solides, on doit faire en sorte que le contact entre la surface du solide considéré et les deux électrodes soit satisfaisant (on nettoiera la surface du solide avant l'expérience). Demander aux élèves de faire la liste de tous les métaux qu'ils peuvent trouver. Tous les métaux sont conducteurs de l'électricité; il en est de même pour le carbone. Essayer de faire découvrir aux élèves que les solides non métalliques, comme les plastiques, le naphthalène, la cire, le sucre, le chlorure de sodium et le soufre ne conduisent pas l'électricité.

B. Le verre peut être conducteur. Chauffer une baguette de verre jusqu'à ce qu'elle commence à se ramollir. Placer la partie chauffée et ramollie dans l'appareil destiné à vérifier la conductivité : le verre fondu se révèle bon conducteur de l'électricité. (Voir aussi expérience 2.155.)

2.60 Quels sont les liquides conducteurs de l'électricité ?

A. Essayer d'abord avec des liquides résultant de

la fusion de certains corps. Faire fondre en chauffant doucement et avec précaution, pour éviter qu'ils ne s'enflamment les corps suivants : soufre, cire, naphthalène, morceaux de polyéthylène, étain, plomb et, si possible, un sel à bas point de fusion comme le bromure de plomb (point de fusion 488 °C) ou l'iodure de potassium (point de fusion 682 °C). Éprouver la conductivité du liquide de fusion en y plongeant les électrodes et en attendant quelques instants pour qu'elles aient pris la température du liquide (on est sûr ainsi que les électrodes sont bien en contact avec le liquide lui-même et non avec la substance solidifiée). Gratter et nettoyer les électrodes après chaque essai.

B. Essayer avec de l'éthanol (ou de l'alcool à brûler), de l'acétone, du tétrachlorure de carbone, du vinaigre, du sucre en solution, une solution de sulfate cuivrique, une solution de chlorure de sodium et d'autres substances solubles dans l'eau. Nettoyer les électrodes et les sécher après chaque essai.

C. Étudier la conductivité de l'eau distillée pure. Plonger les électrodes dans un becher d'eau distillée. Les élèves pourront constater que l'ampoule ne s'allume pas : c'est donc que l'eau pure n'est pas conductrice. Ajouter en remuant et très progressivement de petits cristaux de sel de cuisine : A mesure que le sel se dissout, que constate-t-on en regardant l'ampoule?

Les élèves doivent être maintenant capables de classer les corps en groupes : a) ceux qui conduisent l'électricité lorsqu'ils sont à l'état solide et ceux qui ne le font pas; b) ceux qui conduisent l'électricité lorsqu'ils sont à l'état liquide et ceux qui ne le font pas; c) ceux qui conduisent l'électricité quant ils sont en solution dans l'eau et ceux qui ne le font pas.

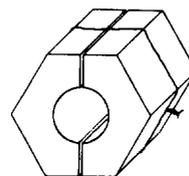
Matériaux de construction

2.61 Préparation d'alliages de plomb et d'étain

Le plomb et l'étain employés doivent être relativement purs. L'étain fond à 232 °C et le plomb

à 327 °C. Peser **des** morceaux de plomb et d'étain afin de réaliser quatre alliages : à 20 % d'étain, à 40 % d'étain, à 60 % d'étain et à 80 % d'étain. Il s'agit là de pourcentages d'étain en poids. Pour chaque alliage, mettre le poids voulu de plomb et d'étain dans un creuset ou dans un tube à essai en Pyrex. Recouvrir les métaux d'un peu de carbone (charbon de bois en poudre) pour éviter l'oxydation du métal. Chauffer les métaux jusqu'à ce qu'ils fondent, remuer avec un bout de bois pour favoriser le mélange. Terminer en coulant le métal dans un moule.

On peut réaliser un moule de fonderie satisfaisant en faisant disparaître avec une mèche le filetage d'un écrou de manière à obtenir un trou poli d'environ 6 mm de diamètre. Couper l'écrou



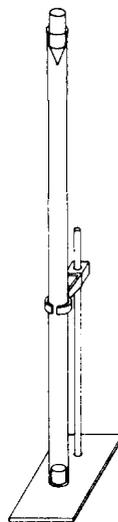
en deux à l'aide d'une scie à métaux (voir figure). Lier ensemble les deux moitiés avec du fil de fer et les placer sur une plaque d'amiante avant d'effectuer la coulée. Verser avec précaution le métal fondu dans ce moule jusqu'à ce qu'il soit plein. Empêcher le charbon de tomber dans le moule en le retenant avec un bout de bois. Après refroidissement, séparer les deux moitiés du boulon de manière à détacher l'alliage.

2.62 Les alliages de plomb et d'étain sont-ils plus durs que chacun de ces deux métaux à l'état pur?

Couler les quatre alliages décrits à l'expérience précédente ainsi que les deux métaux purs qui ont servi à les constituer; les étiqueter en indiquant les pourcentages respectifs de plomb et d'étain.

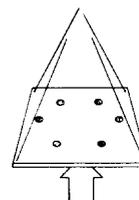
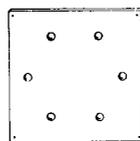
Se procurer un poinçon métallique bien pointu et un tube de métal ou de plastique où il

pourra coulisser librement. Le tube doit avoir environ 1 m de longueur. Son objet est de guider le poinçon dans sa chute en direction de la surface de l'alliage de métal (voir figure) : la pointe



12 cm de côté et d'une épaisseur de 0,2 à 0,4 cm. Déterminer le centre, et dessiner sur le métal un hexagone, comme l'indique la figure. Faire un petit creux à chaque angle de l'hexagone; chacun des creux doit avoir la même dimension et se trouver à égale distance du centre de la plaque. Percer de petits trous aux quatre coins de celle-ci et y faire passer du fil de fer qui permettra de suspendre la plaque horizontalement à un support. Avec de la craie, noter les indications suivantes en face des six creux : 1. plomb pur; 2. 20 % d'étain; 3. 40 % d'étain; 4. 60 % d'étain; 5. 80 % d'étain; 6. étain pur.

c) Choisir de petites billes parmi celles qui ont été obtenues par le dépôt de gouttelettes de



aiguë du poinçon fera un petit trou à la surface de l'alliage. Plus l'alliage sera mou et plus le trou sera grand. En mesurant le diamètre du trou fait par le poinçon, on pourra comparer les duretés relatives des alliages. En principe, c'est l'alliage à 60 % d'étain qui doit être le plus dur; quant aux métaux purs, ils doivent se révéler moins durs que leurs alliages. Pour mesurer de manière satisfaisante le diamètre des trous, on utilisera une jauge micrométrique ou un pied à coulisse et une loupe.

2.63 Comparaison des points de fusion d'un métal pur et de ses alliages

a) Faire fondre les quatre alliages et les deux métaux purs de l'expérience 2.61 et déposer quelques gouttelettes de chaque métal sur une plaque d'amiante. Étiqueter chaque groupe de gouttelettes en précisant la composition du métal considéré.

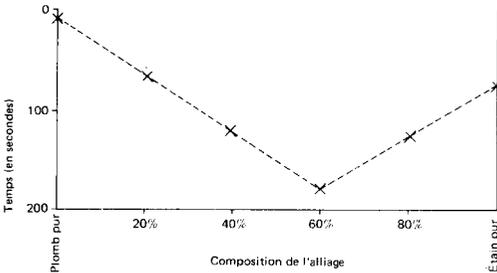
b) Découper une plaque de fer d'environ

métal sur une plaque d'amiante (par. a); leur composition correspondra aux proportions 1 à 6 ci-dessus. Mettre chacune d'elles dans le creux approprié (voir figure). Chauffer la plaque de métal juste au centre, de manière que chaque bille reçoive la même quantité de chaleur. On peut s'assurer qu'une bille est fondue en la tâtant du bout d'une brindille. Quand elles seront toutes fondues, on pourra se servir de la brindille pour prélever un peu du métal des billes les plus grosses, de façon qu'elles aient toutes la même taille. Une fois les billes fondues, retirer le bec Bunsen, et laisser refroidir. La première à se solidifier sera la bille de plomb pur, puisque c'est elle qui a le point de fusion le plus élevé. Se procurer un réveil ou une montre indiquant les secondes, et compter les secondes à partir du moment où le plomb se solidifie en notant les temps correspondant aux points de solidification des divers alliages et de l'étain pur.

On pourra présenter les résultats sous forme d'un tableau :

Métal ou alliage	Durée, en secondes, entre le moment où le plomb se solidifie et le moment où l'alliage se solidifie
Point de solidification du plomb	Zéro seconde
Solidification de l'alliage à 20 % d'étain	... secondes après le plomb
Solidification de l'alliage à 40 % d'étain	... secondes après le plomb
Etc.	Etc.

d) Reporter les résultats sur un graphique (voir figure). On peut admettre que l'alliage qui met le plus de temps pour se solidifier après le



plomb est celui qui a le point de fusion le plus bas. La conclusion à tirer des deux dernières expériences est que les alliages qui contiennent environ 60 % d'étain sont ceux qui ont le point de fusion le plus bas et sont aussi les plus durs.

2.64 Effet de la chaleur sur des aiguilles d'acier

Se procurer quelques aiguilles à coudre de 4 à 5 cm de longueur environ. Ces aiguilles sont des alliages de fer et de carbone, mais la proportion de carbone est très faible. Essayer de courber une aiguille : elle se courbe difficilement et fait ressort.

A. *Détrempe ou recuit.* Chauffer une aiguille au rouge vif : pour cela, la maintenir verticalement

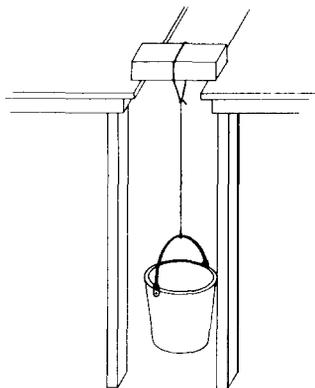
dans la flamme et la retirer progressivement vers le haut ; il faut compter une minute au total pour l'ensemble de l'opération. La laisser refroidir et essayer de la courber : elle doit normalement être facile à courber et l'on peut aisément l'enrouler autour d'un crayon.

B. *Trempe:* Chauffer une aiguille au rouge vif et la plonger complètement dans de l'eau froide alors qu'elle est encore très chaude. Essayer de la courber : normalement, elle est devenue cassante et se laisse facilement briser en petits morceaux.

C. *Revenu.* Ni l'aiguille malléable ni l'aiguille cassante ne présentent une grande utilité ; mais on peut restituer au métal la dureté et l'élasticité d'origine. Chauffer et tremper une aiguille comme précédemment pour obtenir le métal dur et cassant. Essayer soigneusement l'aiguille et polir la surface à l'émeri, puis chauffer l'aiguille très doucement jusqu'à ce qu'une pellicule d'oxyde d'un bleu foncé apparaisse à la surface : cette couleur indique la température de revenu de l'aiguille. Laisser l'aiguille refroidir et essayer de la courber : a-t-elle la dureté et l'élasticité des aiguilles qui n'ont subi aucun traitement ? Ces propriétés de l'acier au carbone dépendent de la manière dont sont disposés les atomes de carbone parmi les atomes de fer. Le recuit, la trempe et le revenu ont pour effet de modifier cette disposition de manière spécifique. Au lieu d'aiguilles on peut utiliser certaines sortes de lames de rasoir.

2.65 Comparaison de la résistance de briques de terre, d'argile ou de sable

Trouver de la terre argileuse ou de la boue. Si elle est sèche, il faudra la mélanger d'eau : pour cela, mettre environ 350 cm³ d'eau dans un récipient approprié, cuvette ou bol en plastique par exemple. Le mieux est de réduire l'argile sèche en poudre et de la pétrir avec de l'eau jusqu'à obtenir une pâte épaisse et homogène, sans grumeaux. Cette pâte aura vraisemblablement la consistance voulue lorsqu'elle sera devenue épaisse et malléable et adhérera mieux à elle-même qu'à vos doigts. Étaler l'argile ou la boue de manière très régulière sur une surface plane de manière à obtenir



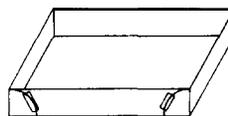
une plaque de 1,5 cm d'épaisseur. Puis, à l'aide d'un couteau propre et mouillé, y découper 3 ou 4 briques de mêmes dimensions, soit 10 x 5 cm. Faire sécher l'une de ces briques au soleil pendant 2 ou 3 jours et faire cuire l'autre auprès d'un feu. Essayer de faire une brique de sable de mêmes dimensions. Se procurer également une brique vendue par un entrepreneur de construction. Pour étudier ces briques, on pourra :

- chercher s'il y a des fêlures;
- voir si la surface se dégrade quand on la frotte avec le doigt sec;
- voir si la surface se dégrade si on la frotte avec le doigt humide;
- éprouver la résistance des petites briques de 5 x 10 x 1,5 cm en appuyant les deux extrémités sur le rebord de deux tables et en chargeant le milieu de la brique. On peut utiliser à cette fin des poids, ou, pour les briques les plus solides, suspendre un seau qu'on chargera de sable jusqu'à ce que la brique se casse. Faire en sorte que les poids ou le seau ne soient pas suspendus loin du sol, comme le montre la figure : de cette manière, ils ne tomberont pas de trop haut.

2.66 Emploi du ciment pour la fabrication de parpaings

Fabriquer 5 boîtes en papier fort ou en carton de 1,5 cm de profondeur, 5 cm de large et 10 cm de long. Fixer les bords avec du papier adhésif ou des agrafes (voir figure). Ces boîtes serviront à mouler des parpaings de ciment de même taille

que les briques d'argile. Enduire l'intérieur des boîtes d'un peu d'huile ou de graisse. Se procurer chez un maçon un peu de ciment Portland frais.



A. *Parpaing de ciment et d'eau.* Gâcher le ciment avec de l'eau jusqu'à obtenir une pâte épaisse. Remplir la boîte de ce ciment en aplanissant et en lissant la surface supérieure de manière qu'elle ne déborde pas le papier. Le ciment « prendra » en quelques minutes, mais il faudra plusieurs jours pour qu'il « durcisse ». La « prise » est le passage de l'état fluide à l'état de matériau ferme et non fluide, mais on peut encore érafler la surface avec un clou. Le ciment « durci » est dur comme du roc.

B. *Parpaing de ciment, sable et eau.* Mélanger 1 partie de ciment en poudre et 3 parties de sable propre. Gâcher avec de l'eau pour obtenir une pâte épaisse. Remplir la boîte en carton, lisser la surface et laisser prendre et durcir.

C. *Parpaing de ciment, sable, gravier et eau.* Procéder comme précédemment en prenant 1 partie de sable, 3 parties de gravier propre pour 1 partie de ciment en poudre. Gâcher avec de l'eau. Couler dans le moule et laisser prendre et durcir. On obtient un parpaing en béton.

D. *Parpaing de ciment, chaux, sable et eau.* Les maçons achètent de la chaux vive et la mélangent à de l'eau pour obtenir de l'hydroxyde de calcium (chaux éteinte) sur le chantier même et au moment même de s'en servir. Mélanger 1 partie de ciment, 5 parties de chaux éteinte et 2 parties de sable. Gâcher avec de l'eau, couler dans le moule comme précédemment et laisser durcir..

On incitera les élèves à découvrir quels sont les types de briques ou de parpaings qui sont utilisés autour d'eux. Ils pourront faire un tableau

récapitulant les propriétés et les utilisations des briques et des parpaings. Les murs des maisons du village sont peut-être en pisé ou torchis, obtenus en gâchant avec de l'eau un type de sol donné (terre ou argile). Ce mortier est peut-être appliqué sur un treillis de branchages ou de lattes disposés pour former un mur; ou, encore, on a peut-être fait des briques de terre servant à construire le mur. Les fortes pluies dégradent ce genre de murs. Parfois, un enduit de ciment et de sable les recouvre à l'intérieur et à l'extérieur. Dans une ville, les immeubles modernes sont en général en béton armé - du moins pour ce qui est du gros œuvre. Ce béton est recouvert d'un crépi de ciment et de sable à la surface rugueuse. Les surfaces lisses de l'intérieur des immeubles sont faites d'un enduit à base de chaux ou de plâtre.

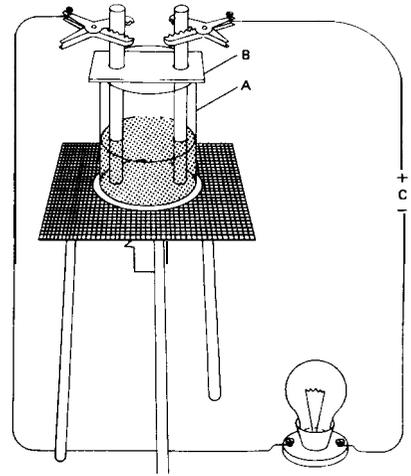
2.67 Une expérience avec du plâtre de Paris

Le plâtre de Paris est du sulfate de calcium très peu hydraté. Si on le gâche avec de l'eau, il prend rapidement et augmente de volume. On l'utilise pour des moulages fins. Mettre 4 cm^3 d'eau dans un becher; saupoudrer petit à petit de plâtre de Paris (utiliser une spatule). Continuer à ajouter du plâtre jusqu'à ce qu'il affleure à la surface de l'eau. Le plâtre absorbe l'eau et, à la fin, on ne doit plus avoir qu'une mince nappe d'eau (de 1 mm environ). Bien mélanger et, quand le mélange commence à s'épaissir, le verser dans la boîte de carton et lisser la surface comme cela a été fait pour les parpaings de l'expérience précédente. Laisser prendre pendant une journée. Étudier la surface et la résistance des briques obtenues comme on l'a fait pour les briques de terre et d'argile. Le plâtre de Paris n'est pas souvent utilisé comme matériau de construction, mais le sulfate de calcium sous forme de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est employé pour la fabrication du ciment Portland.

Électrolyse des corps fondus et des solutions aqueuses

2.68 Électrolyse d'un corps fondu

Les sels à bas point de fusion qu'on peut employer



A Becher ou creuset de 100 cm^3
B Support en bois pour les électrodes
c Alimentation en courant continu
sous 6 volts

sont peu nombreux. Le bromure de plomb est un, et, si l'on peut s'en procurer, on pourra réaliser une expérience d'électrolyse intéressante. Le bromure de potassium a un point de fusion peut-être trop élevé ($682\text{ }^\circ\text{C}$) pour qu'on puisse le faire fondre facilement. La figure représente l'appareil à utiliser.

Faire fondre le bromure de plomb dans un petit becher en Pyrex de 50 ou 100 cm^3 , ou dans un creuset. Les électrodes en carbone sont maintenues dans deux trous distants de 2 cm percés dans une planchette; elles sont reliées par des pinces crocodiles au circuit, qui comprend une ampoule de lampe de poche destinée à signaler le passage du courant et une batterie de 6 à 12 volts ou plusieurs piles montées en série. On peut marquer les électrodes pour indiquer laquelle est positive et laquelle est négative.

Les seuls ions présents dans ce sel fondu sont les ions bromure et plomb. On voit très bien le brome se dégager à l'électrode positive qui constitue l'anode. Le fait que le brome n'apparaît qu'à l'électrode positive aide à faire comprendre l'existence d'un ion brome négatif. En raison du fait

qu'il a un point de fusion plus bas et une densité plus grande que le bromure de plomb, le plomb apparaît au fond du becher à l'état fondu. La petite boule de plomb qui s'accumule à l'électrode négative (cathode) commence à apparaître au bout de 10 à 15 minutes d'électrolyse. Décanter avec précaution le bromure de plomb fondu dans un deuxième creuset. Le courant électrique a décomposé le bromure de plomb cristallin en un gaz, le brome, et un métal, le plomb.

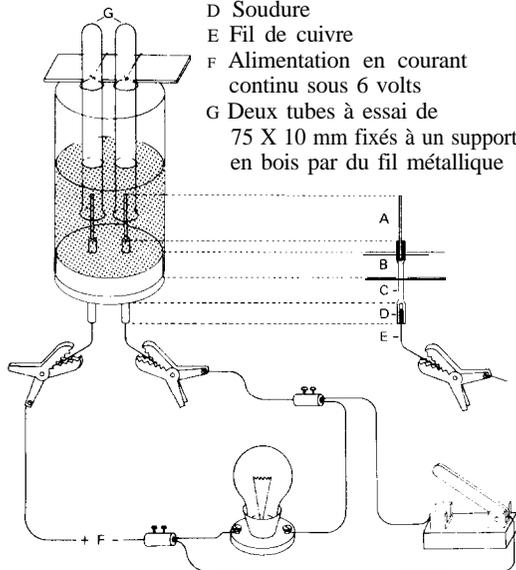
2.69 *Électrolyse d'une solution aqueuse d'un sel*

Il s'agit de faire comprendre aux élèves que, dans une solution aqueuse, quatre ions sont généralement présents : deux pour l'eau et deux pour le sel dissous. Les produits de l'électrolyse seront des gaz, ou des métaux qui se déposeront sur l'électrode négative.

L'appareil représenté par la figure est facile à réaliser. Il se compose d'un cylindre de verre ouvert à ses deux extrémités et d'environ 8 cm de haut sur 2,5 cm de diamètre. Une petite bouteille de cette dimension dont on aura enlevé le fond pourra en tenir lieu. Ce cylindre sera bouché à l'une de ses extrémités par un bouchon de caoutchouc à deux trous portant deux électrodes de carbone reliées à une pile ou à une alimentation en courant continu sous 4 à 6 volts. Si l'on utilise un bouchon de liège, on assurera l'étanchéité en couvrant toute la surface du fond autour des électrodes ainsi qu'au pourtour du verre de mastic de Faraday ou d'une cire molle analogue. Les électrodes de carbone d'une pile sèche ou des mines de crayon à mine de plomb feront fonction d'électrodes. Les tiges en alliage qui tiennent le filament des ampoules électriques peuvent également convenir. Ces électrodes doivent dépasser de 2 cm environ dans le cylindre et de 2 cm également par en dessous pour permettre d'y fixer les connexions les reliant à la pile.

Les mines de crayon sont fragiles; si l'on en utilise, il est recommandé de fixer les électrodes comme suit : souder un bout de fort fil de cuivre à 4 cm de câble de cuivre tressé pour blindage; percer deux trous dans le bouchon de caoutchouc avec une mèche de 1 mm de diamètre; introduire le fil de cuivre dans le trou, par le haut, et le faire

- A Mine de crayon
- B Bouchon de caoutchouc
- C Câble de blindage
- D Soudure
- E Fil de cuivre
- F Alimentation en courant continu sous 6 volts
- G Deux tubes à essai de 75 X 10 mm fixés à un support en bois par du fil métallique



passer à travers celui-ci en tirant dessus jusqu'à ce que le câble de blindage pénètre à son tour dans le trou; enfoncer la mine de plomb à l'intérieur de ce câble, qui la maintiendra; puis, en tirant sur le fil de cuivre, faire pénétrer la mine de plomb et son blindage plus profondément dans le bouchon de caoutchouc jusqu'à ce que l'électrode en mine de plomb soit solidement tenue en place; couper le fil de cuivre qui dépasse et faire de même pour la deuxième électrode.

On laissera les élèves préparer eux-mêmes les solutions destinées à l'électrolyse pour qu'ils constatent bien qu'il y a à la fois de l'eau et un sel. Mettre la solution dans le cylindre de verre. Remplir ensuite les deux petits tubes de cette même solution et les retourner avec précaution sur les deux électrodes. Connecter celles-ci à une alimentation en courant continu sans danger comportant une petite ampoule en série, l'interrupteur étant ouvert (voir figure). Augmenter la tension jusqu'à ce que l'ampoule s'allume, signe que le courant passe. A ce moment, fermer l'interrupteur, ce qui augmentera l'intensité du cou-

rant. Les tubes recueilleront les gaz dégagés, dont on examinera les propriétés. Si on utilise des électrodes en carbone, on obtiendra les résultats suivants :

A. *Électrolyse de l'eau.* L'eau pure ne conduit pas l'électricité, c'est pourquoi, dans la cuve à électrolyse, on ajoute à l'eau 2 ou 3 cm³ d'acide sulfurique dilué ou de sulfate de sodium dilué. Connecter la cuve à l'alimentation en courant continu et observer la formation de bulles de gaz sur les deux électrodes. Si des bulles n'apparaissent pas, ajouter un peu d'acide ou de solution de sulfate de sodium. Après 5 à 10 minutes, la quantité d'hydrogène et d'oxygène recueillie devrait être suffisante pour qu'on puisse vérifier la nature des gaz. Peut-on prévoir à quelle électrode chaque gaz va se dégager?

B. *Électrolyse de solutions de sels ioniques.* La plupart des sels ioniques peuvent se prêter à l'électrolyse de manière satisfaisante. On prendra des concentrations de molarité 1 ou moins (voir chapitre premier). L'iodure de potassium donne de l'iode à l'anode et de l'hydrogène à la cathode. Le sulfate de zinc donne un dépôt spongieux de zinc à la cathode et de l'oxygène à l'anode. L'acétate de plomb dépose du plomb à la cathode et dégage de l'oxygène à l'anode. (Si la solution d'acétate de plomb est trouble, ajouter quelques gouttes d'acide acétique.) Le chlorure de sodium donne de l'hydrogène à la cathode et du chlore à l'anode. Le sulfate cuivrique dépose du cuivre à la cathode et dégage de l'oxygène à l'anode.

Réactions chimiques

2.70 Réaction entre deux éléments

On a déjà rencontré des exemples de réactions de ce genre dans certaines expériences précédentes : par exemple, réaction de l'oxygène sur le carbone, de l'oxygène et du soufre, de l'oxygène et du cuivre. Voyons maintenant une réaction du fer et du soufre. Mélanger une pleine spatule de soufre avec la même quantité de limaille de fer. Chauffer une petite partie de ce mélange sur une plaque d'amiante ou dans une capsule métallique de bouteille dont on aura retiré le liège. Noter que la réaction exige de la chaleur pour commencer à se produire, mais qu'une fois commencée, elle se poursuit sans qu'il soit nécessaire de continuer à chauffer. Vérifier la nature du produit obtenu : il s'agit de sulfure ferreux (ou de fer II). En quoi diffère-t-il des éléments qui ont servi à l'obtenir? La limaille de cuivre ou de zinc entre en réaction avec le soufre si on procède de même manière que pour le fer. *Attention* : utiliser de petites quantités, car les réactions sont généralement violentes.

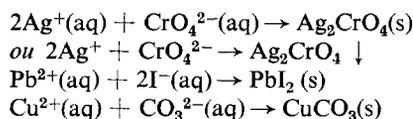
2.71 Réactions entre des ions en solutions aqueuses

La réaction entre des ions se manifeste clairement par la formation d'un précipité de sel insoluble. Un recueil de constantes donnera les solubilités des sels. Parmi les sels colorés insolubles on peut citer le chromate d'argent, l'iodure de plomb (II) et le carbonate cuivrique (ou de cuivre II). Pour obtenir ces sels, on mélangera dans des tubes à essai des solutions aqueuses diluées des sels solubles énumérés ci-après. Dans chacune de ces réactions, deux ions, un de chaque sel, donneront naissance à un précipité insoluble (colonne 3).

1	2	3
a) Nitrate d'argent (aq)	+ chromate de potassium (aq)	→ chromate d'argent (s)
b) Nitrate de plomb (aq)	+ iodure de potassium (aq)	→ iodure de plomb (s)
c) Sulfate cuivrique (aq)	+ carbonate de sodium (aq)	→ carbonate cuivrique (s)

[aq : solution aqueuse; s : solide]

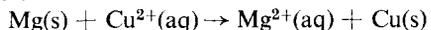
Les équations seront habituellement notées ainsi :



Les élèves doivent apprendre à se servir des solubilités indiquées par un recueil de constantes pour réaliser des précipités d'iodure d'argent, de sulfate de baryum, d'hydroxyde ferrique (ou de fer III), etc.

2.72 Déplacement du cuivre d'une solution aqueuse d'ions cuivriques

Il faut un métal d'activité supérieure pour déplacer le cuivre (métal) d'une solution contenant des ions cuivre. Mettre dans un petit becher environ 10 cm^3 d'une solution molaire de sulfate cuivrique. Nettoyer du ruban de magnésium et le couper en morceaux de 0,5 cm. Introduire ces morceaux un par un dans la solution de sulfate cuivrique. La réaction peut être vive. Le cuivre se dépose et la couleur bleue disparaît progressivement à mesure que l'ion cuivrique est déplacé par le magnésium. La réaction dégage-t-elle de la chaleur? Une fois la solution devenue incolore, la décantier, en laissant la poussière de cuivre rouge au fond du becher. Recueillir ce cuivre et le faire sécher. Comment pourrait-on montrer qu'il s'agit bien de cuivre et non de magnésium? On notera normalement cette réaction comme suit :

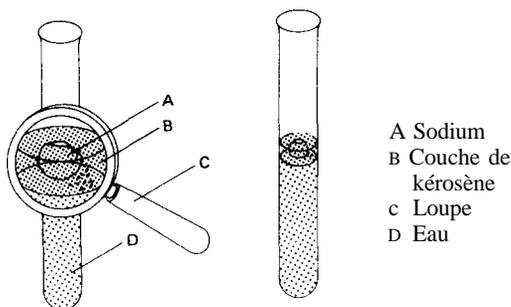


Les élèves recommenceront l'expérience, en essayant cette fois de déplacer le cuivre de ses ions au moyen de zinc et de fer. Il semble préférable d'utiliser du zinc et du fer en poudre. Les élèves doivent pouvoir comparer l'activité des métaux utilisés pour cette expérience.

2.73 Réaction du sodium sur l'eau : quelques observations

Verser de l'eau dans un tube à essai et déposer à la surface de l'eau une mince couche de kérosène (pétrole lampant) de 2 à 3 mm d'épaisseur. Laisser tomber un petit morceau de sodium, de 3 ou 4 mm de diamètre, sur ce kérosène. Le sodium s'enfoncera dans le kérosène et flottera sur l'eau. Il faut que la couche de kérosène soit suffisamment mince pour que le sodium dépasse un peu à sa surface.

La réaction de sodium et de l'eau est ainsi beaucoup plus lente que si on avait mis le sodium



directement sur l'eau. Il est intéressant d'observer cette réaction à l'aide d'une loupe placée sur le côté du tube (jamais au-dessus de celui-ci) [voir figure].

Observations

1. Le métal appelé sodium est plus léger que l'eau, mais plus lourd que le kérosène.
2. La réaction se produit soudain sur une petite partie de la surface du sodium, où apparaît un chapelet de petites bulles. Est-ce que c'est ce chapelet de bulles situé d'un côté qui provoque le déplacement?
3. Le morceau de sodium, originellement de forme irrégulière, devient sphérique. Le sodium aurait-il fondu sous l'action de la chaleur dégagée par la réaction? (Point de fusion du sodium : $98 \text{ }^\circ\text{C}$.)
4. On constate des changements dans la réfraction et dans la réflexion de la lumière au-dessous du morceau de sodium. Est-ce que quelque chose se dissoudrait dans l'eau?
5. La présence d'un peu de fumée là où le sodium chaud dépasse le niveau du kérosène indique qu'il y a peut-être une légère réaction avec l'air.
6. Qu'est-ce que ces bulles de gaz? Est-il possible d'en recueillir suffisamment pour vérifier qu'il s'agit d'hydrogène?

2.74 Déplacement de l'hydrogène des acides par d'autres métaux

Verser l'un des deux acides indiqués au tableau ci-dessous dans plusieurs tubes à essai, sur une hauteur de 5 cm environ. Mettre dans chaque tube un morceau de feuille d'un métal différent. Observer

la formation d'hydrogène et comparer les vitesses de dégagement des bulles. Répéter l'opération avec l'autre acide.

Dégagement d'hydrogène

Métal	Acide chlorhydrique 3 M	Acide sulfurique 3 M
Magnésium	Très rapide	Rapide
Aluminium	Léger	Nul
Zinc (voir remarque)	Moyen	Léger
Fer	Très léger	Très léger
Étain	Nul	Nul
Plomb	Nul	Nul
Cuivre	Nul	Nul

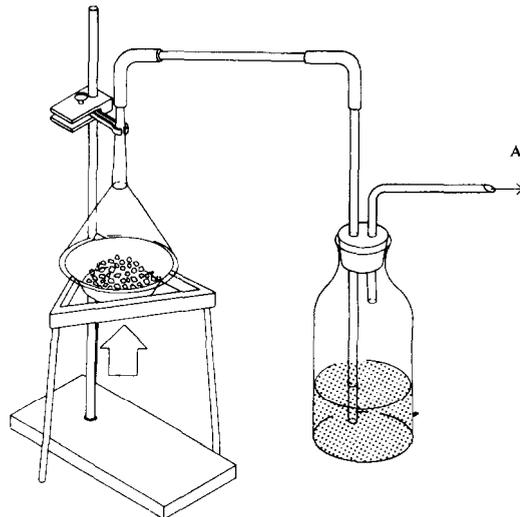
Remarque

Si les élèves veulent récupérer le zinc une fois la réaction achevée, ils peuvent d'abord obtenir des cristaux de sulfate de zinc en faisant évaporer la solution. Faire ensuite dissoudre les cristaux incolores de sulfate de zinc dans l'eau et placer deux électrodes de carbone dans la solution. Connecter ces électrodes à une alimentation en courant continu sous 5 à 10 volts. Le zinc se déposera rapidement sur la cathode. (Voir aussi expériences 2.33, 2.34.)

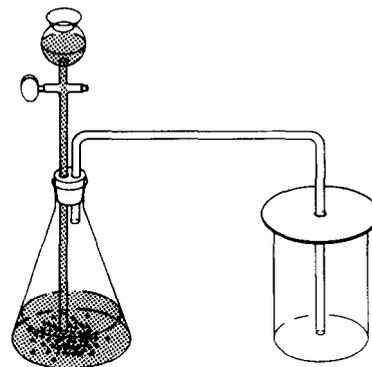
2.75 Préparation du dioxyde de soufre (anhydride sulfureux)

A. Une méthode très simple pour préparer du dioxyde de soufre à des fins de démonstration consiste à faire brûler du soufre dans l'air. Mettre le soufre dans un récipient en porcelaine, l'enflammer et recueillir le gaz dégagé grâce à un entonnoir. Ce gaz sera aspiré ensuite dans une bouteille d'eau (voir figure A).

B. On peut aussi préparer ce gaz dans un générateur où l'on fait tomber goutte à goutte de l'acide sulfurique dilué ou de l'acide chlorhydrique dilué sur du sulfite de sodium. L'acide est contenu dans un tube à entonnoir muni d'un robinet qui règle le débit, le sulfite de sodium étant contenu dans un



2.75.A Préparation du dioxyde de soufre par combustion du soufre
 A vers l'aspiration



2.75B Appareil pour la préparation du dioxyde de soufre

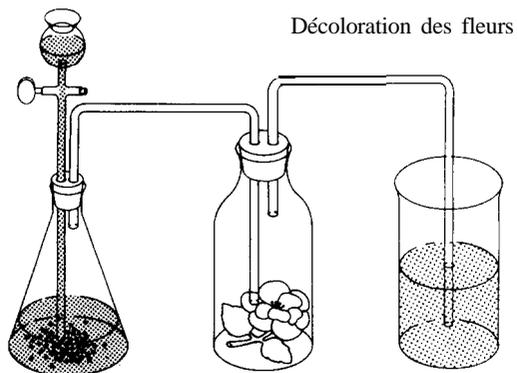
flacon prévu à cet effet. On peut recueillir le dioxyde de soufre dans des bocaux à gaz pourvus de couvercles en carton percés de trous destinés à recevoir le tube de dégagement (voir figure B).

2.76 Réduction par le dioxyde de soufre

A. Dans 200 cm³ d'eau contenant du dioxyde de soufre, verser 10 cm³ de solution de permanganate de potassium 0,1 M et 10 cm³ de solution d'acide

sulfurique dilué 3 M. La solution deviendra progressivement incolore, le dioxyde de soufre réagissant sur le permanganate. On peut poursuivre l'expérience : ajouter en remuant une solution 0,25 M de chlorure de baryum; la solution deviendra laiteuse, par suite de la formation de sulfate de baryum.

B. Le générateur utilisé pour l'expérience 2.75B est très commode pour la production continue de dioxyde de soufre en vue de la décoloration de fleurs ou autres végétaux. Le gaz en provenance du générateur traverse un bocal contenant la plante, et le gaz en excès est absorbé par de l'eau (voir figure). On peut facilement régénérer la couleur de la plante décolorée en la plaçant dans une solution d'eau oxygénée (peroxyde d'hydrogène). Cette expérience peut servir d'introduction à l'étude des processus de réduction et d'oxydation.



2.77 Réaction du magnésium sur le dioxyde de carbone

Remplir un bocal de verre de dioxyde de carbone comme indiqué dans l'expérience 2.38. Tenir au bout d'une pince un morceau de ruban de magnésium propre. Enflammer le magnésium à la flamme d'un bec Bunsen et le plonger dans le-gaz : le magnésium continue à brûler. Les élèves pourront supposer que le magnésium prend de l'oxy-

gène au dioxyde de carbone pour alimenter sa combustion. S'il en est bien ainsi, on doit trouver du carbone dans le bocal : Les élèves peuvent-ils noter la présence de particules de carbone dans le bocal? Si cela se révèle trop difficile, ajouter un peu d'acide sulfurique : il éliminera l'oxyde de magnésium ainsi que le magnésium qui n'aurait pas été consommé, et le carbone sera plus visible.

2.78 Méthode simple de titrage des acides et des bases

Mesurer exactement 20 gouttes d'un acide dilué, vinaigre par exemple, et les verser dans un tube à essai. Ajouter une goutte d'indicateur (le méthylorange ou la phénolphthaléine conviennent très bien). A ce mélange d'acide et d'indicateur, ajouter goutte à goutte une base diluée, en comptant les gouttes. Compte tenu d'une certaine marge d'erreur expérimentale, le même nombre de gouttes sera toujours nécessaire pour neutraliser les 20 gouttes d'acide, à condition d'employer la même pipette. Un compte-gouttes fait très bien l'affaire. Si l'on connaît la concentration de l'acide, on peut estimer la concentration de la base en comparant le nombre de gouttes d'acide et le nombre de gouttes de base nécessaires pour que la réaction soit tout juste complète.

2.79 Fabrication de savon à partir de corps gras

Nombre d'huiles ou de corps gras se prêtent à la fabrication du savon. La réaction consiste en un déplacement double qui met en jeu une base forte telle que l'hydroxyde de sodium (soude) et des corps gras.

a) Se procurer une graisse animale quelconque chez le boucher; la faire bouillir dans l'eau : le corps gras formera une couche à la surface de l'eau; une fois refroidie, cette couche de matière grasse se solidifiera et pourra être recueillie. Faire fondre à nouveau et filtrer à travers plusieurs couches de tissu.

b) Peser cette graisse et prendre environ le tiers du poids obtenu de paillettes ou de pastilles d'hydroxyde de sodium. Faire dissoudre cette soude dans l'eau en prenant bien soin de ne toucher ni les paillettes ou pastilles ni la solution, car ce produit est très caustique. Faire chauffer la

graisse dans une casserole en fer et, quand elle est fondue, incorporer peu à peu la solution d'hydroxyde de sodium en remuant constamment. Chauffer à feu doux pour éviter que le liquide déborde. Laisser bouillir le tout pendant 30 minutes en remuant fréquemment.

c) Ensuite, on pèsera du sel de cuisine (chlorure de sodium) : il faut environ deux fois le poids d'hydroxyde de sodium utilisé en *b*. Au bout des 30 minutes d'ébullition, incorporer ce sel dans le mélange en remuant. Laisser refroidir. Le savon forme une couche à la surface du liquide. On le séparera de ce dernier, on le fera fondre et on le versera dans des boîtes d'allumettes où il se solidifiera de nouveau; on obtiendra ainsi de petits pains de savon. Les élèves pourront comparer l'efficacité de ce savon et celle du savon vendu dans le commerce.

Énergie calorifique mise en jeu par les réactions chimiques

Les réactions qui suivent font intervenir des ions en solution aqueuse. Si l'eau contenant ces ions devient plus chaude, c'est qu'il y a dégagement de chaleur et nous pouvons exploiter cette forme d'énergie. Au cours de la réaction, les ions ont perdu la chaleur que nous avons récupérée. En revanche, si l'eau contenant les ions devient plus froide, ce sont les ions qui ont absorbé de l'énergie et l'eau a perdu une quantité d'énergie équivalente.

2.80 Réactions qui dégagent de l'énergie calorifique

A. Mettre environ 1 cm de poudre blanche de sulfate cuivrique anhydre dans un tube à essai. Introduire dans cette poudre le réservoir d'un thermomètre. Ajouter de l'eau goutte à goutte et noter les modifications de température.

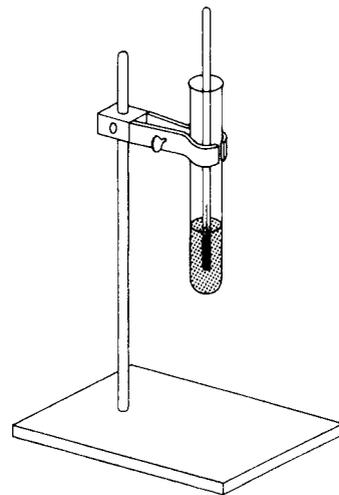
B. Mettre dans un tube à essai de grand diamètre ou dans un petit becher environ 10 cm³ d'une solution aqueuse concentrée de sulfate cuivrique et maintenir le réservoir d'un thermomètre dans cette solution. Ajouter de la poudre (ou du ruban)

de magnésium petit à petit jusqu'à ce que la couleur bleue disparaisse. Quelles variations de température constate-t-on? *Attention* : la réaction est violente; ne pas utiliser un récipient bouché.

C. Mettre un peu d'eau dans un tube à essai de grand diamètre et ajouter goutte à goutte de l'acide sulfurique concentré en le laissant couler le long du tube. Après l'addition de chaque goutte d'acide, remuer doucement avec un thermomètre. Quelles variations de température constate-t-on?

2.81 Réactions qui refroidissent le milieu ambiant

Mettre 10 cm³ d'eau dans un tube à essai (voir figure). Noter la température de l'eau et y faire dissoudre environ 2 g de nitrate de potassium. La baisse de température peut atteindre environ 9 °C.



C'est donc que, du fait de leur dissolution dans l'eau, les particules de nitrate de potassium ont absorbé de l'énergie. Cette énergie a été empruntée à l'eau sous forme de chaleur. On obtiendra un résultat analogue en utilisant du chlorure de potassium au lieu de nitrate.

2.82 Mesure de la chaleur d'une réaction de neutralisation

Faire dissoudre 40 g de pastilles d'hydroxyde de sodium dans de l'eau et diluer jusqu'à 500 cm³ :

on a donc une solution 2 M (voir chapitre premier). Préparer d'autre part 500 cm³ d'une solution 2 M d'acide chlorhydrique. Laisser les solutions se refroidir jusqu'à la température ambiante et noter les températures des solutions une fois qu'elles ont refroidi. Puis verser l'acide dans la base assez rapidement en remuant avec un thermomètre. Relever la température maximale obtenue : l'élévation de température devrait être de l'ordre de 13 °C. Étant donné que le volume d'eau a doublé par addition des deux solutions, la solution finale contient 1 mole d'ions OH⁻ (aq) qui ont réagi sur 1 mole d'ions H⁺ (aq) pour donner 1 mole de molécules d'eau.

Pour effectuer les calculs, nous devons admettre que la chaleur massique de cette solution assez faible est la même que celle de l'eau, soit 1 calorie par gramme et degré Celsius. La chaleur de neutralisation, c'est-à-dire la chaleur correspondant à la formation d'1 mole de molécules d'eau à partir des ions, est donc de 13 000 calories, ou 13 kcal « g-équation⁻¹ », c'est-à-dire pour la masse, en grammes, représentée par l'équation de réaction. Étant donné que les particules en réaction ont cédé de l'énergie à la solution, on peut écrire comme suit la variation d'énergie :

$\Delta H = -13 \text{ kcal g-équation}^{-1}$ (ΔH : « variation de chaleur »).

2.83 Mesure de l'énergie calorifique dégagée par une réaction de déplacement du cuivre

Pour avoir une réaction qui ne soit ni trop violente ni accompagnée d'un dégagement de chaleur trop important, on aura intérêt à faire agir une solution de sulfate cuivrique 0,2 M sur du fer ou du zinc. Lorsqu'il s'agit de zinc, la réaction peut s'écrire :

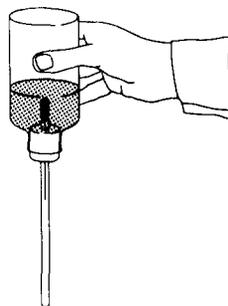


Pour réduire la déperdition de chaleur, on peut employer une bouteille de polyéthylène; on peut aussi utiliser un récipient en verre isolé avec du polystyrène expansé.

Matériel à prévoir : une bouteille de polyéthylène d'environ 50 à 100 cm³, munie d'un bouchon en caoutchouc et d'un thermomètre; une solution aqueuse de sulfate cuivrique 0,2 M ; de la limaille de fer - ou de zinc -- et une spatule per-

mettant d'utiliser des doses d'environ 0,5 g; une éprouvette graduée permettant de mesurer des quantités de 25 cm³.

Mettre 25 cm³ de solution aqueuse de sulfate cuivrique dans la bouteille, enfoncer le bouchon, renverser la bouteille et l'agiter doucement (voir figure). Relever la température de cette solution. Remettre la bouteille à l'endroit, ôter le bouchon et ajouter environ 0,5 g de limaille de zinc : cette quantité correspond à peu près au double de celle qui est requise par le sulfate cuivrique; il restera donc de la limaille une fois la réaction terminée. Remettre le bouchon, renverser la bouteille et agiter doucement. Relever la température maximale obtenue. Calculer l'élévation de température : celle-ci sera la même, qu'on utilise 25 cm³ ou 50 cm³ ou 1 000 cm³ de sulfate cuivrique 0,2 M.



Mesure de l'élévation de température de la solution en réaction

Pour une solution 1 M, il faudrait multiplier cette élévation de température par 5. La chaleur de réaction pour la quantité (masse en g), représentée par la formule, de cristaux de sulfate cuivrique, est donc : 5 x élévation de température x 1 000 calories. Étant donné que les particules en réaction ont cédé de l'énergie à la solution, on peut noter la variation d'énergie de la façon suivante :

$\Delta H = -5 \times \text{élévation de température, kcal « g-équation}^{-1}$ »

Recommencer l'expérience en utilisant 0,5 g de limaille de fer. Ici encore, il y aura excès de fer, de sorte que tout le sulfate cuivrique sera utilisé. Les élévations de température pour une solution 0,2M sont habituellement de l'ordre de 9 à 10 °C pour le zinc, et de 6 à 7 °C pour le fer.

Énergie électrique obtenue à partir de réactions chimiques

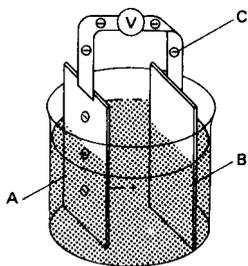
Dans l'expérience précédente, le zinc (métal) a donné des ions zinc, et les ions cuivre ont donné du cuivre (métal) selon l'équation :



Cela correspond à un transfert d'électrons du zinc (métal) à l'ion cuivre. Pour obtenir de l'énergie électrique, il faut faire en sorte que ces électrons passent dans un conducteur extérieur allant du zinc au cuivre. La différence de potentiel, ou voltage, traduira la plus grande électropositivité du zinc par rapport au cuivre. La quantité d'électricité fournie dépendra de l'importance et de la vitesse de la réaction.

2.84 Énergie électrique obtenue par déplacement du cuivre par le zinc

Mettre une solution aqueuse concentrée de sulfate cuivrique dans un becher. Relier une feuille de cuivre à la borne positive d'un voltmètre pouvant aller jusqu'à 5 V et une tige de zinc (ou une feuille de zinc) à l'autre borne (voir figure). Plonger les



A Zinc
B Cuivre
c Passage d'électrons
v Voltmètre

deux métaux dans la solution de sulfate cuivrique pendant un court laps de temps et remarquer les déplacements de l'aiguille du voltmètre.

Les questions qui se posent sont les suivantes : Quel est le voltage maximal? Que constate-t-on à l'électrode de cuivre? Que constate-t-on à l'électrode de zinc? Pourquoi le voltage tombe-t-il rapidement à zéro?

2.85 Montage d'une pile Daniell

Dans l'expérience précédente, la réaction a été interrompue parce que du cuivre s'était déposé sur le zinc. Dans la pile Daniell, on évite ce phénomène grâce à une cloison en substance poreuse.

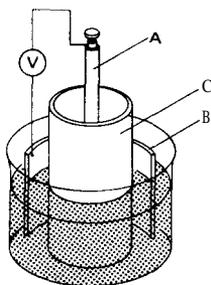
A. Mettre une solution aqueuse de sulfate de zinc 0,5 M dans le pot en matière poreuse. Mettre une solution aqueuse concentrée de sulfate cuivrique dans le becher où se trouve le récipient poreux, de telle sorte que le niveau soit le même que celui de la solution de sulfate de zinc. Enrouler de la feuille de cuivre pour former un cylindre et placer celui-ci dans le becher autour du récipient intérieur (voir figure). Relier le cuivre à la borne positive d'un voltmètre allant jusqu'à 5 V. Relier une tige de zinc à la borne négative et plonger cette tige dans la solution de sulfate de zinc. Quelle est la tension indiquée par le voltmètre?

B. Remplacer le voltmètre par une ampoule de 1,5 V : Est-ce qu'elle s'allume? Intercaler un ampèremètre dans le circuit pour mesurer l'intensité du courant produit. Peut-on faire varier cette intensité en rapprochant le cuivre du zinc, ou en augmentant ou en diminuant la surface de la feuille de cuivre?

C. A défaut d'un récipient en matière poreuse, un pont rempli d'une solution saline et faisant communiquer les deux solutions se révélera presque aussi efficace. Pour réaliser ce pont, on remplira un tube de verre en U d'une solution aqueuse de nitrate de potassium environ 1 M, épaissie par de l'agar-agar. Monter la pile comme l'indique la figure et étudier les variations de voltage, le comportement de l'ampoule électrique et l'intensité du courant.

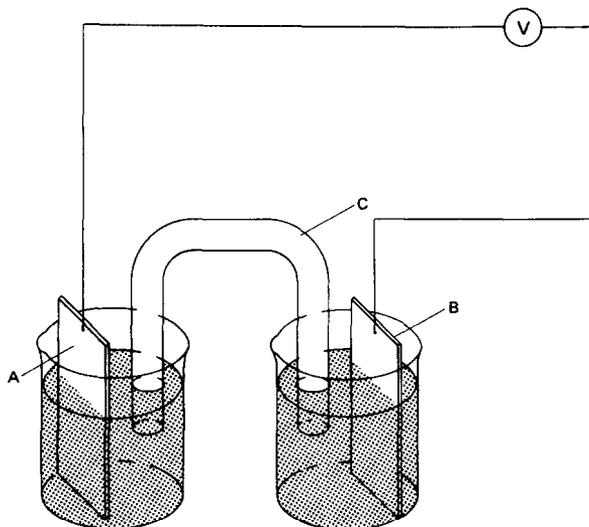
A Emploi d'un pot en matière poreuse

- A Tige de zinc
- B Feuille de cuivre
- c Pot en matière poreuse
- v Voltmètre



C Utilisation d'un pont de solution saline

- A Cuivre immergé dans une solution de sulfate cuivrique
- B Zinc immergé dans une solution de sulfate de zinc
- c Pont salin
- v Voltmètre



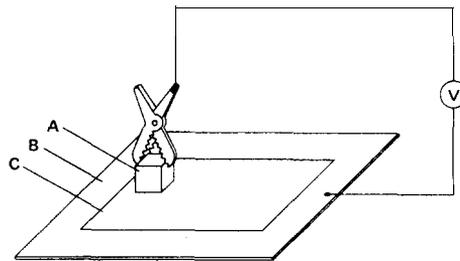
2.86 Classement des métaux selon les potentiels d'électrodes

En pratique, la mesure précise des potentiels d'électrodes correspondant aux différents métaux se fait par comparaison avec la pile à hydrogène dans des conditions standards (« potentiel normal »). On peut néanmoins obtenir des valeurs comparées très acceptables en utilisant comme étalon le cuivre et une solution de sulfate cuivrique.

Étaler sur une feuille de cuivre très propre du papier filtre ou buvard imbibé sans excès d'une solution de sulfate cuivrique, conformément à la figure. Brancher un court morceau de fil métallique, relié à la feuille de cuivre par une soudure ou une pince crocodile, à la borne positive du voltmètre (1 à 5 V). Le métal à étudier sera solidement pris dans une pince crocodile et relié par un conducteur de faible longueur à la borne négative du voltmètre. Nettoyer la surface de ce métal et le poser sur le papier filtre en appuyant fermement de manière qu'il soit bien en contact avec lui. Noter le voltage. Avant de faire la même chose avec un autre métal, nettoyer à nouveau la feuille de cuivre à la toile émeri fine et remplacer la feuille déjà utilisée de papier filtre par une autre, préparée de même.

Si le voltmètre donne des valeurs irrégulières, vérifier que : la surface du cuivre est bien propre; celle du métal étudié est bien propre; le papier filtre contient suffisamment de solution de sulfate cuivrique; la pince crocodile est bien serrée et assure un bon contact avec le métal étudié; ce métal est bien en contact avec le papier filtre.

Si le voltage noté au début est élevé et diminue ensuite, c'est la valeur la plus élevée qu'il faut noter : en effet, le voltage décroît par suite de la formation d'un dépôt sur le métal. Si le voltage noté au début est faible et augmente ensuite,



- A Métal à étudier
- B Feuille de cuivre propre
- c Papier filtre imbibé de solution aqueuse de sulfate cuivrique
- v Voltmètre

attendre que le maximum soit atteint. C'est ce qui se produit avec l'aluminium, ce métal étant généralement couvert d'une pellicule d'oxyde que des procédés chimiques éliminent particulièrement bien. La présence de cette couche d'oxyde explique le faible voltage initial et son accroissement à mesure que cette couche s'élimine par dissolution. En plongeant l'aluminium dans de l'acide chlorhydrique concentré pendant un court moment avant de le poser sur le papier filtre, on obtient un voltage plus satisfaisant pour ce métal.

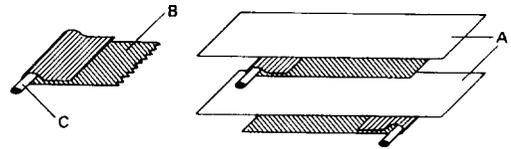
Les élèves pourront étudier eux-mêmes les métaux suivants : magnésium, étain, plomb, fer, zinc, aluminium et argent. Pour des raisons de sécurité, il vaut mieux que ce soit le maître qui fasse les expériences avec le calcium, le sodium et le lithium.

2.87 Fabrication d'un accumulateur à lames de plomb

On pourra prendre pour récipient un gobelet en plastique, un petit pot à confiture ou un becher de 250 cm³. Il vaut mieux que ce récipient soit pourvu d'un couvercle pour éviter l'évaporation de l'électrolyte en dehors des périodes d'utilisation. Il faut 2 feuilles de plomb minces de 40 cm de long et 10 cm de large environ. Deux lamelles de plomb d'environ 2 cm de large sur 14 cm de long serviront de bornes. Il importe de bien nettoyer tous ces éléments en plomb à la laine d'acier. Enrouler les grandes feuilles de plomb solidement autour des bandes plus courtes de manière à assurer un bon contact électrique : les extrémités qui dépassent joueront le rôle de bornes. Disposer en alternance des bandes de papier filtre ou buvard et les feuilles de plomb (voir figure), puis enrouler l'ensemble en serrant assez fort, et maintenir le tout au moyen d'un ou deux bracelets de caoutchouc. Placer ce rouleau dans le récipient prévu, en laissant dépasser les bornes vers le haut; elles seront marquées comme étant l'une positive et l'autre négative. Remplir d'une solution de sulfate de sodium obtenue par dissolution de 40 g de sulfate de sodium en cristaux anhydres dans 200 cm³ d'eau : la solution doit recouvrir le rouleau.

On peut maintenant procéder à la charge de

- A Papier filtre
- B Plomb
- c Bornes

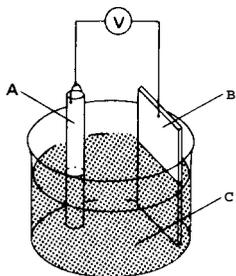


la batterie, au moyen soit d'un chargeur de batterie de 6 volts, soit d'une alimentation quelconque en courant continu à basse tension débitant jusqu'à 10 ampères. Relier la borne positive de la batterie à la borne positive du chargeur. Après quelques minutes de charge, la batterie utilisée comme générateur pourra déjà allumer une ampoule de 1,5 volt. A condition que la batterie soit toujours reliée au chargeur de la même manière, elle sera d'autant plus efficace qu'elle sera chargée et déchargée plus souvent. Le courant produit suffira pour faire tourner un petit moteur électrique de 1 volt, et la batterie restera utilisable pendant plusieurs mois si l'on prend soin de mettre le couvercle quand on ne s'en sert pas.

2.88 Fabrication d'une pile sèche

A. Monter une pile comme l'indique la figure, en utilisant une électrode de carbone et une feuille de zinc plongée dans une solution de chlorure d'ammonium 1 M. La réaction obtenue est complexe, mais elle peut être considérée simplement comme un déplacement d'ions ammonium positifs. Utiliser un voltmètre pour reconnaître la borne positive et la borne négative. Étudier la tension et l'intensité du courant envoyé dans un circuit extérieur. Est-il suffisant pour allumer une ampoule de 1,5 volt?

B. Verser environ 2 cm de la solution de chlorure d'ammonium dans un cristalliseur (ou tout autre récipient peu profond). Ajouter 1 cm³ d'indicateur à la phénolphtaléine. Serrer une électrode de



A Carbone
B Zinc
C $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$
V Voltmètre

carbone et un morceau de feuille de zinc dans des pinces crocodiles reliées à des conducteurs qui seront connectés ensemble. Plonger les électrodes de carbone et de zinc dans la solution et les y maintenir quelques minutes. Observer ce qui se passe autour des électrodes. Si l'on dispose d'un morceau de pyrolusite (bioxyde de manganèse ou oxyde de manganèse IV solide), le mettre à la place du carbone et répéter l'expérience.

C. Plusieurs piles reliées entre elles constituent une batterie. Étudier les piles sèches du commerce, comme celles qui sont employées pour les transistors, les lampes torches et les lampes éclair des photographes. Le voltage fourni par un seul élément est habituellement de 1,5 volt. L'intensité maximale varie selon le genre de pile considéré. On peut l'étudier à l'aide d'un ampèremètre allant jusqu'à 10 ampères. Les piles pour transistors sont conçues pour donner de faibles intensités pendant de longues périodes de temps. Un ampèremètre reliant les bornes d'une pile de ce genre mettra peut-être en évidence une intensité de 4 ampères, alors qu'un ampèremètre reliant directement les bornes d'une pile pour lampe torche indiquera sans doute des courants de 5 à 6 ampères. Les piles pour lampes éclair, qui doivent fournir une grande quantité de courant pendant de courts instants, donnent des intensités beaucoup plus fortes que les intensités ci-dessus si on les relie directement à un ampèremètre. Dans tous ces exemples, l'ampèremètre fait court-circuit.

D. On peut fabriquer une pile « sèche » à l'aide des matériaux suivants :

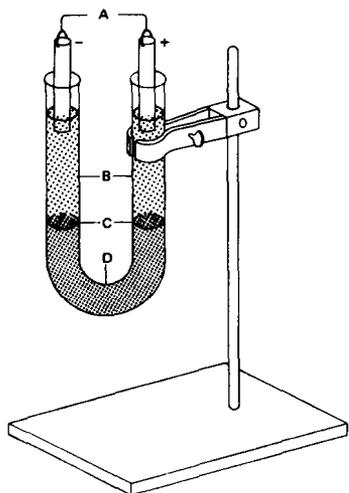
1. Un récipient en zinc : il peut s'agir d'une feuille de zinc enroulée en cylindre ou de l'enveloppe en zinc d'une pile usée, récupérée et nettoyée. Couvrir le fond du récipient d'une feuille de buvard ou de papier filtre.
2. Du carbone en poudre très fine : noir de carbone ou noir d'acétylène.
3. Du bioxyde de manganèse faisant fonction d'oxydant.
4. Une électrode de carbone prise sur une pile usée.
5. Des pinces crocodiles reliées à des conducteurs, qui seront serrées solidement sur les électrodes de carbone et de zinc.
6. Une solution aqueuse de chlorure d'ammonium.

Mélanger 4 g de noir de carbone à 10 g de bioxyde de manganèse, et ajouter en remuant de la solution de chlorure d'ammonium de façon à obtenir une pâte épaisse (ayant la consistance d'une argile molle). Cela demande un peu de temps. Découper du papier buvard pour faire un cylindre qu'on placera à l'intérieur du tube en zinc. Mettre sur ce papier le mélange de carbone, de bioxyde de manganèse et de chlorure d'ammonium, le presser pour former un cylindre et l'entourer de papier buvard de telle sorte qu'il s'ajuste exactement à l'intérieur du tube de zinc. Après l'avoir introduit dans le tube, verser avec précaution un peu de solution de chlorure d'ammonium entre le papier et le zinc pour améliorer le contact entre les deux. Comprimer le mélange dans le tube en appuyant fortement. Enfin, fixer une pince crocodile munie d'un conducteur à l'électrode de charbon et enfoncer cette électrode au centre du mélange sans aller tout à fait jusqu'au fond du tube. Fixer une pince crocodile avec son conducteur au tube de zinc : la pile est prête à servir. Elle doit normalement allumer sans difficulté une ampoule de 1,5 volt et faire tourner un petit moteur électrique de 1,5 volt. Étudier le voltage et l'intensité qui peut être fournie. Le carbone est un des éléments qui influent sur l'intensité du courant disponible, car il tend à réduire la résistance intérieure de la cellule. (Voir aussi expérience 2.150.)

2.89 Observation du déplacement des ions cuivre II et chromate

Le chromate cuivrique est un composé de deux ions colorés : l'ion cuivre II ou cuivrique positif, qui est bleu-vert, et l'ion chromate négatif, qui est orange : cela permet d'observer facilement le déplacement des ions colorés en direction des électrodes. Il faut disposer d'une source de courant continu de 20 volts. Voir la figure pour le montage.

On peut préparer du chromate cuivrique en procédant de la façon suivante. Faire agir 100 cm³ de solution de sulfate cuivrique 1 M sur 100 cm³ de solution de chromate de potassium 1 M, ce qui donne du chromate cuivrique sous forme de précipité solide; puis filtrer rapidement ce chromate cuivrique solide, en utilisant un entonnoir de Buchner, une fiole à filtrer et une trompe à eau. Laver à l'eau distillée et vider le contenu de l'entonnoir de Buchner dans un becher où on le fera dissoudre dans la plus petite quantité possible d'acide chlorhydrique dilué ordinaire. Ensuite,



Déplacement des ions

- A Alimentation en courant continu de 20 V
- B Acide chlorhydrique
- C Limite de séparation
- D Solution de chromate cuivrique

faire dissoudre autant d'urée qu'il sera possible dans cette solution de chromate cuivrique pour en augmenter la densité, afin qu'elle se sépare d'une solution d'acide chlorhydrique pour former une couche dense au-dessous de celle-ci.

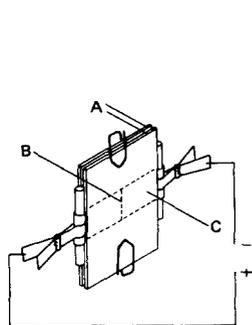
Remplir d'abord au tiers le tube en U d'acide chlorhydrique dilué; puis remplir une pipette de la solution de chromate cuivrique et, après avoir enfoncé le bout effilé de la pipette jusqu'au fond du tube en U, laisser couler très doucement la solution de chromate cuivrique de manière qu'elle repousse vers le haut l'acide chlorhydrique et se dépose elle-même en couche séparée; retirer la pipette avec précaution, pour éviter de mélanger les deux liquides. Les électrodes de carbone seront mises en contact avec l'acide chlorhydrique et reliées à une alimentation en courant continu d'environ 20 volts.

Au bout de quelques minutes, on verra nettement apparaître la couleur verte caractéristique des ions cuivriques du côté du pôle négatif et la couleur orange caractéristique des ions chromate du côté du pôle positif. Les limites de ces ions colorés remonteront tout doucement vers les électrodes.

2.90 Mise en évidence du déplacement des ions par une méthode simple

L'expérience a pour but d'illustrer le déplacement d'ions positifs colorés en direction d'une électrode négative. L'électrolyte est retenu par une feuille de papier filtre intercalée entre deux lames de microscope. Des tiges de carbone conduisent le courant dans le papier filtre, comme on peut voir sur la figure. Si on utilise une alimentation en courant continu de 10 à 20 volts, il vaut mieux prendre la lame de microscope dans le sens de la largeur; une tension plus forte sera nécessaire si l'on veut faire passer le courant sur toute la longueur de la lame.

Découper une bande de papier filtre sec d'environ 1 cm de large et faire un trait de crayon transversal au milieu de cette bande. Humecter le papier au robinet en veillant à ce qu'il ne soit pas trop mouillé. Déposer la solution qui contient l'ion coloré, ions Cu²⁺ ou Co²⁺ par exemple, le long du trait de crayon. Il faut quelque patience



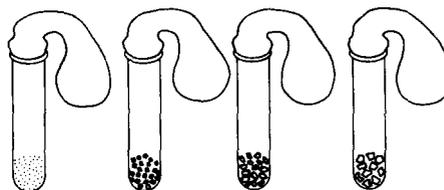
- A Lames de microscope
- B Trait de crayon
- C Papier filtre
- D Bouchon de liège fendu
- E Mèche
- F Petit morceau de matière plastique
- G Solution contenant l'ion coloré

et quelque adresse pour déposer ces ions le long du trait au moyen d'un tube capillaire fin : les élèves devront s'y exercer; mais on trouvera peut-être plus pratique le dispositif illustré par la figure. Il est constitué d'une bande de papier filtre de 1 cm de large repliée sur un petit morceau de matière plastique de manière à former une sorte de mèche rigide. On coince cette mèche dans un bouchon de liège fendu et on la place dans un petit tube à essai contenant la solution d'ion. Pour l'utilisation, poser d'abord la pointe de la mèche sur un buvard ou un papier filtre afin d'éliminer l'excès de solution, puis la promener sur le trait de crayon. Placer alors la bande de papier filtre entre les deux lames de microscope et enrouler les extrémités qui dépassent autour des électrodes de carbone. Maintenir les lames réunies au moyen d'attaches trombones. Relier les électrodes de carbone à l'alimentation en courant continu sous 20 volts. Au bout de quelques minutes, on verra l'ion coloré se déplacer en direction de l'électrode négative. On peut aussi utiliser du permanganate de potassium : c'est alors l'ion permanganate coloré qui se déplace en direction de l'électrode positive.

Facteurs qui influent sur la vitesse d'une réaction

2.91 Plus les particules sont petites, plus la vitesse de réaction est grande

Casser des morceaux de marbre à l'aide d'un marteau et classer les fragments en 4 catégories : a) poussière grossière; b) grains ayant à peu près la moitié de la grosseur d'un grain de riz; c) grains de la grosseur d'un grain de riz; d) morceaux de marbre initiaux.



Mettre dans un support 4 tubes à essai de 100 x 16 mm. Peser environ 2 g de fragments de marbre de chaque catégorie et placer chaque échantillon ainsi obtenu dans un tube différent. Se procurer 4 ballons de baudruche ou de caoutchouc et les gonfler plusieurs fois pour les étirer. Verser 5 cm³ d'acide chlorhydrique ordinaire dans chacun des 4 ballons et ajuster les orifices des ballons au goulot des tubes sans faire tomber d'acide dans ceux-ci (voir figure). Une fois tous les ballons en place, les soulever de façon que l'acide se déverse au même moment dans les tubes. Observer les ballons et noter quel est celui qui se gonfle le plus vite et celui qui se gonfle le moins vite : normalement, ce sont les particules les plus petites qui dégagent le plus rapidement du dioxyde de carbone. Au lieu de morceaux de marbre, on peut utiliser pour cette expérience de la grenaille de zinc ou de la limaille de zinc, ou des morceaux de feuille de zinc - sur laquelle on fera agir l'acide. *Attention* : c'est alors de l'hydrogène qui se dégage (voir expérience 2.33). On peut encore utiliser de la feuille d'aluminium ou de la poudre d'aluminium. Les élèves pourront suggérer d'autres produits. Au lieu de bal-

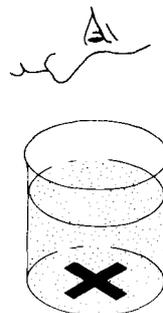
lons, on peut utiliser des sacs en plastique, mais il faudra alors veiller à ce qu'ils soient bien serrés sur les tubes à essai.

Pour obtenir des résultats plus précis, on peut recueillir le gaz non pas dans un ballon ou dans un sac en plastique, mais dans une éprouvette graduée renversée sur un récipient rempli d'eau, et y comparer le volume de gaz dégagé, dans une unité de temps, par les diverses catégories de fragments de marbre. On peut aussi placer sur une balance une fiole conique contenant les fragments de marbre et l'acide et noter la perte de poids toutes les 30 secondes. Le dioxyde de carbone est un gaz lourd, et la plupart des balances permettront de mesurer la perte de masse résultant du dégagement du gaz.

2.92 La vitesse de réaction croît avec la concentration des corps en présence

La réaction du thiosulfate ou hyposulfite de sodium sur l'acide chlorhydrique peut prendre un temps appréciable. Cette réaction produit du soufre qui rend la solution trouble. On peut trouver la vitesse de réaction en mesurant le temps requis pour obtenir un certain degré d'opacité de la solution : en l'occurrence, on peut définir le degré d'opacité comme le stade à partir duquel une croix noire dessinée sous le récipient où s'effectue la réaction cesse d'être visible quand on regarde la solution par en dessus (voir figure).

Pour cette expérience, on fera varier la concentration de la solution d'hyposulfite de sodium en maintenant constante la concentration de l'acide. On trouve l'hyposulfite de sodium dans le commerce sous le nom d'hyposulfite, celui-ci étant utilisé en photographie. Préparer 500 cm³ de solution aqueuse contenant 20 g d'hyposulfite de sodium. Il faut aussi de l'acide chlorhydrique 2 M, ce qui correspond à la concentration usuelle de l'acide utilisé en laboratoire. A l'aide d'une éprouvette graduée, mettre 50 cm³ de solution d'hyposulfite dans un becher de 100 cm³. Poser le becher sur une croix dessinée en noir sur une feuille de papier. Ajouter 5 cm³ d'acide et relever l'indication donnée par l'aiguille des secondes d'une pendule ou d'une montre. Remuer pour que l'acide se mélange à la solution. Noter l'ins-



tant où l'on cesse de voir la croix à travers la solution troublée par le soufre.

Recommencer l'expérience en utilisant de l'hyposulfite moins concentré. Prendre 40 cm³ de solution d'hyposulfite et ajouter 10 cm³ d'eau distillée. Remuer et ajouter comme précédemment 5 cm³ d'acide. Normalement, la croix mettra plus de temps à disparaître qu'au cours de l'expérience précédente. Recommencer l'expérience en utilisant successivement 30 cm³, 20 cm³ et 10 cm³ d'hyposulfite mélangés à 20 cm³, 30 cm³ et 40 cm³ d'eau distillée.

Les élèves pourront faire un graphique des concentrations de la solution d'hyposulfite en fonction des temps de réaction. La concentration peut être exprimée par le volume de la solution initiale d'hyposulfite utilisé. Étant donné que la mesure de la vitesse de réaction est 1/temps de réaction (ou l'inverse de ce temps), on peut également rapporter les concentrations d'hyposulfite aux valeurs correspondant à l'inverse des durées de réaction.

On peut écrire la réaction comme suit :
$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 (\text{aq}) + 2\text{HCl} (\text{aq}) \rightarrow 2\text{NaCl} (\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{S} (\text{s})$$

(aq) = solution aqueuse; l = liquide; g = gaz; s = solide).

2.93 Action de la température sur la vitesse d'une réaction

La réaction de l'expérience 2.92 peut également servir à l'étude de l'action de la température. Commencer par une solution de faible concentration. Mettre 10 cm³ de solution d'hyposulfite

de sodium dans le becher de 100 cm³ et ajouter 40 cm³ d'eau en remuant. Utiliser cette même concentration pour la série d'expériences : la variable sera la température de la solution. Ajouter 5 cm³ d'acide comme précédemment et noter l'heure, ainsi que la température de la solution, au début de la réaction. Noter l'instant où l'on cesse de voir la croix noire au fond du becher.

Renouveler l'expérience, en réchauffant chaque fois la solution d'hyposulfite de manière que sa température soit très légèrement supérieure à 30, 40, 50 et 60 °C. La température de la solution doit être prise au début de chaque expérience après addition des 5 cm³ d'acide. La réaction s'accélère à mesure que la température s'élève. Les élèves pourront faire un graphique des températures de réaction en fonction des temps nécessaires à la disparition de la croix noire, ou, encore, comme plus haut, ils pourront rapporter les températures aux inverses des temps de réaction.

2.94 Action des catalyseurs sur la vitesse de réaction

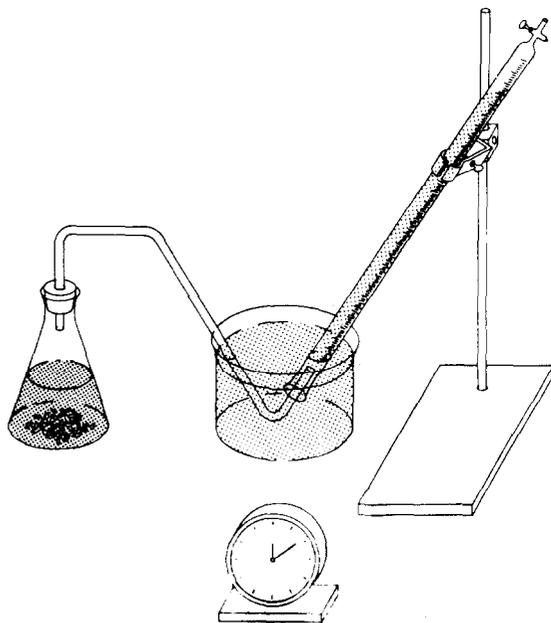
Dans cette réaction, la variable est le corps utilisé comme catalyseur dans la décomposition d'une solution aqueuse d'eau oxygénée ou peroxyde d'hydrogène. On trouve ordinairement de l'eau oxygénée chez les pharmaciens.

Monter l'appareil représenté par la figure. Il comporte une burette remplie d'eau et disposée comme pour une expérience courante de déplacement de l'eau par un gaz. Pour remplir cette burette presque complètement 2 cm³ d'eau oxygénée à 20 volumes donneront assez d'oxygène. Peser 1 g de chacun des produits suivants : oxyde de cuivre II, oxyde de nickel, oxyde de manganèse IV, et oxyde de zinc. Mettre 50 cm³ d'eau dans l'Erlenmeyer et ajouter 2 cm³ d'eau oxygénée. Ajouter le gramme d'oxyde cuivrique. Boucher aussitôt l'Erlenmeyer avec le bouchon de caoutchouc muni du tube à dégagement. Mesurer le volume d'oxygène dégagé toutes les 15 secondes. Les élèves pourront faire un graphique des volumes d'oxygène produits toutes les 15 secondes en fonction des temps de réaction.

Renouveler l'expérience en utilisant les autres oxydes comme catalyseurs. Les élèves pourront

faire un graphique pour chaque expérience. Ils devraient ensuite être en mesure de trouver pourquoi c'est l'oxyde de manganèse IV (ou bioxyde de manganèse) qui est employé habituellement comme catalyseur de cette réaction.

Les élèves essaieront de démontrer que le catalyseur n'est pas consommé par la réaction et qu'un catalyseur peut être utilisé pour ralentir une réaction aussi bien que pour l'accélérer.



Comment on casse de grosses molécules pour obtenir des molécules plus petites

2.95 En cassant les molécules d'amidon on obtient un sucre

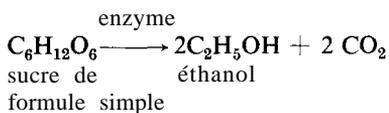
On reconnaît l'amidon à la coloration bleu foncé qu'il donne quand il est en contact avec de l'eau iodée. Ce test est très sensible. Le sucre ne réagit pas sur l'iode, mais il réduit le cuivre II de la liqueur de Fehling en donnant de l'oxyde cuivreux (ou de cuivre I) rouge, ce qui constitue également un test sensible. L'amidon n'agit pas sur

la liqueur de Fehling. La salive contient des enzymes servant de catalyseurs pour la conversion de l'amidon en sucre. L'expérience ci-après permet d'étudier le déroulement de cette réaction.

Mettre environ 10 cm³ de solution diluée d'amidon dans un tube à essai. Ajouter 1 cm³ de salive et bien mélanger. Noter l'heure au moment de cette addition. Toutes les 2 minutes, prélever 2 ou 3 gouttes à l'aide d'une pipette et les déposer sur un carreau de céramique blanc bien propre; éviter soigneusement qu'elles ne se mélangent en coulant sur la surface. On lavera soigneusement la pipette après chaque prélèvement. Mettre un peu d'eau iodée sur chaque goutte : la coloration bleue devient moins intense, ce qui montre que l'amidon diminue.

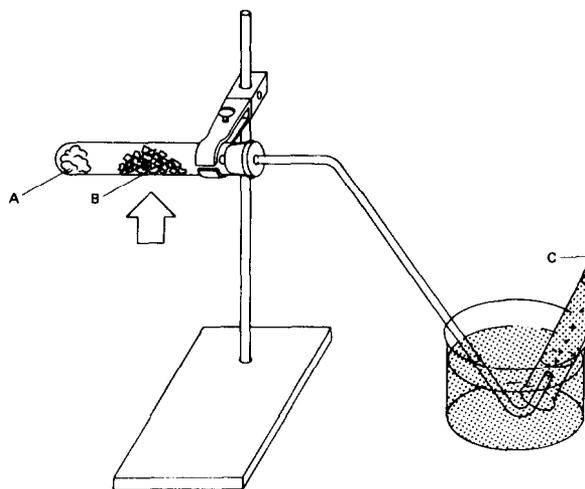
Tester l'augmentation de la teneur en sucre en même temps que la diminution de la teneur en amidon. Pour cela, mettre 2 ou 3 gouttes du mélange en réaction dans un petit tube à essai. Ajouter 3 cm³ de liqueur de Fehling et porter presque à ébullition : on doit normalement constater un accroissement de la teneur en sucre. C'est donc que l'enzyme contenue dans la salive est en train de casser lentement les molécules d'amidon pour donner un sucre, dont la molécule est plus petite.

Dans une des expériences décrites précédemment, on avait utilisé de la levure pour casser les molécules de sucre : on obtenait de l'éthanol, dont la molécule est encore plus petite. La levure de bière, qui est un être vivant - un champignon - produit des enzymes qui agissent comme catalyseurs selon la formule :



2.96 En cassant les molécules d'éthanol on obtient de l'éthylène

Imprégner d'éthanol un peu de coton hydrophile ou de laine d'amiante et mettre le tampon au fond d'un tube à essai en Pyrex. Bourrer le milieu du tube à essai de morceaux de porcelaine poreuse. Adapter un tube à dégagement pour recueillir le gaz sur l'eau, de la manière indiquée



- a Coton hydrophile imprégné d'éthanol
- b Porcelaine non vernissée (ou matière poreuse)
- c Éthylène

sur la figure. Tenir prêts 3 tubes à essai pour recueillir l'éthylène.

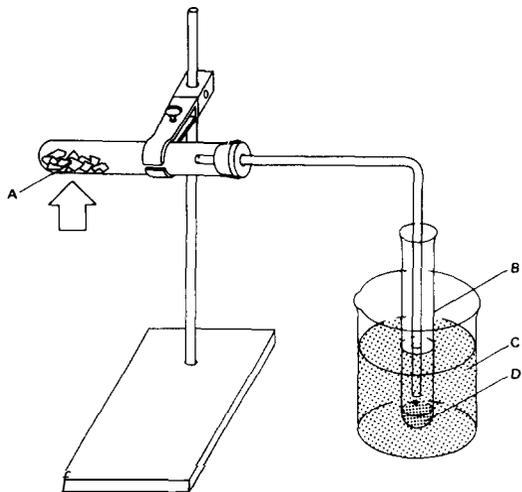
Chauffer d'abord fortement l'amas de matière poreuse, puis chauffer légèrement le coton hydrophile pour obtenir un peu de vapeur d'éthanol : cette vapeur se brisera sur la matière poreuse chauffée et donnera de l'éthylène et de la vapeur d'eau. A la différence de l'éthanol, l'éthylène est insoluble dans l'eau et on peut le recueillir dans les tubes à essai préparés. Comparer la nature des trois doses recueillies en effectuant les tests suivants : a) enflammer l'éthylène; b) agiter avec quelques gouttes de permanganate de potassium dilué et alcalinisé au moyen d'une solution de carbonate de sodium (la coloration du permanganate doit disparaître); c) agiter avec un peu d'eau de brome (la couleur disparaît également). Si l'expérience est effectuée par les élèves, ils ne devront pas oublier de débrancher le tuyau de dégagement avant d'interrompre le chauffage, pour éviter que l'eau ne soit aspirée vers la matière poreuse surchauffée (« absorption »).

2.97 Rupture d'un polymère en petites molécules

Les expériences 2.95 et 2.96 illustrent la rupture d'un solide (amidon) donnant un autre solide

(sucre), puis un liquide (éthanol), puis un gaz (éthylène). D'une manière générale, les molécules les plus petites sont gazeuses ou liquides à la température ambiante ordinaire et les grosses molécules sont solides. Le Plexiglas (Altuglas) et le polystyrène sont des polymères solides qui peuvent être brisés par la chaleur pour donner de plus petites molécules.

Mettre quelques morceaux d'Altuglas ou de polystyrène dans un tube à essai en Pyrex muni d'un tube à dégagement (voir figure). Le tube à essai collecteur doit être bien refroidi à l'eau froide, car les fumées sont nocives. Chauffer doucement le tube à essai contenant l'Altuglas : ce polymère (polyméthacrylate de méthyle) fond en donnant des vapeurs; recueillir celles-ci dans le tube à essai collecteur en réglant soigneusement le chauffage de manière que toutes les vapeurs se condensent. On obtient un liquide, ce qui permet de supposer que le polymère a été brisé par la chaleur pour donner des molécules plus petites. Ce liquide ne retourne pas à l'état solide, à moins qu'on utilise un catalyseur déterminé. (Il n'y a généralement pas de catalyseurs de ce genre dans les laboratoires scolaires.)



Des grosses molécules aux petites molécules

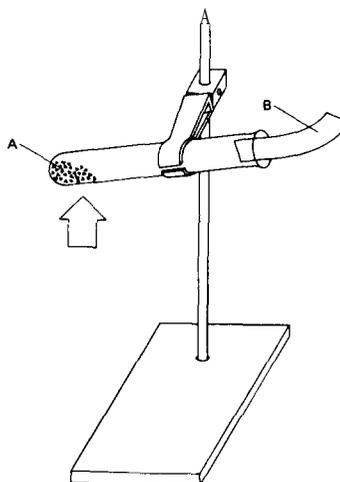
- a Altuglas ou polystyrène
- b Tube collecteur
- c Eau froide
- D Condensation d'un liquide

2.98 Recherche des éléments couramment contenus dans les aliments

A. Rassembler de petits morceaux d'aliments tels que du fromage, du pain, de la farine, du sucre, des feuilles de légumes, du maïs. Mettre un morceau de chaque aliment, de la grosseur d'un grain de riz à peu près, dans un couvercle de boîte à conserves ou une capsule de bouteille en métal et faire chauffer en tenant le couvercle avec une pince. Quel est l'élément qui reste sur le couvercle dans tous les cas? N'est-ce pas du carbone?

B. Dans un petit tube à essai, faire chauffer de petites quantités d'aliments en présence d'oxyde cuivrique : l'oxyde cuivrique cède de l'oxygène à l'aliment. Vérifier la nature du gaz dégagé dans le tube à essai à l'aide d'eau de chaux : pour cela, prélever un peu de gaz au moyen d'un compte-gouttes et le faire dégager dans de l'eau de chaux. N'y a-t-il pas aussi de l'eau qui se condense sur les parties froides du tube?

C. Mettre une petite quantité d'aliments écrasés et la valeur de 3 spatules de chaux sodée dans un tube à essai. Mélanger intimement et chauffer de



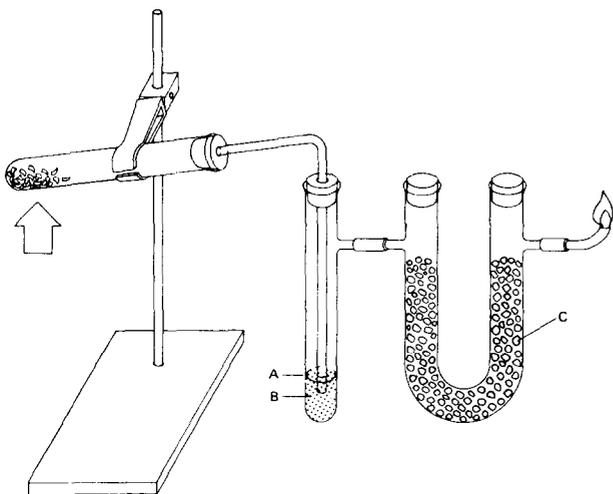
Comment déceler la présence d'azote dans certains aliments

- a Aliment et chaux sodée
- b Papier de tournesol humide

la manière indiquée sur la figure. Ne constate-t-on pas une odeur d'ammoniac près du goulot du tube? Quelle est la couleur prise par du papier de tournesol? Si cette réaction donne de l'ammoniac, ne doit-on pas en conclure que l'azote contenu dans l'ammoniac ne peut provenir que des aliments?

2.99 Obtention d'un combustible gazeux à partir du bois

Monter l'appareil représenté par la figure. Chauffer un peu de sciure de bois dans le tube à essai en Pyrex, d'abord tout doucement, puis fortement, jusqu'à porter le tube presque au rouge.



Obtention de charbon de bois et d'un combustible gazeux à partir de bois
a Eau destinée à dissoudre les gaz solubles
c Chaux sodée peu tassée destinée à absorber la vapeur d'eau

Après un moment, le gaz qui se dégage par le bec peut être enflammé : le gaz de bois brûle. La sciure a été chauffée dans le tube à essai en l'absence d'air. Le résidu obtenu est du charbon de bois. Les élèves peuvent-ils suggérer une utilisation des produits qui se sont condensés en A?

Polymérisation de molécules

2.100 Extraction de la caséine du lait

Écrémer un peu de lait et en mettre 100 cm^3 dans un becher. Porter à 50°C environ et ajouter de l'acide acétique ou du vinaigre jusqu'à ce que la caséine cesse de se coaguler. Retirer la masse de caséine et la pétrir un peu entre les doigts pour éliminer le liquide restant et lui donner une consistance caoutchouteuse. La caséine est une protéine polymère qui contient des atomes d'azote. Elle durcit si on la met dans une solution de formol : on peut alors la mouler et en faire des boutons.

2.101 Une résine urée-formaldéhyde

Mettre 2 cm^3 de solution de formaldéhyde à 40 % dans un tube à ébullition et ajouter environ 1 g d'urée. Remuer jusqu'à obtenir une solution saturée. Ajouter 1 ou 2 gouttes d'acide sulfurique concentré. Le mélange durcit soudainement en se polymérisant pour donner une grosse molécule. Retirer le produit et le laver très soigneusement. Il s'agit là d'un polymère obtenu par condensation.

2.102 Une résine formaldéhyde-résorcinol

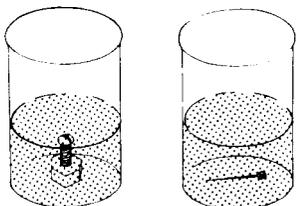
Mettre 5 cm^3 de solution de formaldéhyde à 45 % dans un petit becher. Ajouter 2 g de résorcinol et mélanger très intimement avec le formol. Ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré et remuer. Le mélange durcit soudainement en se polymérisant pour donner de grosses molécules. Retirer cette résine et la laver très soigneusement. Il s'agit également d'un polymère par condensation.

Chaleur et température

Énergie calorifique

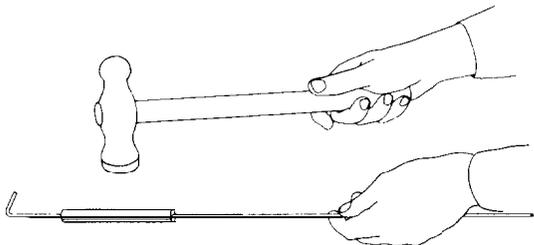
2.103 Élévation de température due à l'absorption d'énergie calorifique

La quantité d'énergie calorifique absorbée par différentes quantités d'une même substance dépend de leurs masses respectives. Mettre un gros boulon de fer et une petite pointe dans un becher d'eau chaude pour les porter à la même température. Remplir deux bechers d'un même volume d'eau à la même température, puis mettre le boulon dans un des bechers et la pointe dans l'autre. Relever la température de l'eau dans chacun des bechers après une minute : la différence des quantités de chaleur cédées par les deux objets explique la différence des changements de température de l'eau dans les deux bechers (voir figure).



2.104 Transformation d'énergie mécanique en énergie calorifique

Enrouler à l'extrémité d'un bout de fil de fer (de 25 cm de long et d'environ 0,9 mm de diamètre, voir figure) un morceau de feuille de plomb de 5 cm² pour 1 mm ou moins d'épaisseur. Tenir l'extrémité du fil et poser le plomb sur une

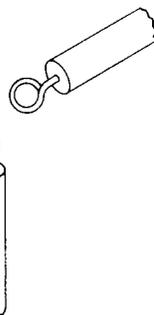


enclume (un poids de 1 kg en fonte peut faire fonction d'enclume). Marteler le plomb en donnant des coups rapides et répétés. A condition que le plomb ne soit pas plus épais qu'il n'a été indiqué, on constatera une élévation de température.

Dilatation

2.105 Expérience de l'œillet et de la tête de vis

Se procurer une grosse vis à bois et un piton à œillet où la tête de vis passera tout juste à frottement doux (on peut réaliser cet œillet avec du gros fil de fer); les visser à l'extrémité de deux baguettes de bois, mais en laissant dépasser au moins 2,5 cm de métal (voir figure). Chauffer la tête de vis dans une flamme pendant un certain temps et essayer ensuite de la faire passer dans l'œillet. Sans laisser la vis refroidir, chauffer l'œillet dans la flamme en même temps qu'elle, et essayer à nouveau de faire passer la tête de vis dans l'œillet. Maintenir la vis dans la flamme et refroidir l'œillet en le plongeant dans de l'eau froide. Essayer à nouveau de les faire passer l'un dans l'autre. Faire refroidir la tête de vis et essayer de nouveau. Cette expérience est analogue à l'expérience dite « de la boule et de l'anneau ».



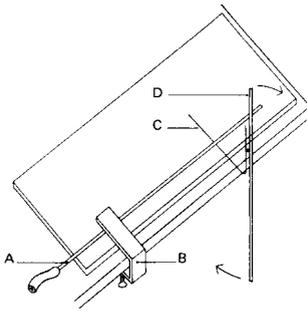
2.106 Dilatation d'un solide sous l'effet de la chaleur

Se procurer un tube de cuivre solide d'environ 2 m de long. Le poser sur une table et assujettir l'une des extrémités au moyen d'un étau. Sous l'autre extrémité placer une aiguille à tricoter ou un rayon de roue de bicyclette dont une extrémité

2.107

Sciences physiques

90



- A Tube de cuivre
- B Étau
- C Rouleau
- D Baguette de balsa

sera recourbée à angle droit : on aura ainsi un rouleau placé sous le tube de cuivre. Une mince baguette de balsa d'environ 1 m de long fixée à ce rouleau par de la cire à cacheter fera ressortir les moindres mouvements de la tige (voir figure). Souffler fortement et régulièrement dans le tube par l'extrémité fixée : la dilatation du tube occasionnée par la chaleur de l'haleine sera mise en évidence par ce dispositif. Insuffler de la vapeur d'eau dans le tube et noter le déplacement de la baguette de balsa servant d'aiguille. Pour éviter d'abîmer la surface de la table, on peut placer une feuille d'amiante sous le tube de cuivre. Renouveler l'expérience avec des tubes différents.

2.107 Système bilame

Deux lamelles - l'une en fer, l'autre en cuivre - rivées ensemble se courberont si on les chauffe en raison de la différence de dilatation. Percer des trous à l'aide d'une pointe et utiliser de petites semences en guise de rivets (voir figure). On peut aussi, pour assembler les lamelles, les tailler de façon qu'elles comportent de petites languettes également espacées qu'on recourbera les unes sur les autres.

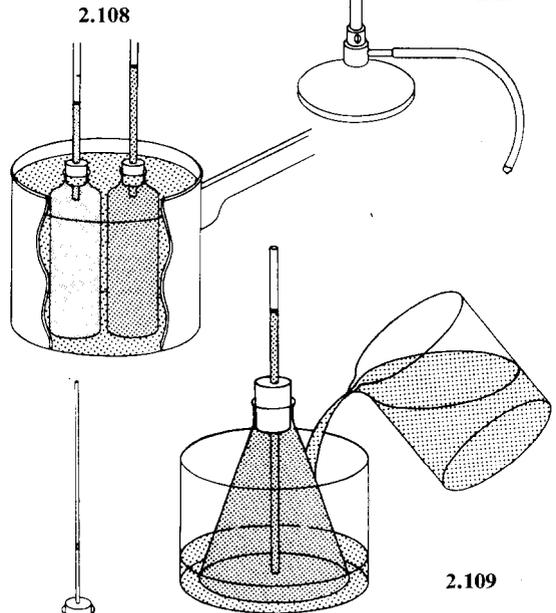
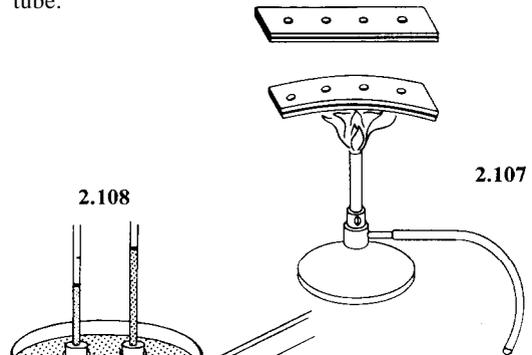
2.108 Dilatation des liquides

Prendre 2 ou 3 flacons pharmaceutiques de même modèle et de mêmes dimensions et les munir de bouchons traversés par des tubes. Les remplir de liquides de viscosités différentes et les plonger dans une casserole d'eau chaude (voir figure). Les

niveaux des liquides dans les tubes mettront en évidence les différences entre leurs coefficients de dilatation.

2.109 Dilatation et contraction d'un liquide

Mettre de l'eau colorée dans une fiole. Boucher la fiole avec un bouchon à un trou muni d'un tube de verre qui plongera dans le liquide et dépassera d'environ 30 à 60 cm (voir figure). Verser de l'eau chaude sur la fiole : l'eau s'élève dans le tube. Verser de l'eau froide : l'eau redescend dans le tube.



2.110 Étude qualitative de la dilatation de l'air

Emprisonner de l'air dans un ballon en obstruant le tube qui traverse le bouchon par une goutte d'huile (voir figure). Le léger réchauffement obtenu en prenant le ballon entre les mains suffira pour que l'élévation de température fasse remonter la goutte d'huile dans le tube. Plonger ensuite le ballon dans de l'eau froide, puis dans de l'eau tiède (pas trop chaude). Au lieu d'un ballon, on peut utiliser un tube à essai en verre muni d'un tube capillaire fixé dans un bouchon.

2.111 Dilatation de l'air

A. Adapter un ballon de baudruche sur le goulot d'un ballon de verre, puis chauffer celui-ci légèrement à l'aide d'une bougie ou d'une lampe à alcool.

B. Gonfler à moitié un ballon de baudruche, puis le maintenir au-dessus d'une plaque chauffante ou l'exposer aux rayons chauds du soleil pendant un moment : observer le résultat.

Thermomètres

2.112 Peut-on se fier à ses impressions en matière de température ?

Remplir une casserole d'eau à la température la plus élevée que la main puisse supporter, une deuxième casserole, d'eau glacée et une troisième, d'eau tiède. Plonger les deux mains dans l'eau tiède et les y laisser environ une demi-minute. A-t-on l'impression que l'eau est à la même température pour les deux mains? Paraît-elle chaude, froide ou ni l'un ni l'autre? Mettre alors la main gauche dans l'eau chaude et la main droite dans l'eau glacée et les y laisser une minute. S'essuyer les mains rapidement et les remettre toutes les deux dans l'eau tiède : quelle est l'impression produite sur la main droite? A-t-on la même impression qu'en plongeant les deux mains dans l'eau tiède pour la première fois? Que faut-il en conclure quant à la sensation de température?

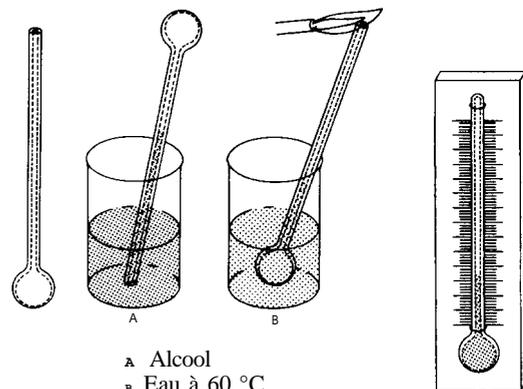
2.113 Principe du thermomètre

Remplir un ballon d'eau colorée par de l'encre. Y

adapter un bouchon à un trou muni d'un tube de verre de 30 cm de long de manière que l'eau remonte dans le tube d'environ 5 ou 6 cm. Mettre le ballon sur un trépied placé sur une source de chaleur et observer le niveau de l'eau en cours de chauffage. L'eau se dilate plus vite que le verre et monte dans le tube. En observant attentivement, on constatera que le niveau de l'eau commence d'abord par descendre au tout début de la chauffe, puis se met à monter. Cela est dû au fait que le réservoir en verre commence à se dilater avant que l'eau qu'il contient ne prenne la même température que le verre.

2.114 Fabrication d'un thermomètre à alcool

Pour faire un thermomètre à alcool simple et suffisamment exact pour la plupart des usages courants, prendre 20 à 30 cm de tube de verre de 5 mm environ de diamètre extérieur et de 1 mm de diamètre intérieur. Réaliser par soufflage un petit réservoir arrondi d'environ 1,5 cm de diamètre extérieur à une extrémité du tube (voir figure). Renverser le tube sur de l'alcool de manière que l'extrémité ouverte plonge dans le liquide. Chauffer et laisser refroidir le réservoir à plusieurs reprises. Après chaque refroidissement, secouer le tube de façon que l'alcool qui y sera remonté aille dans le réservoir; remplir ainsi progressivement le thermomètre d'alcool, en prenant bien soin d'éliminer les bulles d'air qui auraient pu être emprisonnées. Placer alors le réservoir du thermomètre



dans de l'eau à 60 °C, température légèrement inférieure au point d'ébullition de l'alcool. Éliminer l'alcool en excès qui suintera du sommet du tube, puis sceller celui-ci à la flamme. **Attention :** prendre des précautions pour sceller le tube, afin de ne pas enflammer l'alcool. Étalonner le thermomètre en le plongeant dans de l'eau à différentes températures connues.

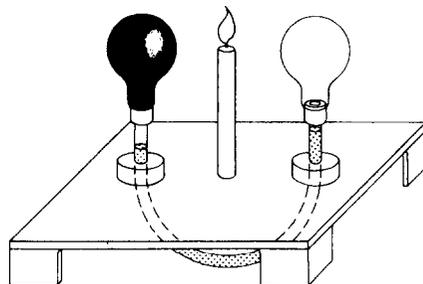
2.115 Vérification d'un thermomètre

Les échelles thermométriques sont définies à partir de deux points fixes, par exemple la température de l'eau bouillante et la température de la glace fondante. Se procurer un thermomètre et le plonger dans la vapeur d'eau, juste au-dessus de la surface de l'eau en ébullition dans un ballon. L'y laisser plusieurs minutes et voir s'il donne une lecture voisine de 100 °C ou 212 °F et quel est l'écart éventuel.

Retirer le thermomètre de la vapeur et le laisser refroidir un instant avant de le placer dans un récipient de glace fondante. Observer alors s'il donne une lecture voisine de 0 °C ou 32 °F (en précisant l'écart). *Note.* Si l'expérience est effectuée à haute altitude, il se peut que la température de l'eau bouillante soit nettement inférieure à 100 °C ou 212 °F en raison de la valeur plus faible de la pression atmosphérique. Le thermomètre ne marquera 100 °C exactement que si l'on opère au niveau de la mer et à une pression barométrique de 760 mm de mercure.

2.116 Thermoscope élémentaire

Pour construire cet appareil, on peut utiliser des ballons ou des ampoules électriques dont on aura enlevé le culot (voir figure). Adapter sur les deux ampoules des bouchons munis de tubes d'environ 15 cm de long. Faire passer la partie inférieure des tubes dans des bouchons plats. D'autre part, faire dans un socle de bois de dimension appropriée des trous distants de 22 cm environ. Y coller les tubes de manière qu'ils soient verticaux et relier les extrémités libres par un tube de caoutchouc. Démontez l'une des ampoules et noircir l'autre à la flamme d'une bougie. Verser du liquide dans le tube en U ainsi obtenu, de manière que le niveau soit à 7 cm environ au-dessus du



socle. Remettre en place l'ampoule non noircie et manœuvrer le tube dans les bouchons pour que le liquide soit au même niveau des deux côtés. Placer une bougie à égale distance des deux ampoules et observer les résultats au bout d'un moment.

Conduction

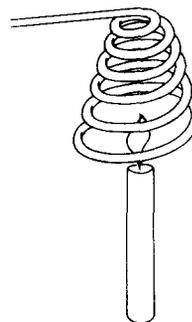
2.117 Comment limiter les déperditions de chaleur

Se procurer 4 grandes boîtes à conserves de mêmes dimensions et 4 petites, également de mêmes dimensions. Placer 3 petites boîtes à l'intérieur de 3 grandes et remplir l'espace libre, tout autour et en dessous, de matières isolantes : lanières de papier journal froissé dans la première boîte, sciure de bois dans la seconde et fragments de liège dans la troisième. (D'autres matières isolantes peuvent être utilisées, selon les possibilités.) Placer la dernière petite boîte dans la quatrième grande boîte, en la faisant reposer sur 2 bouchons. Couvrir chaque boîte d'un couvercle en carton percé d'un trou permettant de faire passer un thermomètre. Remplir alors les petites boîtes d'une même quantité d'eau presque bouillante. Relever la température de l'eau dans chaque boîte. Prendre la température de l'eau dans chaque boîte toutes les 5 minutes et observer quel est le meilleur isolant, c'est-à-dire celui avec lequel le refroidissement est le moins rapide. On peut dresser des courbes de refroidissement en notant les températures en fonction des temps dans chacun des cas.

2.118 Conduction dans une toile métallique

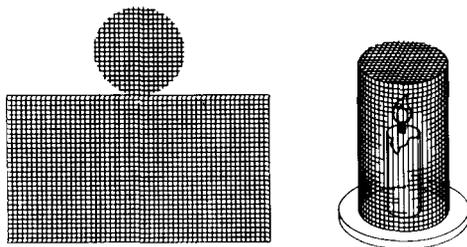
Tenir un morceau de toile métallique dans une flamme de lampe à alcool ou de gaz et remarquer que la flamme ne traverse pas la toile : c'est que la

conduction dans le treillis métallique entraîne la chaleur loin de la flamme. Si l'on dispose d'une installation de gaz, placer un brûleur sous un trépied et recouvrir celui-ci d'un treillis métallique. Ouvrir le gaz et l'allumer au-dessus de l'écran métallique. On peut voir que le gaz ne brûle qu'au-dessus du treillis, car celui-ci entraîne la chaleur par conduction et empêche le gaz qui arrive au-dessous d'atteindre la température à laquelle il s'enflamme. C'est en observant ce phénomène que Humphry Davy eut l'idée de la lampe de sûreté des mineurs qui n'enflamme pas le gaz explosif (grisou) parfois présent dans les mines de charbon.



2.119 Lampe Davy improvisée

On peut effectuer les expériences traditionnelles sur la conductivité de la toile métallique au moyen d'une lampe Davy improvisée (voir figure). Une bougie enfermée dans un manchon cylindrique de toile métallique n'allume pas un jet de gaz projeté sur lui à l'aide d'un tuyau en caoutchouc. On placera le manchon métallique sur un socle de



bois ou de plasticine. *Attention* : ne pas laisser le jet de gaz ouvert longtemps et ventiler la pièce pour évacuer le gaz dégagé.

2.120 Comment éteindre une bougie avec un bout de fil de cuivre enroulé en ressort hélicoïdal

Placer un ressort hélicoïdal formé d'un morceau de gros fil de cuivre ou d'aluminium au-dessus de la flamme d'une petite bougie (voir figure). Pourquoi la flamme s'éteint-elle? On peut éteindre une bougie en la privant d'oxygène; mais, dans le cas présent, l'oxygène parvient facilement jusqu'à la flamme. En réalité, la flamme s'éteint parce que le fil de cuivre entraîne la chaleur loin de la flamme

si rapidement que la température s'abaisse au-dessous du point d'inflammation. Cela prouve que le cuivre et l'aluminium sont bons conducteurs de la chaleur. Si la flamme est trop grande, elle produit de l'énergie calorifique trop vite pour que celle-ci puisse être dissipée par le ressort. Si le ressort est déjà chaud avant le début de l'expérience, il se peut que la température de la flamme ne soit pas suffisamment abaissée pour que celle-ci s'éteigne.

2.121 Les métaux sont bons conducteurs de la chaleur

Mettre un morceau de papier au-dessus de la flamme d'une bougie : si on le rapproche, il se carbonise. Mettre une pièce de monnaie sur le papier et recommencer l'expérience : le métal entraîne et disperse la chaleur, et l'emplacement de la pièce de monnaie se dessine sur le papier.

2.122 Conduction dans une tige métallique

Se procurer une tige de cuivre, de laiton ou d'aluminium d'au moins 30 cm de long. Y déposer de grosses gouttes de paraffine fondue tous les 3 cm. Pendant que ces gouttes de paraffine sont encore molles, y enfoncer les pointes de clous ou de punaises. Chauffer une des extrémités de la tige dans une flamme et étudier la manière dont la chaleur se propage par conduction le long de la tige.

2.123 L'eau est un mauvais conducteur de la chaleur

Remplir d'eau froide un tube à essai et le tenir à la main par le fond. Chauffer le haut du tube dans une flamme de bec Bunsen jusqu'à ébullition. On

peut continuer à tenir à la main le fond du tube, ce qui prouve bien que l'eau est peu conductrice de la chaleur.

Convection

2.124 Convection dans un tube à essai

Remplir d'eau froide un tube à essai en Pyrex. Une fois l'eau au repos, y laisser tomber un seul cristal de permanganate de potassium de très petite taille de manière qu'il aille au fond en colorant très peu l'eau. Tenir d'abord le tube à essai entre les doigts en plaçant ceux-ci près du niveau de l'eau, mais pas au-dessus de celui-ci. Chauffer alors le fond du tube avec un bec Bunsen aussi longtemps qu'on peut supporter la chaleur sur les doigts. Ne pas utiliser une flamme trop forte. Vider le tube à essai, le laisser refroidir, le laver et le remplir à nouveau d'eau froide. Une fois le liquide au repos, ajouter encore, sans remuer, un tout petit cristal de permanganate de potassium. Tenir cette fois le tube par le fond, et faire agir le bec Bunsen en haut du tube juste au-dessous du niveau de l'eau. Continuer à chauffer aussi longtemps qu'on peut tenir le tube entre les doigts. *Attention* : se rappeler que, bien que leur peau soit sensible aux brûlures, certains enfants peuvent ne pas éprouver une douleur appréciable dès le premier contact. Aussi, bien qu'il soit important que les élèves puissent sentir directement les variations de température, il convient de les prévenir qu'il ne faut pas continuer à tenir le tube quand il commence à sembler trop chaud. Mais les supports ou les pinces à tubes à essai - ou les instruments analogues fabriqués avec des bandes de papier plié - enlèvent tout intérêt à cette expérience.

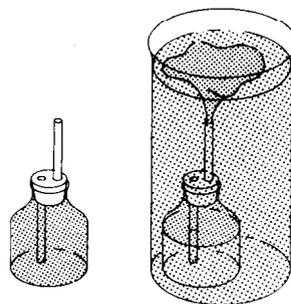
2.125 Courants de convection dans l'eau

Remplir un grand bocal d'eau froide et le peser de façon précise sur une balance. Vider le bocal. Le remplir avec exactement le même volume d'eau chaude et le peser à nouveau. On constatera que le bocal d'eau chaude pèse moins lourd. Pour un même volume; l'eau froide est plus lourde que l'eau chaude, de sorte que lorsqu'on chauffe

l'eau, il se produit des courants de convection : l'eau chaude remonte sous l'effet de la poussée exercée par l'eau froide qui l'entoure. En d'autres termes, l'eau chaude est moins dense que l'eau froide et c'est ce qui provoque les courants de convection dans un liquide.

2.126 Autre manière de mettre en évidence les courants de convection dans l'eau

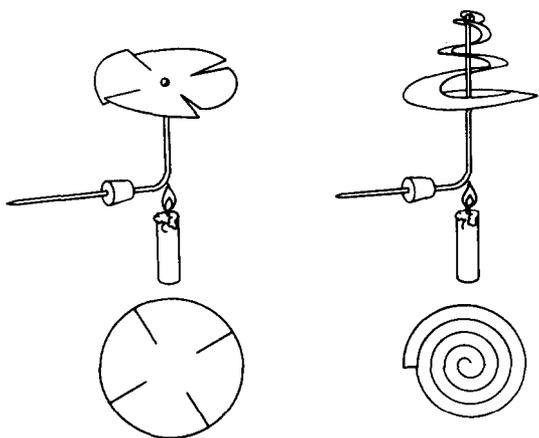
Boucher une bouteille d'encre ou de colle avec un bouchon de liège muni de 2 tubes de verre, de la façon indiquée sur la figure. L'un des 2 tubes sera effilé pour former comme l'extrémité d'un compte-gouttes; il ne dépassera pas du bouchon vers le bas mais dépassera d'environ 5 cm vers le



haut. L'autre tube ne dépassera pas du haut du bouchon et plongera presque au fond de la bouteille. Remplir la bouteille d'eau très chaude fortement colorée par de l'encre. D'autre part, remplir un grand bocal de verre - cuve à accumulateur par exemple - d'eau très froide. Rincer l'extérieur de la bouteille d'encre et la placer rapidement au fond du grand bocal. Observer ce qui se passe : Quelle explication peut-on donner?

2.127 Courants de convection dans l'air

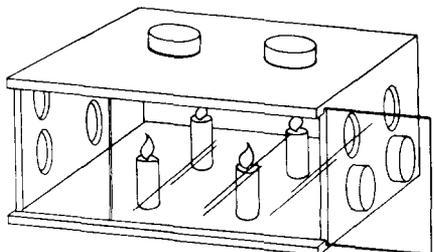
Découper un disque de fer-blanc mince dans le fond d'une boîte à conserves. L'entailler de façon à y former 3 pales et le placer sur une aiguille à tricoter recourbée servant de pivot (voir figure). Tenir le disque au-dessus de la flamme d'une bougie : il se mettra à tourner rapidement. Une spirale de papier ayant pour pivot une aiguille à tricoter se mettra à tourner de la même manière.



On peut encore mettre en évidence les courants atmosphériques de convection en exploitant la différence d'indice de réfraction de l'air chaud et de l'air froid. Une ampoule de phare d'automobile débarrassée de son réflecteur projettera les « ombres » de courants de convection formés au-dessus d'un radiateur électrique.

2.128 Courants de convection et ventilation

Se procurer une boîte munie de rainures pour le couvercle; couper une plaque de verre qui coulisse dans ces rainures et assure une parfaite étanchéité à l'air. Toute autre sorte de boîte pour laquelle on pourra improviser un couvercle étanche en verre fera également l'affaire. Percer 4 trous dans les parois à chacune des deux extrémités de la boîte (voir figure) : chaque paroi ainsi percée représente une fenêtre, et les trous supérieurs qui y sont aménagés correspondent aux moitiés supérieures ou impostes de chaque fenêtre. Mettre 4 bougies dans la boîte, les allumer et fermer le



verre coulissant. Toutes les conditions nécessaires pour étudier les meilleurs moyens d'assurer la ventilation d'un local sont réunies. Obturer complètement les fenêtres à l'aide de bouchons bien forts placés dans les trous et observer les bougies quelques instants. Puis essayer des combinaisons différentes pour les ouvertures : une fenêtre ouverte en haut et en bas - c'est-à-dire les 4 trous d'un même côté ouverts en même temps; une fenêtre ouverte en haut, l'autre ouverte en bas; les deux fenêtres ouvertes en haut; une fenêtre ouverte en bas; toutes les deux ouvertes en bas; une fenêtre ouverte en haut. Quelles sont les combinaisons des ouvertures qui assurent la meilleure ventilation? (Voir aussi expérience 4.120.)

2.129 Température de plus grande densité de l'eau

Mettre un gros morceau de glace dans un verre d'eau. Disposer 2 thermomètres de manière qu'ils indiquent les températures de l'eau près du fond et de la surface. On remarquera que l'eau refroidie par la glace tombe au fond et que cela se poursuit jusqu'à ce que l'eau du fond atteigne une température d'environ 4 °C. Elle restera à cette température pendant longtemps, l'eau plus froide restant au-dessus, au voisinage de la glace. On peut en conclure que l'eau à 4 °C est plus dense que l'eau à 0 °C. Cette curieuse propriété de l'eau est d'une grande importance pour comprendre certains phénomènes naturels. Elle explique par exemple pourquoi les étangs gèlent à partir de la surface tandis qu'au fond la température descend rarement au-dessous de 4 °C. (Voir aussi expérience 4.59.)

Rayonnement

2.130 Transmission de la chaleur par rayonnement

La transmission de la chaleur peut s'effectuer par ondes, même à travers le vide : c'est ce qu'on appelle le rayonnement. La chaleur se déplace par rayonnement de manière quasi instantanée. Mettre la main sous une ampoule électrique éteinte, la paume tournée vers le haut; allumer l'électricité : on sent la chaleur presque aussitôt que l'ampoule s'allume. Cette chaleur n'aurait pas pu

atteindre la main aussi vite du fait de la seule conduction, car l'air est mauvais conducteur de la chaleur; ni par convection, car, dans ce cas, la chaleur aurait été entraînée vers le haut, donc à l'opposé de la main. En réalité, la chaleur perçue était transportée par des ondes « électromagnétiques courtes », d'une longueur d'onde plus grande que celle de la lumière. La chaleur issue d'une source se propage par rayonnement dans toutes les directions. Mettre une plaque de verre entre l'ampoule électrique et la main, afin d'empêcher tout déplacement d'air : la chaleur transmise par rayonnement demeure sensible.

2.131 *On peut concentrer les ondes de chaleur rayonnante*

Tenir une grosse loupe au soleil et faire converger les rayons en un point sur des feuilles de papier de soie : le papier de soie s'enflamme sous l'action des rayons de chaleur concentrés. Essayer avec du papier de soie noirci à l'encre de Chine ou à la suie : Est-ce qu'il prend feu plus facilement?

2.132 *Les ondes de chaleur rayonnante peuvent se réfléchir*

Chauffer du papier de soie à l'aide d'une loupe comme ci-dessus et noter la distance qui sépare la loupe du papier de soie. Intercaler un miroir obliquement à peu près à mi-chemin entre la loupe et le papier. En passant la main au-dessus du miroir, chercher l'endroit où se concentrent les ondes de chaleur. Y maintenir à l'aide d'une pince un morceau de papier de soie froissé et voir s'il s'enflamme.

2.133 *Passage de la chaleur rayonnante dans du verre*

Approcher la joue à 25 cm environ d'un trou percé dans une plaque d'amiante fixée devant une source de chaleur (ou dans les rayons du soleil) : le trou doit être au niveau de l'élément incandescent de la source de chaleur. Interposer une plaque de verre entre la joue et le trou. La retirer et la remettre, et noter ce qu'on ressent. On peut recommencer l'expérience en utilisant 2 plaques de verre tenues l'une contre l'autre.

2.134 *Le rayonnement varie selon la nature des surfaces*

Se procurer 3 boîtes à conserves de mêmes dimensions. L'une sera peinte en blanc, à l'intérieur comme à l'extérieur, la deuxième sera peinte en noir, et la troisième sera laissée brillante. Remplir les 3 boîtes jusqu'au même niveau d'eau tiède à la même température et relever cette température. Couvrir chaque boîte d'un couvercle de carton percé d'un trou permettant d'insérer un thermomètre, placer les boîtes sur un plateau à bonne distance les unes des autres, puis les mettre dans un endroit frais. Toutes les 5 minutes, relever la température de l'eau dans chaque boîte : Y a-t-il une différence entre les vitesses de refroidissement? Quelle est la surface qui a donné le meilleur rayonnement de chaleur? Quelle est celle qui a le moins bien rayonné la chaleur? Vider une partie de l'eau contenue dans chaque boîte tout en gardant le même niveau partout. Remplir ensuite d'eau très froide et relever la température. Couvrir les boîtes et les mettre dans un endroit chaud ou au soleil. Relever la température de l'eau toutes les 5 minutes : Quelle est la surface qui a le mieux absorbé la chaleur? Quelle est celle qui l'a le moins bien absorbée?

Quantités de chaleur

2.135 *Chaleur et température : la notion de calorie*

Suspendre une boîte à conserves contenant 50 cm³ d'eau et un thermomètre au-dessus d'une petite flamme de bec Bunsen ou d'une bougie. Noter la température initiale. Faire chauffer pendant 2 minutes, en remuant constamment, et noter la température finale en degrés Celsius. Vider l'eau et recommencer l'expérience avec 100, 150, 200 cm³ d'eau et sur la même flamme. On peut admettre avec une précision suffisante que 1 cm³ d'eau a une masse de 1 g. Calculer, pour chaque cas, le produit de la masse d'eau par l'élévation de température. Étant donné que la même quantité de chaleur a été fournie par la flamme à chaque masse d'eau, on comprend que la quantité de chaleur absorbée par 1 g d'eau pour que sa température s'élève à 1 °C constitue une unité

thermique commode : on appelle cette unité « calorie-gramme ».

2.136 Pouvoir calorifique d'un combustible

Les combustibles fournissent une quantité de chaleur très variable : il est donc bon de disposer d'un moyen d'indiquer leur efficacité relative. Le nombre de calories fournies par la combustion complète de 1 g du combustible considéré constitue un indicateur valable; c'est ce qu'on appelle le pouvoir calorifique. Suspendre une boîte à conserves à un support à l'aide de fil de fer. Y verser 100 cm³ d'eau froide et relever la tempéra-

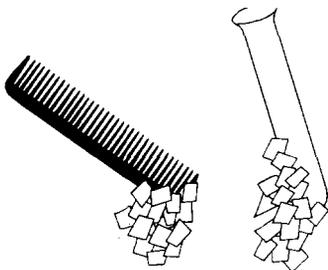
ture. Mettre un petit bout de bougie sur un couvercle de boîte à conserves et peser l'ensemble. Placer la bougie sous la boîte contenant de l'eau et allumer la bougie. Remuer l'eau à l'aide du thermomètre et, quand la température atteint 60 °C, éteindre la flamme et peser de nouveau le couvercle et la bougie. Le produit de la masse d'eau (en grammes) par l'élévation de température (en degrés Celsius) donne le nombre de calories fournies; on peut d'autre part connaître la masse de bougie consumée par différence. Ces deux quantités permettront de calculer le pouvoir calorifique.

Magnétisme et électricité

Électricité statique

2.137 Production d'électricité par frottement

En râpant un bouchon de liège avec une lime, faire un petit tas de poussière de liège. Découper d'autre part du papier très fin en petits morceaux. Se procurer un peigne en matière plastique, un stylo ou un crayon en matière plastique, un morceau de cire, un petit ballon de baudruche ou de caoutchouc, une assiette de verre ou de porcelaine, ou tout autre objet non métallique disponible. Frotter ces objets énergiquement dans les cheveux ou sur de la fourrure et les approcher du tas de poussière de liège. Frotter à nouveau, et approcher du tas de petits bouts de papier (voir figure). Observer ce qui se passe. Recommencer



l'expérience en frottant chaque objet tour à tour avec un morceau de tissu de soie. Recommencer avec un morceau de flanelle.

2.138 Attraction de l'eau par un peigne

Régler un robinet de manière qu'il n'en sorte qu'un mince filet d'eau, puis « charger » un peigne en le passant dans les cheveux à plusieurs reprises. Approcher le peigne à 2 ou 3 cm du filet d'eau. L'eau est très nettement attirée par la charge électrique du peigne.

2.139 Le ballon reste suspendu

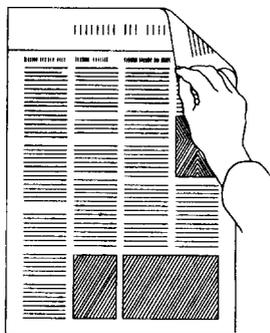
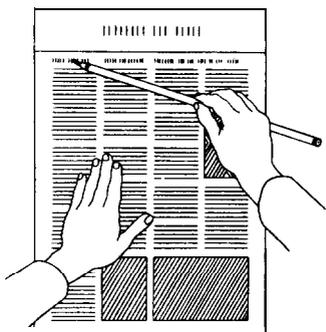
Gonfler un ballonnet en caoutchouc et le frotter énergiquement avec de la fourrure. Le mettre contre le mur et remarquer qu'il reste au point où on l'a placé. Recommencer en frottant le ballon dans les cheveux.

2.140 Des ballons qui se repoussent

Gonfler deux ballons et les attacher avec des ficelles d'environ 1 m de long. Les frotter avec de la fourrure. Tenir les ballons ensemble par leurs ficelles et remarquer qu'ils se repoussent. Mettre la main entre les ballons et observer ce qui se passe. Approcher l'un des ballons du visage. Recommencer, en utilisant 3 ballons.

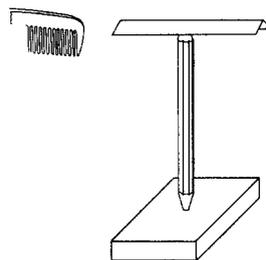
2.141 Le journal se colle au mur

Étendre une feuille de journal et l'appliquer contre le mur. Passer un crayon ou la main sur toute la surface du papier à plusieurs reprises. Soulever un coin du papier puis le lâcher, comme le montre la figure. Remarquer comme il est attiré par le mur. Si l'air est très sec, on peut même entendre le petit crépitement des charges d'électricité statique.



2.142 Détecteur d'électricité statique

Découper une bande de carton mince d'environ 10 X 2 cm. La plier en deux dans le sens de la longueur et la mettre en équilibre sur la pointe d'un crayon comme le montre la figure. La pointe du crayon doit pénétrer légèrement dans le carton sans le perforer, de manière à le laisser pivoter librement. Charger un peigne d'électricité en le



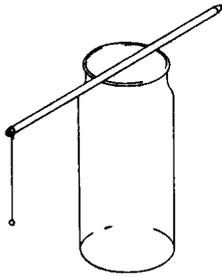
frottant dans les cheveux ou avec un lainage et l'approcher d'une des extrémités de ce détecteur. Observer ce qui se passe. Essayer avec d'autres objets après les avoir frottés.

2.143 Indicateur d'électricité statique en moelle de sureau

Extraire la moelle d'une tige de végétal (sureau par exemple). La faire sécher complètement et la comprimer en petites boulettes d'environ 5 mm de diamètre. Recouvrir ces boulettes de moelle d'une couche d'aluminium, de graphite colloïdal ou de dorure. Fixer chaque boulette à un fil de soie d'environ 15 cm. Fabriquer un support en bois en forme de potence pour y suspendre une boulette (voir 2.146B). Approcher de celle-ci divers objets qu'on aura frottés avec de la soie, de la fourrure ou une flanelle et observer l'effet produit. Ce genre de dispositif s'appelle un électroscope à boule, ou pendule électrique. Au lieu de boulettes de moelle, on peut utiliser des grains de riz soufflé, des boulettes de polystyrène expansé, des balles de ping-pong ou d'autres objets très légers : l'essentiel est de les rendre conducteurs de l'électricité en les enduisant de peinture métallique. On peut utiliser du blanc d'œuf pour faire adhérer la poudre d'aluminium à la surface.

2.144 Électroscope à boule en papier métallique

Faire une boule d'approximativement 6 mm de diamètre avec environ 6 cm² de papier métallique provenant d'un paquet de cigarettes ou d'une enveloppe de chewing-gum. La fixer, à l'aide de papier adhésif, à l'extrémité d'un fil de soie ou de nylon d'environ 8 cm. Attacher l'autre extré-



mité du fil à un crayon à bille ou à un autre support isolant et placer ce support horizontalement sur le goulot d'un bocal à confiture de telle sorte que la boule ne touche pas le flanc du bocal (voir figure). Approcher de la boule un corps chargé d'électricité : elle sera d'abord attirée, puis rebondira dans la direction opposée. Prendre un autre crayon à bille en plastique et le frotter sur une équerre ou un rapporteur en celluloïd. Approcher ce crayon à bille de la boule et laisser celle-ci prendre la charge, puis approcher le rapporteur de la boule chargée. Que nous apprend cette expérience sur les deux sortes de charges produites par le frottement?

2.145 *Électroscope à feuille de métal*

Pour construire un appareil permettant de détecter des charges d'électricité statique, on aura besoin d'un bocal à confiture, de fil métallique et de morceaux de papier ou de feuille métallique très mince. Pour empêcher la charge de fuir, on utilisera un bouchon scellé à la cire, un mastic isolant ou du méthacrylate (Altuglas, Plexiglas). Faire passer dans ce bouchon un fil de cuivre ou de laiton recourbé en L; suspendre en bas un morceau de papier de soie ou du papier d'aluminium plié en deux et traversé par le fil de cuivre. Si on approche un corps chargé d'électricité du haut de ce fil, les deux côtés de la feuille s'écartent, ayant reçu une charge de même signe.

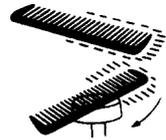
2.146 *Il y a deux sortes de charges statiques*

A. Fabriquer une plate-forme pivotante en enfonçant un long clou dans un socle de bois. Dans un trou percé dans un grand bouchon plat, enfoncer un tube à essai. Affiler le clou à la lime et la

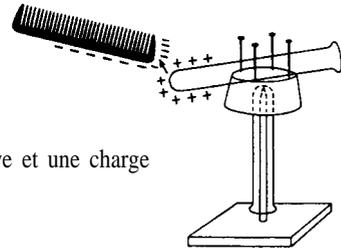
coiffer avec le tube à essai. Piquer des épingles sur le dessus du bouchon : elles maintiendront les objets qu'on placera sur la plate-forme. Se procurer 2 tubes à essai ou des agitateurs de verre, un morceau de soie, 2 peignes en plastique, une baguette d'ébonite, de la laine et un morceau de fourrure ou de flanelle.

a) Frotter un peigne avec la fourrure et le mettre sur la plate-forme. Frotter l'autre peigne avec la fourrure et l'approcher du peigne placé sur la plate-forme. Recommencer jusqu'à ce qu'on soit sûr d'avoir effectué les bonnes observations (voir figure).

Deux charges négatives se repoussent



2.146A



Une charge positive et une charge négative s'attirent

b) Frotter un agitateur de verre avec de la soie et le placer sur la plate-forme. Frotter un peigne avec de la fourrure et l'approcher de la baguette de verre. Recommencer jusqu'à ce qu'on soit sûr d'avoir bien fait les bonnes observations.

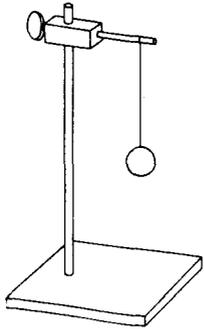
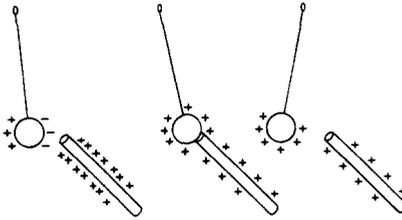
Quand on frotte le peigne avec de la fourrure, le plastique prend une charge d'électricité négative et la fourrure prend une charge positive. Quand on frotte du verre avec de la soie, le verre prend une charge positive et la soie une charge négative.

B. Frotter une baguette d'ébonite avec un lainage et approcher la baguette d'un électroscope à boule de moelle non chargé. Remarquer que la boule de moelle est d'abord attirée, puis repoussée. Frotter

2.146

Sciences physiques

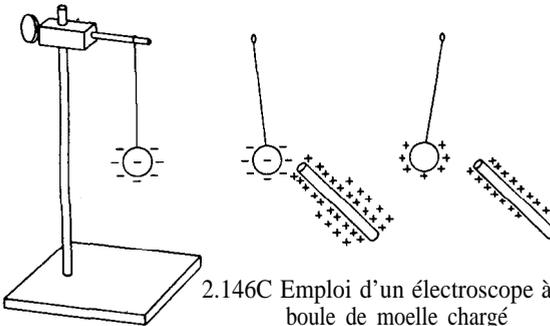
100



2.146B Emploi d'un électroscope à boule de moelle non chargé

de même une baguette de verre avec un morceau de soie et l'approcher d'un électroscope à boule de moelle non chargé. La boule de moelle est d'abord attirée, puis repoussée par la baguette de verre (voir figure).

C. Charger négativement une boule de moelle en la touchant avec une baguette d'ébonite frottée avec de la laine. Montrer que si l'on approche une baguette chargée négativement d'une boule de moelle chargée négativement, celle-ci est repoussée, mais qu'elle est attirée si on approche d'elle



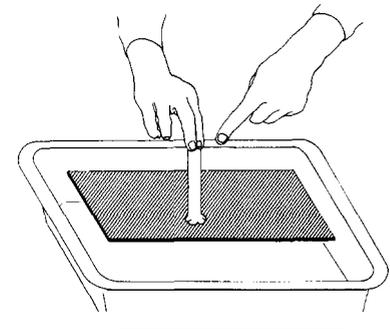
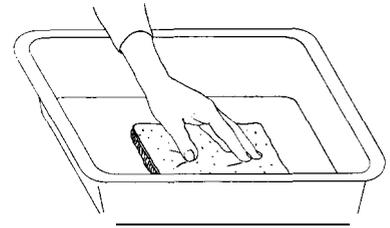
2.146C Emploi d'un électroscope à boule de moelle chargé

une baguette de verre frottée avec de la soie et fortement chargée positivement (voir figure).

Remarque : le comportement des objets chargés placés sur la plate-forme, de l'électroscope et de la boule de moelle démontre la règle générale suivante : les charges d'électricité statique de même signe se repoussent et les charges de signes opposés s'attirent.

2.147 Production de plusieurs charges d'électricité statique par une même source

Se procurer une plaque d'aluminium carrée d'environ 24 cm de côté (un couvercle de boîte en aluminium fera l'affaire). La chauffer sur une



flamme de manière que la température soit uniforme. Poser une baguette de cire à cacheter ou une bougie au centre de la plaque jusqu'à ce que l'extrémité fonde et que la baguette ou la bougie se fixent solidement, formant une sorte de manche (voir figure).

Pour faire un manche qui tienne mieux, on peut percer un trou au milieu de la plaque d'aluminium et y visser une tige de plastique ou de bois. Se procurer une cuvette ou une écuelle en plastique un peu plus grande que la plaque d'aluminium. Poser la cuvette sur la table et frotter vivement le fond avec de la fourrure ou un morceau de flanelle pendant une demi-minute. Mettre alors la plaque d'aluminium dans la cuvette en plastique et appuyer fortement avec les doigts. Retirer l'aluminium et approcher les doigts du métal : une étincelle doit se produire. Le plastique doit normalement fournir plusieurs charges sans qu'il soit nécessaire de le frotter à nouveau : on se contentera d'appuyer fortement le métal contre le plastique et de le soulever par le manche.

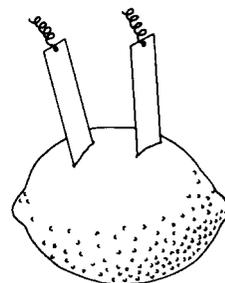
Courant électrique

2.148 Comment faire une pile avec deux pièces de monnaie

Prendre deux pièces de monnaie faites de métaux différents. Les nettoyer soigneusement à la laine métallique ou au papier de verre fin. Avec du papier buvard ou une serviette en papier, faire une sorte de tampon un peu plus grand que les pièces de monnaie et l'imbiber d'eau salée. Mettre l'une des pièces sur le tampon et l'autre dessous. Les tenir entre le pouce et l'index. Les relier aux bornes d'un galvanomètre sensible et noter la déviation de l'aiguille.

2.149 Comment produire de l'électricité à l'aide d'un citron

Relier l'une des bornes d'un galvanomètre sensible à une lamelle de zinc découpée dans l'enveloppe d'une pile sèche hors d'usage. Relier l'autre borne à une lamelle de cuivre. Prendre un citron et le faire rouler avec la main sur une table, en pressant un peu pour que l'intérieur s'écrase sans

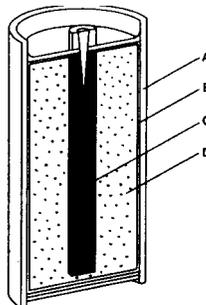


déchirer le zeste. Enfoncer les deux lamelles de métal dans le citron, en veillant à ce qu'elles ne se touchent pas (voir figure). Observer l'aiguille du galvanomètre.

Faire la même expérience avec une pomme de terre. La déviation de l'aiguille du galvanomètre dépend de la distance entre les deux plaques?

2.150 Étude d'une pile sèche

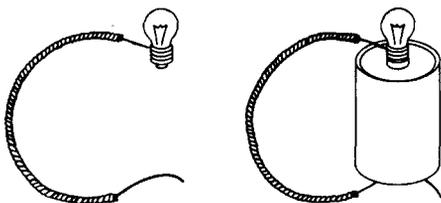
Débarrasser une vieille pile sèche de son enveloppe extérieure. Scier la pile par moitié et étudier la manière dont elle est construite. Remarquer l'électrode de carbone, qui constitue le pôle positif, au centre, le tube de zinc qui constitue l'électrode négative, et la substance contenue entre les deux pôles, qui constitue l'électrolyte (c'est-à-dire le produit chimique qui agit sur les plaques de la pile). Remarquer que le zinc a été rongé par le produit chimique. Observer que les produits chimiques ont été emprisonnés dans le tube de zinc au moyen de goudron (voir figure). [Voir aussi expérience 2.88.]



- A Enveloppe en zinc
- B Papier absorbant
- C Électrode de carbone
- D Électrolyte et matière absorbante

2.151 Montage d'une pile sèche dans un circuit

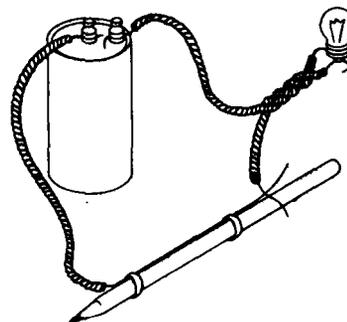
Enrouler l'extrémité d'un bout de fil de sonnette raide autour du culot à vis d'une ampoule électrique de lampe de poche, de manière à la maintenir solidement. Recourber le fil restant en forme de C. Placer le plot situé au centre du culot de l'ampoule sur la borne centrale d'une pile de poche et disposer l'extrémité libre du Al de sonnette de telle sorte que, le fil faisant ressort, il



reste en contact avec le fond de la pile (voir figure) : si les contacts sont bons, l'ampoule doit s'allumer. Ce type de montage doit allumer n'importe quel type d'ampoule pour lampe de poche, mais une ampoule pour pile à un seul élément donnera une lumière plus forte. Observer attentivement l'ampoule et remarquer, à l'intérieur de l'ampoule, le fin filament de métal maintenu en place par deux fils plus gros : une loupe permettra de mieux le voir. Ce filament est en tungstène. Le courant électrique passant dans le filament de tungstène l'échauffe considérablement et il devient alors lumineux. Mettre l'élément de pile la tête en bas et intervertir les branchements : constater que l'ampoule fonctionne tout de même, bien que le courant passe en sens inverse. Faire un croquis indiquant le sens du courant à travers l'ampoule et dans le fil qui la réunit à l'autre extrémité de la pile. Expliquer le sens de l'expression « circuit électrique ». Pour utiliser ce montage en guise de lampe-torche improvisée, on peut fixer le fil à la pile sèche par des bracelets de caoutchouc.

2.152 Interrupteur simplifié

On peut improviser un interrupteur en fixant l'extrémité d'un bout de fil de sonnette à un crayon par deux bracelets de caoutchouc, comme le montre la figure. Un deuxième fil passé en dessous assurera le contact.



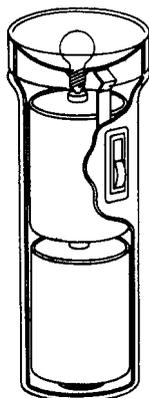
2.153 Rôle des interrupteurs dans un circuit électrique

Dans un circuit comportant une pile et une ampoule, intercaler un interrupteur à couteau. Allumer et éteindre la lampe en manœuvrant cet interrupteur. Remplacer l'ampoule par une sonnette ou un « couineur » et faire fonctionner l'interrupteur. Remplacer l'interrupteur à couteau par un interrupteur à bouton. Essayer avec d'autres interrupteurs de type courant. Si possible, en démonter quelques-uns pour voir comment ils sont faits.

2.154 Fonctionnement d'une lampe torche

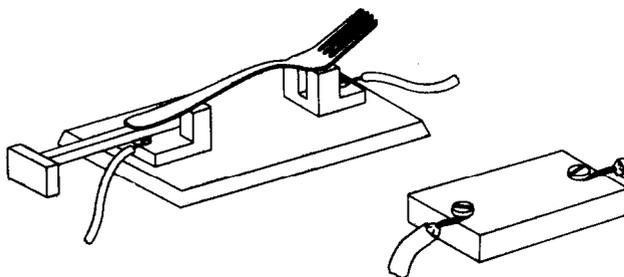
Faire découvrir par les élèves que la lampe de poche (ou lampe torche) est un appareil électrique qui comporte un interrupteur, des éléments isolants et des conducteurs, des piles sèches et une ampoule. Les encourager à apporter diverses sortes de lampes de poche et à les démonter. Étudier le rôle de chaque pièce. Essayer de connecter l'ampoule à la pile sèche sans utiliser le boîtier. Remonter la lampe. Les élèves seront invités à essayer de trouver quel est le circuit utilisé par le courant dans la lampe de poche, où le courant passe, où il est interrompu. Dans les lampes de poche en métal, le boîtier fait partie du circuit.

Dans une lampe torche à deux piles, les piles doivent être superposées de telle sorte que le fond de l'une touche le sommet de l'autre pour que le circuit soit correctement établi. Laisser les enfants tenter de placer les piles dans des positions



2.154 Fonctionnement d'une lampe torche

trique est fournie par des piles sèches, il est commode d'utiliser une table de montage élémentaire. Une planchette (ou une feuille de contre-plaque) de 30 x 30 cm servira de socle. Y fixer des attaches permettant de maintenir les piles en place; des languettes de métal formant ressort assureront les contacts entre les piles. Visser dans le socle des pitons à vis droits en laiton, comme le montre la figure : ils faciliteront le montage des circuits.

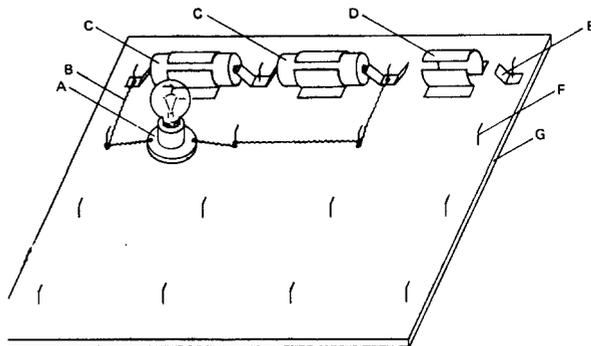


2.155

différentes afin qu'ils découvrent par eux-mêmes quelle est la meilleure (voir figure).

2.155 Conducteur ou isolant?

Demander aux enfants de réunir des matériaux afin de déterminer s'ils sont conducteurs ou isolants. On essaiera avec du papier, une gomme, un bouton en plastique, une clé, des pièces de monnaie, du tissu, de la ficelle, de la craie, du verre, un clou, une lime à ongles, du fil isolé, du fil dénudé, etc. Essayer ces matériaux en les insérant dans un circuit entre les bornes d'un interrupteur à couteau ouvert ou dans un dispositif construit comme celui de la figure. Les corps qui conduisent l'électricité sont appelés conducteurs. Ceux qui ne la conduisent pas sont dits isolants ou non conducteurs. Le cuivre d'un fil est un conducteur; sa gaine est un isolant. (Voir aussi expérience 2.59).



2.156

- A Support et douille de lampe
- B Conducteurs en tringle à ressort pour rideaux
- c Piles
- o Attaches à ressort (pinces à dessin)
- E Languettes métalliques à ressort
- F Pitons droits en laiton
- G Socle

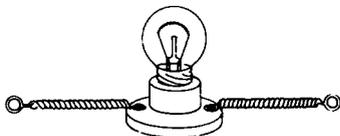
2.156 Table de montage

a) Pour toutes les expériences où l'énergie élec-

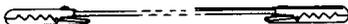
b) On peut faire des conducteurs élastiques à longueur variable en utilisant de la tringle à ressort pour rideaux (ou de la gaine de freins de vélo) et en fixant à l'extrémité de petits pitons à oeillet (voir figure).



c) On peut intercaler dans le circuit des douilles de lampe en utilisant en guise de conducteur de la tringle à ressort pour rideaux ou du gros fil de cuivre non isolé d'environ 1,5 mm de diamètre (voir figure).



d) On peut réaliser d'autres connexions avec du fil de cuivre non isolé fixé à des pinces crocodiles (voir figure).



2.157 Piles montées en série

A. Relier entre elles 2 piles sèches comme le montre la figure : noter qu'elles sont disposées de manière que la borne négative de l'une soit reliée à la borne positive de l'autre. Des piles reliées de cette manière sont dites montées en série.



B. Intercaler une ampoule de 4,5 volts dans le circuit, qui comportera successivement 1 seule pile, puis 2 piles en série, puis 3 piles en série. Remarquer l'effet sur la luminosité de la lampe.

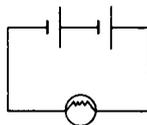
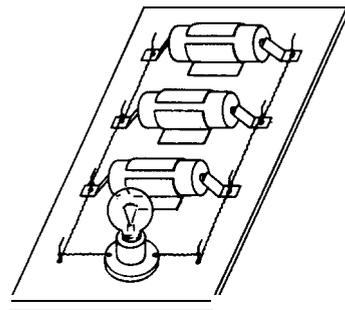


Schéma de montage montrant : 2 piles disposées en série et 1 lampe; la ligne courte renforcée représente la borne négative d'une pile et la ligne longue mince la borne positive

Quand des piles sont reliées de cette manière, le voltage total est la somme des voltages de chacune des piles. Par conséquent, si on utilise des piles de 1,5 volt, 2 piles donnent une tension de 3 volts, et 3 piles une tension de 4,5 volts.

2.158 Piles montées en parallèle

On peut relier des piles de telle sorte que toutes les bornes positives soient reliées entre-elles et toutes les bornes négatives également. On dit alors qu'elles sont en parallèle (voir figure). Pour étudier le fonctionnement de piles montées en parallèle,



il faut disposer d'une table de montage spéciale. Quel est l'effet produit sur la luminosité de la lampe lorsqu'on débranche l'une des piles? Y a-t-il une différence si l'on n'utilise qu'une seule pile?

Quand des piles sont montées en parallèle, la tension totale n'est pas plus forte que s'il n'y a qu'une seule pile; toutefois, l'intensité totale du courant disponible augmente avec le nombre de piles.

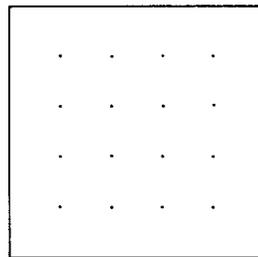
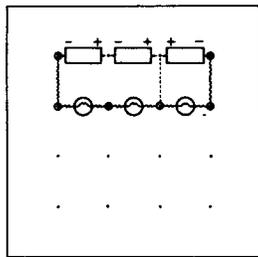
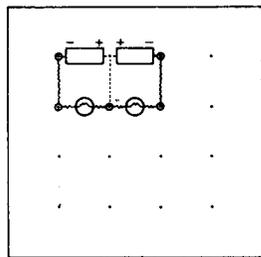
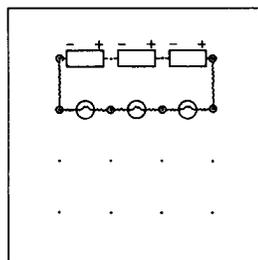
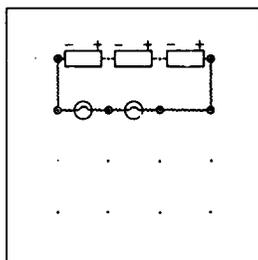
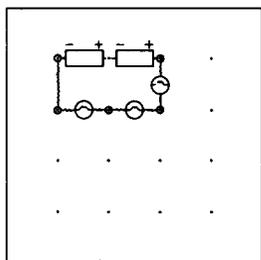
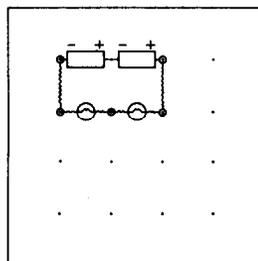
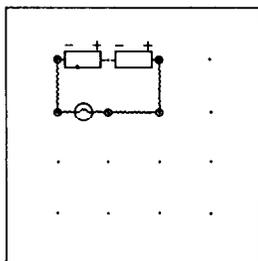
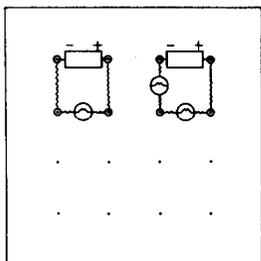
2.159 Circuits simples

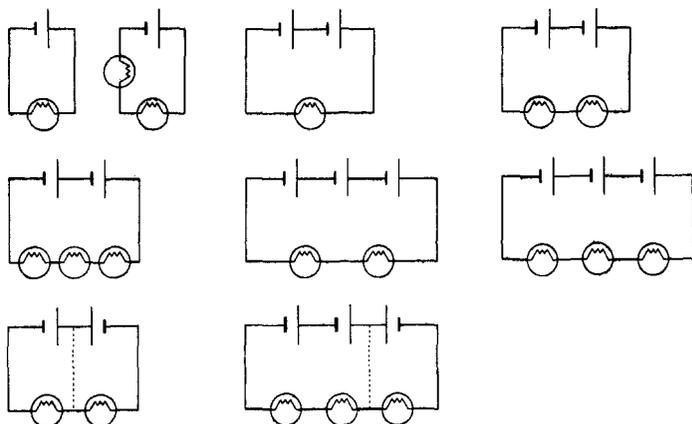
A. Lampes montées en série

Relier une pile et une ampoule de la façon indiquée dans le coin supérieur gauche de la figure. Remarquer la luminosité de l'ampoule. Monter ensuite les autres circuits dessinés sur la figure et comparer la luminosité des lampes selon les circuits réalisés. (Note. S'assurer que les ampoules sont sensiblement identiques avant de faire l'expérience, faute de quoi les résultats constatés n'auront guère de sens.) Ces « schémas de câblage »

sont utiles du point de vue pratique, mais il faut aussi que les élèves s'habituent peu à peu à comprendre des schémas théoriques : on apprendra donc à se servir des symboles normalisés tels qu'ils apparaissent dans les schémas de montage correspondants, représentés p. 106.

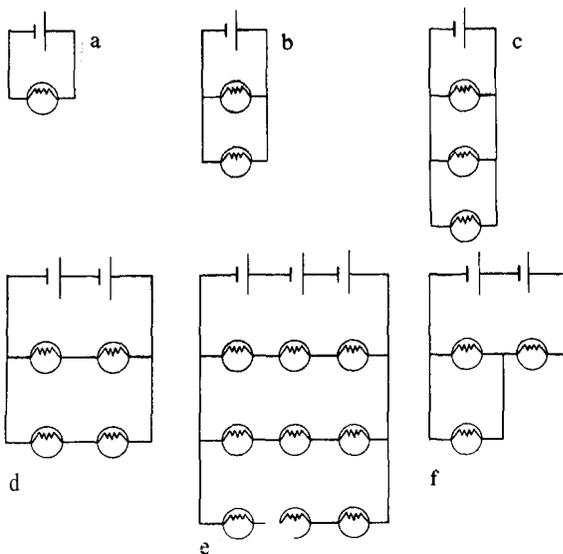
Quand des ampoules sont reliées en série, la tension totale est divisée entre elles. Si, par exemple, 3 ampoules identiques sont reliées en série à une pile de 3 volts, chaque ampoule recevra 1 volt.





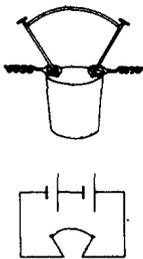
B. Lampes montées en parallèle

Observer les variations de luminosité des lampes quand elles sont reliées comme le montre la figure ci-dessous. Quand des lampes sont ainsi montées en parallèle, chacune d'elles reçoit la totalité de la tension d'alimentation. En *d* et en *e* des « chapelets » d'ampoules (en série) sont montés en parallèle par rapport à la pile. Ce type de montage est dit en série et en parallèle (ou mixte). Comment pourrait-on caractériser le montage dessiné en *f*



2.160 Fonctionnement d'un fusible

Examiner des fusibles normaux et des fusibles qui ont « sauté ». Les fusibles constituent l'une des sortes de dispositifs de sécurité employés pour protéger les circuits électriques de la surcharge. Le fil qui forme le fusible fond et coupe le courant

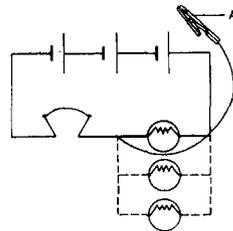


lorsque l'intensité atteint un niveau dangereux. Découper une petite languette de papier métallique (emballage de cigarettes, etc.), et la fixer aux extrémités de 2 fils électriques sortant d'un bouchon de liège; ou, encore, prendre un fil de laine d'acier dans un tampon à récurer. On obtient alors un fusible rudimentaire qui peut convenir pour piles sèches. Monter le circuit comme l'indique la figure et essayer différentes sortes et largeurs de languettes jusqu'à obtenir un modèle qui illustre le principe du fusible. (Naturellement, dans un montage normal, on ne placerait jamais les fusibles directement entre les bornes d'une alimentation !)

2.161 Emploi des fusibles

A. Intercaler le fusible type de l'expérience 2.160 dans un circuit comprenant 3 piles à un élément et 1 lampe (voir figure). Au moyen d'une pince crocodile, court-circuiter la lampe. Si le fusible ne fond pas, le remplacer par une languette plus mince. Essayer avec des languettes de nature et de largeur différentes, jusqu'à ce que la languette de papier métallique laisse passer le courant lorsque les branchements sont normaux, mais fonde lorsqu'il y a court-circuit. Puis remettre le fusible en place et ajouter des lampes montées en parallèle jusqu'à ce que le fusible saute.

B. Réfléchir aux dangers qui peuvent résulter d'une surcharge des installations électriques d'une maison du fait du branchement d'un trop grand nombre d'appareils sur un même circuit. Dans les maisons anciennes, les circuits ont été conçus pour des charges bien inférieures à celles qu'ils doivent

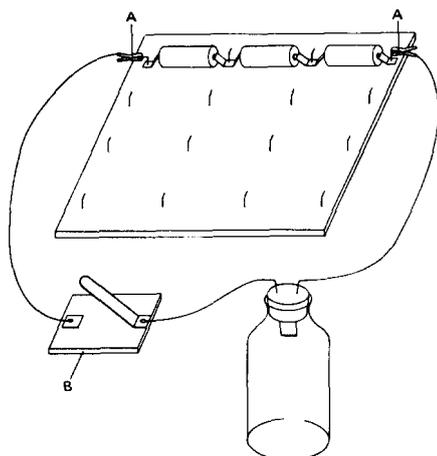


A Pince crocodile

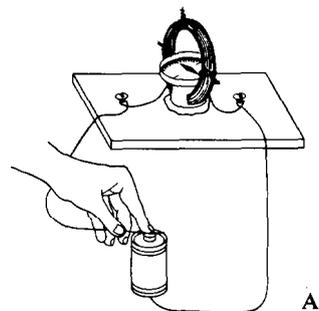
supporter aujourd'hui; si l'on utilise plusieurs appareils en même temps, il peut arriver que les fils conducteurs du courant soient surchauffés et provoquent un incendie. Montrer qu'il est dangereux de remplacer les fusibles par des pièces de monnaie ou d'utiliser des fusibles plus forts que ceux qui conviennent au circuit considéré : un fusible de 30 ampères placé sur un circuit conçu pour recevoir un fusible de 15 ampères est dangereux. Pour éviter les accidents, les appareils ne devraient être branchés que par des personnes compétentes.

2.162 L'électricité, source de chaleur et de lumière

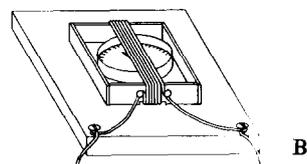
Dans un bouchon de liège plat qui s'adapte à une petite bouteille, enfiler les extrémités de deux bouts de fil de sonnette. On obtiendra un bouchon plat de l'épaisseur voulue en coupant un bouchon plus long; on peut aussi utiliser un bouchon de caoutchouc à deux trous. Enrouler les extrémités d'un filament de fer très fin (extrait d'un fil tressé, par exemple) autour des extrémités des fils de cuivre qui dépassent du bouchon, et placer celui-ci dans le goulot de la bouteille (voir figure) : on obtiendra ainsi une lampe électrique très primitive. Relier cette lampe élémentaire à un circuit comprenant une ou plusieurs piles sèches et un interrupteur. Fermer l'interrupteur et attendre



A Pince crocodile
a Interrupteur



A



B

que le filament commence à rougir, puis ouvrir l'interrupteur. En prenant quelques précautions, on pourra allumer et éteindre la lampe plusieurs fois avant que le filament ne soit brûlé, mais le fil de fer chauffé finit par se combiner à l'oxygène de l'air contenu dans la bouteille, et se consumer. Les ampoules du commerce ne contiennent pas d'oxygène et le filament de tungstène est porté à une température suffisamment élevée pour qu'il devienne incandescent sans se consumer. L'ampoule de verre a non seulement pour objet de protéger le filament, mais aussi d'éviter les brûlures et les chocs électriques, donc de permettre d'utiliser la lampe en toute sécurité.

2.163 Dispositif simple pour mettre en évidence le passage du courant électrique

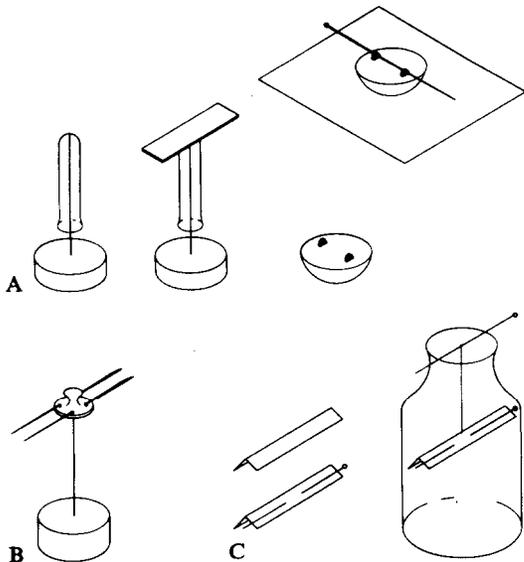
Se procurer du fil de sonnette à gaine de coton et l'enrouler soigneusement 50 à 60 fois autour d'un bocal d'environ 8 cm de diamètre pour former une bobine. Faire glisser cette bobine pour la dégager du bocal, et la consolider par de petits morceaux de fil de cuivre ou d'adhésif, puis la monter sur un socle en bois. On fera un petit support destiné à recevoir une boussole (voir figure A) en prenant un bouchon percé d'un trou par ou

passera la bobine, et en collant l'ensemble au socle de l'appareil avec de la cire à cacheter ou de la colle. Mettre la boussole sur ce bouchon et faire pivoter la bobine jusqu'à ce qu'elle soit dans le même plan que l'aiguille magnétique. Brancher la bobine sur une pile sèche et observer la déviation de l'aiguille de la boussole. Intervertir les bornes et observer ce qui se passe. On peut réaliser un instrument plus sensible en fabriquant, avec une boîte à cigares, un petit cadre dans lequel la boussole tiendra tout juste. On mettra la boussole dans ce cadre, autour duquel on enroulera 20 tours de fil de sonnette, comme l'indique la figure B.

Magnétisme

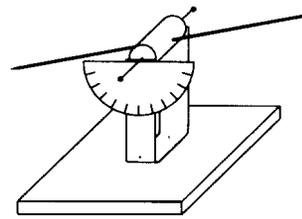
2.164 Aiguilles de boussoles rudimentaires

A. Aimanter un morceau de ruban d'acier ou de ressort de montre en y frottant un aimant. Pour l'utiliser comme aiguille aimantée, il faut le faire reposer sur un pivot dont le frottement soit le plus faible possible. On peut y parvenir de plusieurs manières. Sceller à la flamme l'extrémité d'un court tube de verre (2 cm) et en coiffer une épingle piquée dans un bouchon ou un bout de bois. Col-



2.165 *Mesure de l'inclinaison magnétique*

Passer une aiguille à tricoter en acier dans un bouchon, parallèlement au diamètre. Enfoncer des épingles aux extrémités du bouchon pour former un axe et mettre le tout en équilibre, horizontalement, sur un chevalet en U constitué d'une lame de cuivre (voir figure). Retirer l'ensemble de ce support, et aimanter l'aiguille à tricoter sans déranger le bouchon. Quand on aura remis le tout sur le chevalet, on constatera qu'une pointe de



ler la lamelle d'acier au tube à la colle forte ou à la plasticine, et la régler de manière qu'elle pivote librement et sans être déséquilibrée (voir figure A). On peut aussi faire reposer l'aiguille de boussole sur le dôme métallique d'un vieux bouton hémisphérique (habituellement recouvert de tissu) : on fera passer l'aiguille dans les deux oeillets et on fera reposer le dôme sur une plaque de verre ou toute autre surface lisse.

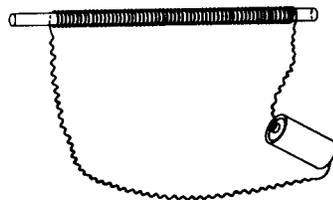
B. On peut aussi réaliser une aiguille aimantée rudimentaire avec deux aiguilles à coudre aimantées qu'on fera passer dans les trous d'un grand bouton-pression. Celui-ci peut être placé en équilibre sur une autre aiguille dont le chas sera enfoncé dans un bouchon (figure B). Si l'on utilise un bouton-pression plus petit, il faudra serrer le collet avec des pinces pour faire passer les aiguilles dans les petits trous.

C. Autre solution : faire passer une aiguille aimantée à travers un morceau de carton et suspendre l'ensemble à un fil, de façon qu'il se trouve en équilibre (voir figure C). Coller (avec de la gomme ordinaire ou de la gomme laque) une petite flèche en papier à l'extrémité de l'aiguille qui s'oriente vers le Nord.

l'aiguille est attirée vers le sol par le champ magnétique terrestre : un rapporteur permettra de mesurer cet angle d'inclinaison. On peut encore suspendre l'aiguille aimantée en équilibre dans un mince tube de caoutchouc que traverse perpendiculairement une épingle servant d'axe. Deux cartes postales séparées par des bouchons fixés à l'aide de punaises serviront de supports. On peut repérer l'inclinaison par un trait de crayon et la mesurer après coup.

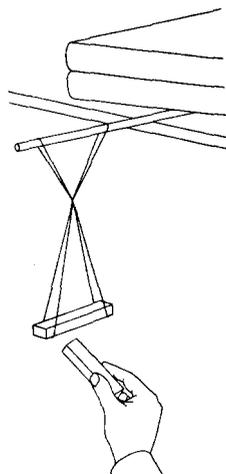
2.166 *Bobine d'aimantation*

Pour aimanter des aiguilles à tricoter en acier, on peut utiliser un bout de tube de verre ordinaire autour duquel on enroulera en spires serrées du fil de cuivre isolé. Le courant nécessaire sera fourni par une pile de lampe torche qu'on évitera de laisser branchée trop longtemps (voir figure).



2.167 Aimant en suspension libre

Placer un aimant en suspension libre dans un étrier : ce dernier pourra être constitué de deux boucles de fil de coton disposées de façon à maintenir l'aimant comme l'indique la figure. On pourra alors s'amuser à étudier les phénomènes d'attraction et de répulsion des aimants : l'action des forces est sensible à la main. On évitera toutefois de heurter les aimants l'un contre l'autre ou de les obliger à se rapprocher malgré la force de répulsion : à la longue, cela affaiblirait leur aimantation. Approcher chacun des pôles de l'aimant qu'on tient à la main des pôles de l'aimant suspendu pour voir si les pôles identiques s'attirent ou se repoussent (voir figure).



2.168 Aimants naturels

L'oxyde magnétique de fer est assez répandu dans différentes parties du monde. Se procurer un morceau de ce minerai de fer : c'est un aimant naturel. Saupoudrer une feuille de papier blanc de limaille de fer ou de fragments de laine d'acier et observer l'attraction exercée par le minerai magnétique. Essayer de soulever des objets plus lourds en fer : attaches trombones, semences, etc. Approcher le morceau de minerai d'une boussole et observer ce qui se passe. Est-ce que toutes les parties du mor-

ceau de minerai agissent sur la boussole de la même manière?

2.169 Comment se procurer des aimants artificiels

Des aimants artificiels puissants et pratiques pour l'étude du magnétisme peuvent être récupérés dans de vieux haut-parleurs de radio, de vieux écouteurs de téléphone ou de vieux compteurs de vitesse d'automobiles. On peut aussi acheter des aimants dans le commerce et chez les marchands d'appareils scientifiques. Les aimants artificiels se présentent sous des formes diverses : en fer à cheval ou en U; ou bien droits ou en barre.

2.170 Identification des substances magnétiques

Réunir divers petits objets en papier, cire, laiton, zinc, fer, acier, nickel, verre, liège, caoutchouc, aluminium, cuivre, or, argent, bois, étain, etc. Les approcher d'un aimant pour voir lesquels sont attirés et lesquels ne le sont pas. Approcher un fil de fer doux et une corde de piano d'acier dur de l'aiguille aimantée d'une boussole pour voir si celle-ci est attirée.

2.171 Pôles magnétiques

Casser 6 cm de fil d'acier neuf et passer sur sa longueur, une seule fois et de bout en bout, l'une des extrémités d'un aimant. Essayer le magnétisme de ce fil sur de la limaille de fer : La limaille est-elle attirée uniformément sur toute la longueur du fil? Les zones où l'attraction est la plus forte sont appelées pôles.

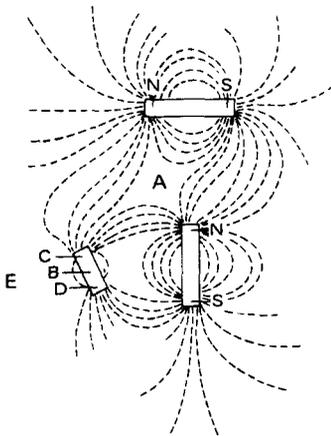
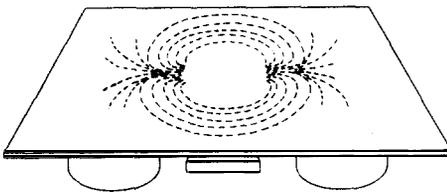
2.172 Que se passe-t-il quand on casse un aimant?

Prendre un morceau de fil d'acier aimanté et fixer une flèche de papier à son pôle nord. Casser le fil en deux et voir si on obtient un pôle tout seul. Faire des essais avec les deux extrémités de chaque morceau et noter les résultats observés, en s'attachant particulièrement au signe du magnétisme constaté de chaque côté de la cassure. Casser un petit morceau - de quelques millimètres seulement - de l'aimant en fil d'acier, et l'éprouver à la limaille de fer s'il est trop court pour être éprouvé à la boussole. A quel résultat pourrait-on s'attendre si on pouvait faire la même chose avec une seule particule d'aimant réduit en poussière?

2.173 Spectres magnétiques (à deux dimensions)

A. Mettre un aimant droit sur la table d'expériences. Saupoudrer une feuille de carton mince de limaille de fer et placer ce carton au-dessus de l'aimant, en le faisant reposer sur un support de façon qu'il ne touche pas l'aimant. En tapotant le carton au moyen d'un crayon, on verra se dessiner le spectre du champ magnétique. (On peut obtenir de la limaille en écrasant de la laine d'acier ou en limant la pointe d'un clou maintenu dans un étou.)

B. En disposant de différentes manières des aimants sur la table, on pourra observer des spectres de champs magnétiques curieux (voir figure).



- A Zone neutre
- B Fer doux
- c Pôle S (obtenu par induction)
- D Pôle N (obtenu par induction)
- E Zone abritée

On aura peut-être envie de conserver les meilleurs tracés. A cette fin, on peut, à condition de travailler en chambre noire, remplacer le bristol

par du papier photographique sur lequel on enverra une lumière vive. Il sera ensuite développé de la manière habituelle. On peut également pulvériser sur les figures dessinées par la limaille de fer de l'encre noire ou du vernis : utiliser pour cela un vaporisateur à parfum ou un petit pistolet à peinture.

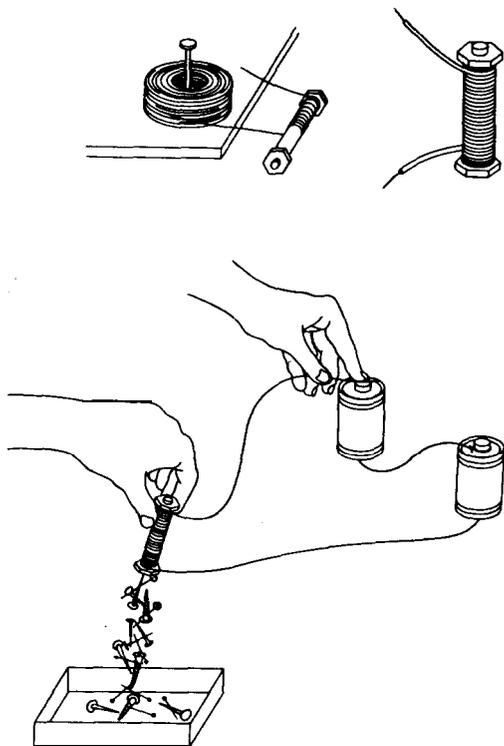
2.174 Spectres de champs magnétiques (à trois dimensions)

Prendre un petit bocal de verre qui ferme hermétiquement. Mettre au fond une cuillerée de limaille de fer. Ajouter de l'huile ou un liquide visqueux et agiter pour que la limaille entre en suspension. Si l'huile est trop épaisse, la fluidifier avec un peu de liquide miscible afin que la limaille reste en suspension dans le mélange obtenu. Si l'on place des aimants le long des parois du bocal, on obtiendra des configurations de limaille à trois dimensions. Pour obtenir un résultat plus durable, on peut remplacer l'huile par du plastique liquide et le laisser ensuite se solidifier.

Electromagnétisme

2.175 Electro-aimants cylindriques

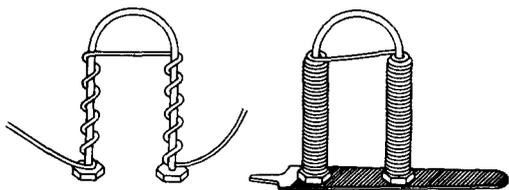
Se procurer un boulon en fer d'environ 5 cm de long, pourvu d'un écrou et de deux rondelles. Placer une rondelle à chaque bout et visser l'écrou à l'extrémité du boulon. Enrouler plusieurs épaisseurs de fil de sonnette isolé sur le boulon, entre les rondelles, en réservant environ 30 cm de fil avant de commencer l'enroulement. Après avoir bien rempli l'espace entre les rondelles, sur plusieurs épaisseurs, laisser de nouveau dépasser environ 30 cm de fil. Tordre les deux extrémités du fil près des deux extrémités du boulon et enrouler un peu d'adhésif à cet endroit pour empêcher le fil de se dérouler. Dénuder les extrémités du fil et relier l'électro-aimant ainsi obtenu à deux piles sèches montées en série (voir figure). Prendre quelques semences et des pointes et les faire attirer par l'électro-aimant. Alors que les semences sont collées à l'aimant, débrancher un des fils. Soulever d'autres objets en fer ou en acier. Mettre le contact et approcher les pôles de l'électro-



aimant d'une boussole pour repérer leur signe. Intervenir les bornes et repérer le signe des pôles une nouvelle fois.

2.176 Électro-aimants en fer à cheval

Se procurer un long boulon assez mince ou une tige de fer d'environ 5 mm de diamètre et de 30 cm de long. Les courber en U. Enrouler plusieurs épaisseurs du fil de sonnette sur chaque branche de l'aimant en laissant libre la partie courbe, comme l'indique la figure. Commencer par l'extrémité d'une des branches et laisser



dépasser quelque 30 cm de fil pour les branchements. Enrouler environ 3 épaisseurs sur le premier pôle, puis passer à l'autre pôle et enrouler le fil exactement comme le montre la figure, c'est-à-dire dans l'autre sens. Faire aussi environ 3 épaisseurs d'enroulement sur ce deuxième pôle. Pour terminer, assujettir le fil avec de l'adhésif afin qu'il ne se déroule pas. Dénuder les extrémités des fils et les relier à deux piles sèches. Éprouver les pôles de l'électro-aimant : l'un d'eux doit être + ou nord et l'autre - ou sud; s'ils ont la même polarité, c'est que le deuxième enroulement a été fait dans le mauvais sens; il faut donc recommencer en inversant le sens des spires. Essayer de soulever différents objets avec cet électro-aimant et comparer sa force avec celle de l'aimant déjà construit.

2.177 Comment éprouver la force des électro-aimants

Enrouler 25 spires de fil de sonnette sur un boulon de fer droit et relier les extrémités du fil à une pile sèche. Compter le nombre de petits clous ou semences qu'on peut soulever avec cet électro-aimant : faire trois essais et prendre la moyenne des nombres de semences soulevées. Recommencer en utilisant deux piles montées en série. Puis, enrouler 25 spires de plus dans le même sens, les relier aux 25 autres, et recommencer les mesures en utilisant d'abord une, puis deux piles et des semences. Pour terminer, enrouler encore 50 spires - ce qui fera 100 spires au total - et recommencer l'expérience avec une pile, puis deux. En complément à cette expérience, dérouler 50 spires et les réenrouler en sens inverse. Mesurer la force obtenue avec 100 spires enroulées de cette manière, en reliant l'aimant aux deux piles.

2.178 Champ magnétique engendré par le passage de courant dans un fil

Percer un trou au centre d'un petit rectangle de carton blanc et passer perpendiculairement à travers ce trou quelque 25 cm de fil de cuivre d'environ 0,45 mm de diamètre; ce fil sera relié aux bornes d'une pile sèche ou d'une alimentation en courant continu basse tension: Fixer le rectangle de carton à l'horizontale. Fermer le circuit et sau-

poudrer le carton de limaille de fer. Tapoter légèrement avec un crayon et observer la formation des lignes de champ. Retirer la limaille de fer et explorer la surface à l'aide d'une petite boussole traceuse. On intervertira les branchements pour étudier l'effet produit sur l'aiguille de la boussole.

2.179 *Champ magnétique à l'intérieur d'une bobine droite sans noyau*

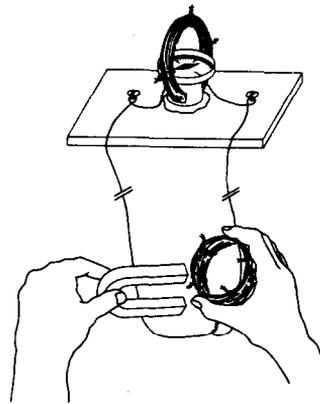
Il s'agit maintenant d'explorer le champ magnétique à l'intérieur d'une bobine sans noyau. Enrouler 5 spires espacées sur un cylindre de bois, puis dégager l'enroulement du cylindre et le faire passer dans des trous percés dans un carton ; relier les extrémités aux bornes d'une alimentation en courant continu basse tension ou d'une pile sèche

(voir figure). Saupoudrer le carton de limaille de fer, surtout à l'intérieur de l'enroulement. Faire passer le courant et tapoter le carton : on peut voir encore une fois se dessiner les lignes de champ. On peut aussi utiliser, après avoir enlevé la limaille, une boussole traceuse. L'enroulement employé dans cette expérience est aussi appelé « solénoïde ». (Si l'enroulement est fait de nombreuses spires serrées, on l'appelle « solénoïde à spires serrées ». En utilisant le même dispositif que ci-dessus, mais avec un solénoïde à spires serrées, on pourra faire une comparaison entre le champ magnétique d'un aimant droit et le champ magnétique extérieur du solénoïde.)

2.180 *Production d'électricité au moyen d'un aimant et d'une bobine*

Il sera nécessaire de disposer, pour cette expérience, de l'un des détecteurs de courant décrits plus haut (2.163). Faire un enroulement d'environ 50 spires de fil de sonnette et le brancher au

détecteur de courant par un fil suffisamment long pour que l'enroulement et l'aimant à utiliser soient à bonne distance de l'aiguille magnétique du détecteur. Faire passer l'enroulement autour de l'un des pôles d'un aimant permanent en fer à cheval et observer l'aiguille de la boussole tandis que l'enroulement se déplace dans le champ magnétique. Éloigner l'enroulement du pôle et observer l'aiguille. Passer l'enroulement autour

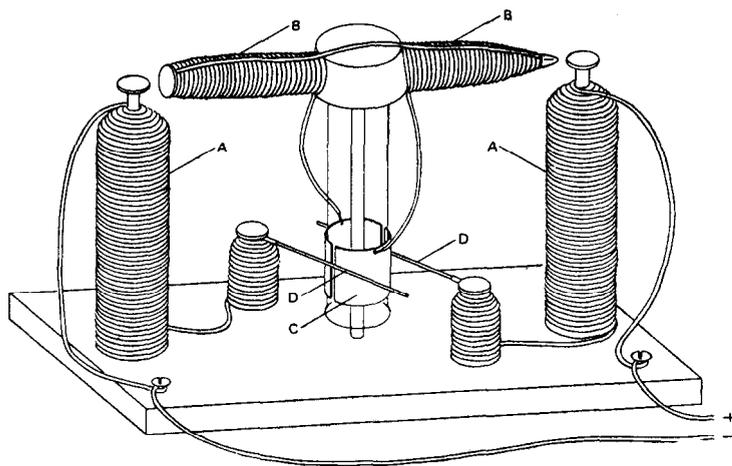


de l'autre pôle de l'aimant et le retirer, puis maintenir l'enroulement et enfoncer un pôle de l'aimant entre les spires, au milieu de l'enroulement. Toutes les fois que l'enroulement coupe les lignes d'un champ magnétique, il est parcouru par un courant électrique.

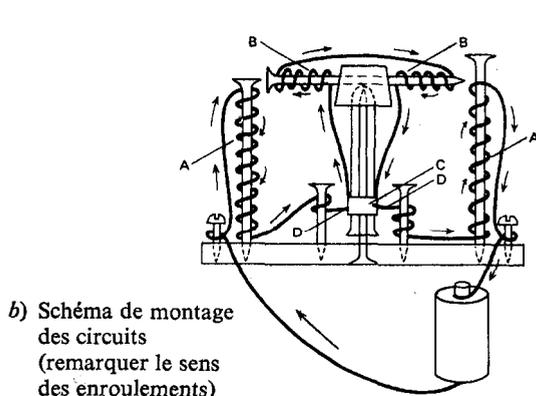
2.181 *Moteur électrique rudimentaire*

Dans ce modèle simplifié, le courant fourni par une pile sèche excite les électro-aimants produisant le champ magnétique, tout en passant dans les spires de l'induit. Prévoir une planchette de 20 x 25 cm qui servira de socle. Percer un petit trou en son centre et y faire passer une tige pointue de 15 cm. Enrouler soigneusement 100 spires de fil de sonnette isolé autour de deux autres pointes de 15 cm, en réservant environ 30 cm de fil libre pour les branchements. Enfoncer ces pointes dans le socle, à 15,5 cm l'une de l'autre. Sur la diagonale du socle, et à 5 cm de la pointe centrale, enfoncer deux petites pointes. Dénuder

2.181 Moteur électrique simple

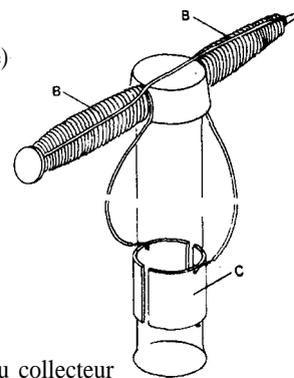


a) Montage d'ensemble



b) Schéma de montage des circuits (remarquer le sens des enroulements)

- A Électro-aimants
- B Induit (40 spires pour chaque pôle)
- C Collecteur
- D Balais



c) Détail du collecteur

les extrémités de chacun des enroulements et les enrouler plusieurs fois autour des pointes, puis recourber l'extrémité pour qu'elle vienne au contact de la pointe centrale : les deux extrémités constitueront les balais du moteur. On veillera à ce que les enroulements soient faits dans le bon sens. La figure *b* donne le schéma complet des enroulements avec leurs sens. Si on ne respecte pas cette disposition, le moteur ne fonctionnera pas. On peut fixer les autres extrémités des fils à des vis plantées aux coins du socle. Les électro-aimants et les balais qui constituent deux des quatre pièces essentielles d'un moteur sont désormais en place. Il reste à monter l'induit et le collec-

teur. Percer un trou transversalement dans un bouchon de liège de 4 cm de diamètre et y coincer une pointe de 13 cm. Enrouler environ 40 spires de fil de sonnette isolé autour de chacune des extrémités de la pointe en respectant les indications de la figure pour le sens des enroulements. Dénuder les extrémités libres. Creuser proprement le centre du bouchon et arrondir les bords au canif pour y insérer le fond d'un tube à essai de 10,5 ou 13 cm, de manière qu'il y soit bien ajusté : le bobinage de l'induit est prêt. On peut maintenant construire le collecteur. Découper dans de la feuille de cuivre deux morceaux rectangulaires d'environ 4 cm de long et d'une lar-

geur suffisante pour entourer le tube à essai en laissant entre eux un espace d'environ 6 mm de part et d'autre. Les recourber autour du tube. Y percer de petits trous dans lesquels on soudera ou l'on attachera les deux extrémités libres et dénudées des enroulements de l'induit. Puis mettre en place ces collecteurs en les assujettissant solidement en haut et en bas avec de l'adhésif. Le rotor, qui se compose d'un induit et d'un collecteur, est prêt. Le mettre en place sur son arbre vertical et mettre les balais en contact avec le collecteur. Faire tourner le tube à essai dans son bouchon de manière que les balais reposent sur les fentes du commutateur au moment où l'induit est dans le même plan que les électro-aimants.

Après s'être assuré que les enroulements et les branchements sont bien conformes aux indications fournies, relier le moteur à une ou deux piles et donner une petite impulsion à l'induit : le moteur doit démarrer à bon régime. S'il ne démarre pas, vérifier si les balais donnent bien un contact léger, mais suffisant. Peut-être aussi faut-il modifier leur inclinaison. Pour cela, dégager les balais des pointes où ils sont fixes et les maintenir légèrement, avec les doigts, contre les plaques du collecteur; en les gardant parallèles, on les fera pivoter pour leur donner différentes inclinaisons, tandis qu'un aide fera tourner l'induit à la main. Repérer l'endroit qui donne à l'induit la plus grande vitesse et disposer les balais ainsi.

Mouvements ondulatoires

Production des ondes

2.182 *Observation de la propagation des ondes le long d'une corde*

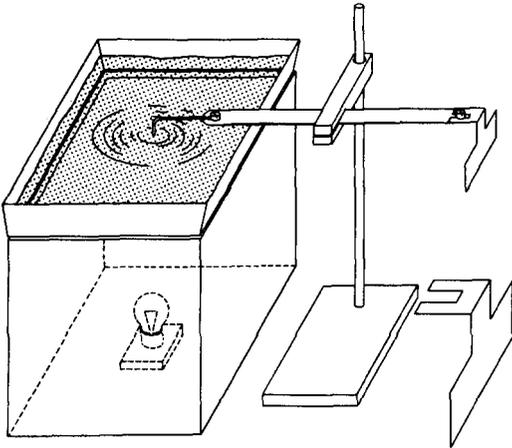
Apporter en classe une certaine longueur de corde d'étendage. Demander aux enfants s'ils connaissent une manière de faire voyager des ondes le long de cette corde. Le laisser faire et observer par eux-mêmes quel est le procédé qui donne les meilleurs résultats. Demander ensuite à un des enfants d'attacher une extrémité de la corde au bouton d'une porte ou à un arbre et de tendre la corde de manière qu'elle ne touche pas le sol. Il essaiera ensuite de provoquer des ondulations amples et faciles à distinguer en imprimant à l'extrémité de la corde un mouvement rythme de haut en bas - pour obtenir des ondes verticales - et de droite à gauche - pour obtenir des ondes horizontales. Un autre enfant sera invité à donner des coups de baguette bien rythmés sur la corde. Est-ce que les enfants voient nettement les ondes? (Pour les observer, le mieux est de se placer sur le côté, à l'une des extrémités de la corde.) Le mouvement ressortira mieux encore si on fixe de loin en loin sur la corde de petits morceaux de tissu de

couleurs vives. Expliquer aux enfants que, maintenant qu'ils ont vu les ondes produites sur la corde, il va falloir se poser la question suivante : « Comment se sont-elles produites? » On les encouragera à avancer leurs propres théories. Cela peut servir d'introduction à la notion d'apport d'énergie.

2.183 *Aménagement d'un bac pour l'étude de la formation des ondes surface la surface des liquides*

Dans le fond d'une cuve à développement photographique d'environ 30 x 45 cm, découper une fenêtre rectangulaire de façon à laisser tout autour un encadrement d'environ 2,5 cm de large. Y fixer une vitre transparente en la collant avec un mastic d'étanchéité et laisser sécher. Le bac ainsi préparé peut être utilisé de deux manières.

A. Se procurer une boîte en carton d'environ 30 x 30 x 45 cm. Découper une ouverture circulaire de 15 cm de diamètre au centre de l'un des côtés rectangulaires. Peindre en noir mat l'intérieur de la boîte. Pour avoir une source ponctuelle de lumière, fixer une ampoule de phare d'auto avec sa douille sur un cube de bois de



7,5 cm de côté. Placer le bac sur l'ouverture circulaire aménagée dans la boîte et y verser de l'eau jusqu'à 5 mm de profondeur environ. Faire l'obscurité dans la pièce et allumer l'ampoule (voir figure). Observer les ombres circulaires projetées au plafond lorsqu'on fait tomber une goutte d'eau dans l'eau du bac à l'aide d'une pipette ou d'un compte-gouttes. Si le dessin de ces ombres est déformé du fait de la réflexion des ondes sur les rebords du bac, on fixera sur le pourtour de celui-ci, et de manière qu'elles plongent dans l'eau, des gorges de baguettes d'encadrement de profil incliné (ou de la mousse plastique). Si la vibration de l'ensemble du bac entraîne la formation de rides parallèles à ses bords, on le posera sur une bande de caoutchouc mousse ou de feutre. On peut obtenir des trains d'ondes continus en plongeant dans l'eau l'extrémité d'un vibreur. Pour réaliser ce vibreur, prendre une lame de scie à métaux de 30 cm et fixer à l'une de ses extrémités, à l'aide d'une borne à vis d'appareil électrique ou d'un petit boulon, un morceau de gros fil de cuivre. Recourber ce fil de cuivre à angle droit par rapport au plan de la scie, et le couper à 2,5 cm environ. Serrer solidement la lame, par son milieu, dans la pince d'un support, et la placer de telle sorte que l'extrémité du fil plonge dans l'eau du bac. Donner un coup sec à l'autre extrémité de la lame de scie et observer les ondes produites par

le fil de cuivre. Découper une plaquette de fer-blanc en forme de T et la fixer de la même manière à l'extrémité libre de la lame de scie : plongeant dans la cuve, elle servira à produire des ondes planes. Coller une boulette de pâte à modeler sur la lame à proximité du fil de cuivre, pour que le dispositif soit équilibré : grâce à cette précaution, on peut prolonger la vibration pendant très longtemps.

B. On peut également poser le bac sur des pieds et mettre la source lumineuse au-dessus de lui. Les rides se verront plus facilement si l'on met au-dessous du bac une grande feuille de papier blanc ou une planchette peinte en blanc. Il faudra régler la hauteur de la lampe pour que les ombres obtenues soient bien nettes. La profondeur d'eau idéale est de l'ordre de 5 mm : au-dessous de 3 mm, les ondes commencent à s'amortir et à se dissiper à une faible distance du point de formation, mais les réflexions ne sont pas gênantes; au-dessus de 6 mm, les réflexions produites sur les rebords du bac peuvent devenir très gênantes. Des « versants » en toile métallique donnent des réflexions multiples quoique faibles, mais elles risquent de gêner davantage qu'une seule réflexion forte et nette obtenue en l'absence de toile métallique. Si l'on peut faire l'obscurité dans la pièce, on verra d'autant plus nettement les ondes produites. Sinon, utiliser de préférence une ampoule de 45 watts comme source de lumière. Pour commencer, demander aux élèves de mettre environ 0,5 cm d'eau dans le bac et d'essayer de trouver tout ce qu'il y a à dire sur la formation des ondes qu'ils obtiendront en plongeant les doigts dans l'eau. Faire comprendre aux élèves que les dessins « écossais » qu'on provoque en heurtant les bords du bac sont trop compliqués pour qu'on puisse les étudier scientifiquement, bien qu'ils soient très jolis à regarder.

2.184 Ondes circulaires simples dans un bac

Provoquer la formation d'une seule ride au centre du bac, puis en provoquer plusieurs autres en succession. Utiliser : a) le doigt; b) la pointe d'un crayon; c) une goutte d'eau donnée par un compte-gouttes.

2.185 Ondes rectilignes simples

On peut produire ce genre d'impulsions à l'aide d'une baguette de bois cylindrique. Lui imprimer un mouvement alternatif d'avant en arrière en la faisant rouler sur elle-même dans le bac : si on prolonge cette manoeuvre, on obtient des ondes continues. Les ondes sont assez molles à côté de la baguette, mais elles deviennent plus nettes à mesure qu'on s'en éloigne. Si le filament de l'ampoule est disposé parallèlement à leurs crêtes, elles se dessineront plus nettement.

2.186 Réflexion des ondes sur une barrière rectiligne

Observer ce qui se passe quand une vaguelette (impulsion) rencontre un des bords du bac. Comparer selon qu'il s'agit : a) d'une onde circulaire; b) d'une onde rectiligne qui heurte l'obstacle de front (c'est-à-dire selon la normale); c) d'une onde rectiligne qui rencontre l'obstacle obliquement (c'est-à-dire selon un angle d'incidence différent de la normale). Éviter de choisir un angle d'incidence de 45° , car il est alors plus difficile de voir le rôle de l'angle d'incidence. Essayer avec un angle d'incidence nettement plus petit et un angle nettement plus grand.

2.187 Réflexion sur un obstacle curviligne

Essayer de faire réfléchir une onde sur un obstacle courbe : celui-ci sera représenté par un tuyau de caoutchouc courbé approximativement en forme de parabole. Pour faciliter la courbure du tuyau et sa fixation dans le bac, on y introduira un gros fil de cuivre avant de le courber.

2.188 Réfraction des ondes

Pour étudier la transmission des ondes à travers un milieu apparemment « différent », placer une plaque de verre au centre du bac. A l'aide d'une pipette, régler le niveau de l'eau pour qu'elle recouvre tout juste la plaque de verre. Remarquer que la distance entre les crêtes des vagues (la longueur d'onde) diminue lorsque celles-ci passent au-dessus de la plaque. De plus, la vitesse de propagation de l'onde est moins grande en eau peu profonde (sur la plaque) qu'en eau plus profonde (sous la plaque). On peut également s'ap-

puyer sur cette expérience pour étudier la relation entre la vitesse de propagation des ondes, la longueur d'onde et le nombre d'ondes produites par seconde (fréquence).

La manière dont s'effectue la réfraction des ondes dépend de la forme de la plaque de verre et, en utilisant des plaques de formes différentes, on pourra étudier la réfraction sur une surface unique, ainsi que le rôle des prismes et des lentilles.

2.189 Diffraction par une ouverture étroite percée dans un obstacle

On peut observer la diffraction provoquée par une fente unique en laissant un espace de 2 cm ou moins entre deux obstacles placés dans un bac à ondes. Il convient de placer ces obstacles à 5 cm environ du vibreur décrit à propos de l'expérience 2.183. Pour des fréquences élevées, on ne verra les ondes qu'à condition d'utiliser un stroboscope. On constatera que les ondes qui contournent les extrémités des obstacles sont gênantes et il faudra donc les arrêter en disposant des obstacles latéraux. A fréquence élevée, les obstacles eux-mêmes peuvent se mettre à vibrer, ce qui entraîne des effets trompeurs : on essaiera d'empêcher un tel phénomène. Modifier la largeur de l'espace pour montrer que la diffraction est plus réduite si l'ouverture est plus grande.

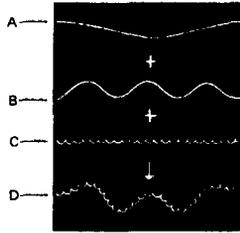
Le son

2.190 Formes des ondes sonores

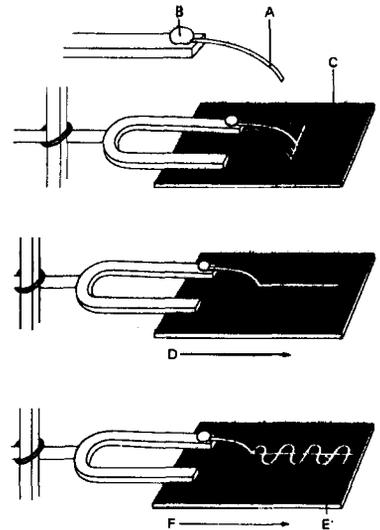
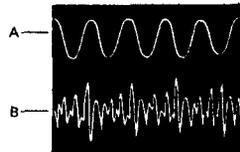
Le nombre d'oscillations (ou de vibrations) complètes par seconde est la fréquence d'un phénomène vibratoire donné. Des fréquences sonores différentes se combinent d'une manière analogue à celle des ondes à la surface d'un liquide. Les vagues de l'océan sont très espacées, donc de basse fréquence. Supposons qu'un petit bateau à moteur se déplace sur ces ondes : il envoie ses propres ondes, dont la fréquence est plus élevée que celle des ondes de l'océan. Supposons qu'il y ait une petite brise : elle aussi envoie de toutes petites ondes ou vaguelettes à la surface des ondes provoquées par le bateau à moteur. Habituellement, ces vaguelettes auront une fréquence

2.191

- 2.190A** Tracés des ondes de l'océan
 A Vague de l'océan
 B Vague provoquée par un bateau
 C Vaguelettes (effet de brise)
 D Combinaison des trois



- 2.190B** Tracés des ondes sonores
 A Note pure
 B Combinaison de fréquences différentes



encore plus élevée que les deux autres. Ces trois vibrations vont se combiner pour former un dessin analogue à celui de la figure A.

De même, les ondes sonores de fréquences différentes émises par des instruments différents se combineront pour donner des tracés d'ondes sonores (figure B).

2.191 Tracé donné par un diapason à branches

Fixer, à l'aide de cire à cacheter, un petit morceau de fil métallique mince à l'une des branches d'un diapason. Tenir fermement le diapason par sa tige à l'horizontale au-dessus de la table. Fumer une petite plaque de verre à la flamme d'une lampe à pétrole ou d'une bougie. Placer ce verre enfumé sous la branche du diapason munie de la pointe de fil de métal recourbée de manière à toucher le verre. Faire vibrer le diapason du doigt et tirer la plaque de verre sur la table à une vitesse suffisante pour que le diapason y dessine une ligne ondulante (voir figure).

Refaire l'expérience en faisant glisser la plaque à des vitesses différentes et en utilisant des diapasons différents.

2.192 Comment voir et sentir les vibrations qui produisent les ondes sonores

Voici un certain nombre de manipulations permettant de mettre en évidence les vibrations qui

2.191 Tracé donné par la vibration d'un diapason

- A Fil métallique fin
 B Cire à cacheter
 C Plaque de verre enfumée posée sur une table (le diapason vibre)
 D Plaque enregistreuse en mouvement (le diapason ne vibre pas)
 E Ligne de base
 F Plaque enregistreuse en mouvement (le diapason vibre)

affectent des surfaces et produisent des ondes sonores.

1. Étirer et pincer des bracelets de caoutchouc et les cordes d'instruments à cordes disponibles.
2. Placer une règle sur le rebord d'une table en la laissant dépasser d'environ 15 cm et la faire vibrer.
3. Poser un tambour sur une table et y éparpiller des grains de blé ou de riz soufflé : frapper le tambour et observer la danse des grains.
4. Appuyer le pouce et l'index sur le larynx et émettre un son grave : on sentira la vibration émise par la voix.
5. Prendre un diapason par le manche et frapper le bord du pupitre avec les branches : qu'est-ce qu'on entend? Recommencer et, cette fois-ci, plonger rapidement l'extrémité des bran-



ches dans une casserole d'eau : Que se passe-t-il? Le diapason en vibration projette l'eau en éclaboussures.

- Clochette faite avec une cuiller. Couper un mètre de cordonnet de coton, tenir les extrémités et, dans la boucle ainsi faite, suspendre en équilibre une cuiller à café. S'introduire les extrémités du cordonnet dans les oreilles en appuyant avec le bout des doigts et se pencher pour que la cuiller et sa suspension se balancent librement. Demander à quelqu'un de donner un petit coup sur la cuiller avec une pointe ou une autre cuiller : on entendra un son semblable à un son de cloche. Les ondes sonores remontent le long du cordonnet jusqu'aux oreilles.

2.193 Boîtes à conserves vibrantes

A. Percer un petit trou dans le fond d'une vieille boîte à conserves. Y faire passer une ficelle solide ou du fil de pêche, dont l'extrémité sera solidement fixée à un crayon placé à l'intérieur de la boîte. Enduire la ficelle de résine ou de colophane. Prendre la boîte dans une main et tenir le fil bien tendu entre deux doigts. Frotter la ficelle en longueur avec les doigts : la boîte émet un son. Recommencer l'expérience en passant les doigts sur la ficelle à des vitesses différentes et remarquer la hauteur différente des sons obtenus.

B. On peut réaliser un téléphone rudimentaire avec deux vieilles boîtes à conserves dont les couvercles auront été découpés soigneusement et nettement. Percer, dans le fond de chaque boîte, un petit trou où l'on fera passer l'extrémité de plusieurs mètres de cordonnet fin joignant les deux boîtes et fixé, à l'intérieur de celles-ci, à deux allumettes ou à deux crayons. Tendre fortement le fil et écouter un élève parlant à l'autre bout de la ligne. Les ondes sonores voyagent le long du fil et atteignent le fond de la boîte, qui joue le rôle de diaphragme (ou membrane). Les vibrations de cette membrane transmettent les ondes sonores à l'oreille à travers l'air. Décrire ce qui se passe quand on parle dans ce téléphone.

2.194 Les ondes sonores se propagent à travers le bois

Pour montrer que les ondes sonores se propagent à travers le bois, demander à un enfant d'appuyer l'oreille à une extrémité d'une table; un autre élève donnera quelques petits coups de règle ou de crayon à l'autre bout.

2.195 Étude des matériaux qui absorbent le son

Vérifier les propriétés d'absorption du son de petits morceaux de caoutchouc, d'éponge, de feutre et d'autres matériaux. A cette fin, placer l'objet à étudier sur une table de bois, puis actionner un diapason et faire reposer le manche du diapason sur le matériau considéré. Actionner de nouveau le diapason et placer le manche sur le bois nu : Où obtient-on le son le plus fort? Soumettre tous les matériaux étudiés à la même épreuve.

2.196 Le son ne se propage pas dans le vide

Pour démontrer que le son ne se propage pas dans le vide, il faut d'abord aspirer l'air contenu dans un grand bocal ou tout autre récipient approprié (bonbonne par exemple). Si l'on ne dispose pas d'une machine pneumatique ou d'une pompe à vide, on peut en improviser une à partir d'une pompe de bicyclette. Démontez la pompe et retirez le piston. Dévissez l'écrou qui tient les rondelles de cuir et retourner ces rondelles pour inverser le sens de la soupape, puis les remettre en

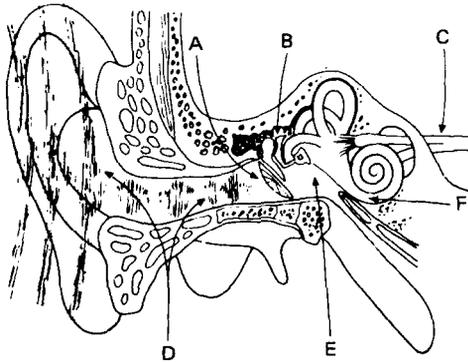
place et remettre le piston dans le cylindre (voir aussi expérience 2.309).

Mettre une petite clochette dans le bocal ou dans la bonbonne et agiter celle-ci alors qu'elle est encore pleine d'air : le son de la clochette s'entendra très clairement. A l'aide de la pompe ou de la machine pneumatique, aspirer autant d'air qu'il sera possible et agiter de nouveau la bouteille : Est-ce qu'on entend encore la clochette? Comment cela peut-il s'expliquer?

2.197 Fonctionnement de l'oreille

Les vibrations de l'air pénètrent dans l'oreille par le conduit auditif, fermé au fond de l'oreille par la membrane du tympan. Elles mettent en mouvement cette membrane, qui entraîne une chaîne de trois osselets fixée à elle; elles atteignent ainsi une cavité située dans l'os et appelée l'oreille interne.

Une partie de l'oreille a la forme d'une coquille d'escargot. C'est là que se trouve l'organe qui reçoit les vibrations sonores et qui est relié au cerveau par le nerf auditif. Une autre partie de l'oreille interne, qui comprend trois canaux semi-circulaires et sert à assurer l'équilibre, ne joue aucun rôle dans l'audition (voir figure).



Fonctionnement de l'oreille

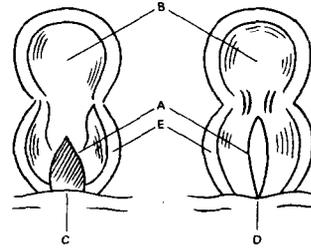
- A Vibration du tympan
- B Marteau et enclume
- c Nerf auditif
- D Oreille externe
- E Oreille moyenne
- F Oreille interne (canaux semi-circulaires), limaçon

Les vibrations sonores sont normalement transmises au canal cochléaire (ou limaçon, à cause de sa forme) par l'intermédiaire du tympan et de la chaîne des osselets (de là, le nerf auditif fait parvenir le message jusqu'au cerveau); mais la transmission peut également s'effectuer par l'intermédiaire des os de la boîte crânienne. Nous entendons un son quand les ondes parviennent au canal cochléaire par l'un ou l'autre de ces deux trajets.

Quand un son frappe nos deux oreilles, nous pouvons reconnaître la direction dont il vient : s'il vient d'en face, les vibrations atteignent en même temps les deux oreilles et avec la même force, mais si le son se produit d'un seul côté de nous, une de nos deux oreilles se trouve plus éloignée de lui que l'autre, et les ondes ne l'atteignent que légèrement plus tard et avec une intensité plus faible.

2.198 L'émission de la voix

L'émission de la voix fait intervenir tout à la fois la bouche, les dents, la langue, la gorge et les poumons. Le son est produit par la vibration de deux fines nappes membraneuses appelées cordes



- A Cordes vocales
- B Épiglote
- c Respiration ordinaire
- D Émission de voix
- E Larynx

vocales. Ces « lèvres » sont tendues en travers de la cavité sonore appelée larynx. Le larynx constitue la partie supérieure de la trachée-artère et se

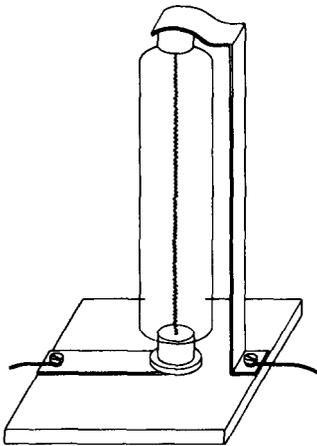
trouve tout au fond de la gorge, à la base de la langue. A cet endroit, une sorte de trappe cartilagineuse appelée l'épiglotte se referme automatiquement sur le larynx quand on avale, de sorte que les aliments ne passent pas dans la trachée (voir figure). Quand les cordes vocales sont tendues sous l'action de certains muscles de la gorge, il n'y a plus entre elles qu'une fente étroite : c'est le passage de l'air à travers cet étroit interstice qui oblige les cordes à entrer en vibration, ce qui entraîne une vibration de l'air dans la trachée, les poumons et les cavités de la bouche et du nez.

La lumière

Production de la lumière

2.199 Sources utilisables

N'importe quelle petite ampoule électrique de forte puissance pourvue d'un filament court et rectiligne constituera une source de lumière de faible encombrement : les ampoules de feux arrière des automobiles sont particulièrement indiquées. Fixer l'ampoule sur un socle isolant



Source lumineuse à basse tension

muni d'une douille adaptée au voltage employé, et protéger toutes les bornes nues contre un contact accidentel ou un court-circuit. Si l'on a besoin d'une source presque ponctuelle (pour obtenir des ombres très nettes), placer la lampe de telle sorte que le filament soit orienté « en bout », tout en évitant les ombres portées des fils qui le tiennent. Pour les expériences d'optique, les ampoules des indicateurs de direction ou des éclairages intérieurs des voitures constitueront des sources de lumière rectilignes et à basse tension particulièrement pratiques. On peut fabriquer un support commode pour ces ampoules à basse tension avec une plaque de contre-plaqué; des languettes de fer-blanc agrafées sur le bois, ou tenues par des bornes à vis, pourront assurer le contact électrique avec les culots. On peut réaliser une source rectiligne fonctionnant sur la tension domestique avec un tube à incandescence non dépoli; on pourra également utiliser des ampoules de projecteurs de vues fixes de 35 mm ou de projecteurs de cinéma 8 mm ou super-8 (voir figure).

2.200 Source de rayons lumineux

Coiffer la source de lumière d'une petite boîte à conserves. Faire l'obscurité dans la pièce. Percer sur tout le pourtour de la boîte des trous de 1 à 2 mm de diamètre. Envoyer de la fumée autour de la boîte pour rendre visibles les rayons lumineux qui en sortent. Faire suffisamment de trous pour qu'on puisse voir nettement d'où vient la lumière et dans quelle direction elle va.

Réflexion de la lumière

2.201 Rayons réfléchis

Présenter un peigne à la lumière du soleil de telle sorte que les rayons solaires passent entre les dents et tombent sur un carton blanc posé à plat sur une table. Incliner le carton pour que la longueur des rayons soit de plusieurs centimètres. Interposer un miroir verticalement sur le trajet des rayons, de manière qu'il coupe les rayons en diagonale : remarquer que les rayons qui frappent ce miroir sont réfléchis selon le même angle. Faire pivoter le miroir et observer le mouvement des rayons réfléchis.

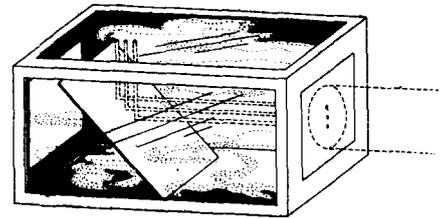
2.202 Confection d'une boîte à fumée pour l'étude des rayons lumineux

Se procurer ou fabriquer une boîte en bois d'environ 30 cm de largeur sur 60 cm de longueur. Adapter des vitres sur le dessus et sur l'avant de la boîte. Laisser le fond ouvert, comme l'indique la figure, et le munir d'un tissu noir drapé comme un rideau : ce rideau doit comporter deux panneaux qui doivent se superposer sur environ 10 cm au milieu de la boîte. Peindre l'intérieur de la boîte en noir mat. A peu près à mi-hauteur d'une des extrémités et à environ 8 à 10 cm de la face antérieure en verre, découper une fenêtre de 10 cm de haut sur 5 cm de large : c'est par là que doivent pénétrer les rayons lumineux. Pour obturer cette fenêtre, on peut utiliser différentes sortes de couvercles découpés dans du carton et maintenus par des punaises. Découper un morceau de carton, y faire 3 trous équidistants d'environ 5 mm de diamètre et fixer ce carton sur la fenêtre avec des punaises. Remplir la boîte de fumée, en mettant dans une soucoupe placée dans un coin de la boîte un peu de papier en train de se consumer. Installer ensuite une lampe torche ou un projecteur à 1 m environ de la fenêtre. Obtenir un faisceau de rayons parallèles et le diriger sur les trous de la

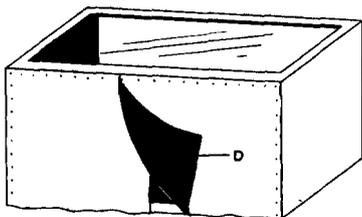
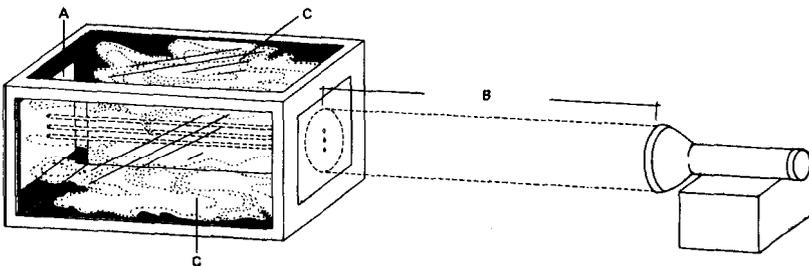
fenêtre : la fumée permet de voir les rayons lumineux à l'intérieur de la boîte (voir figure).

2.203 Étude de la réflexion régulière dans la boîte à fumée

Remplir la boîte de fumée. Envoyer le pinceau lumineux émis par la lampe torche sur les 3 trous de la fenêtre, puis placer un miroir plan à l'intérieur de la boîte sur le trajet des rayons et remar-



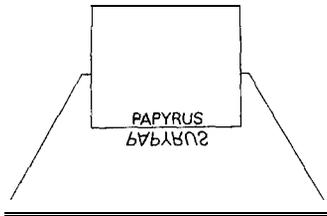
quer à quel point ceux-ci restent nets après réflexion sur le miroir. Lorsque les rayons sont ainsi réfléchis sans diffusion, on dit qu'il y a réflexion régulière. Déplacer le miroir pour modifier l'angle de réflexion (voir figure).



- 2.202 Boîte à fumée
A Carton blanc
B Environ 1 m
C Couvercle et face antérieure en verre
D Rideau noir

2.204 Écriture à l'envers

Pour écrire à l'envers, mettre un papier carbone, côté carboné en dessus, sous une feuille de papier ordinaire : si on écrit sur le papier, le carbone donne une écriture à l'envers sur l'autre face. Lire cette écriture inversée en la plaçant devant une glace (voir figure). Ecrire quelque chose en regardant l'image du papier dans la glace et y observant le mouvement du crayon.

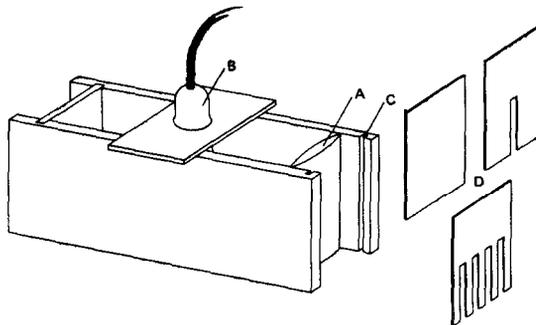


2.205 Confection d'une boîte à rayons pour l'étude des rayons lumineux

L'appareil est constitué par les deux côtés d'une boîte oblongue de 22 x 6 cm, assemblés, par exemple, par des tiges métalliques de 5 mm de

Une ampoule de phare d'automobile de 24 watts sous 12 volts constitue la source lumineuse. La douille de la lampe est tenue dans un manchon en laiton qui s'ajuste dans le trou d'une glissière en bois formant le couvercle de la boîte. Prévoir une rainure devant la lentille pour y placer des écrans ou des filtres. Un carton pourvu d'une fente laissera passer un étroit pinceau lumineux et l'on obtiendra un faisceau de rayons en utilisant un peigne à faux-bois de peintre-décorateur. Selon le réglage de la lampe dans la glissière, on aura des rayons convergents, parallèles ou divergents. A l'aide de petits miroirs plans, de blocs de verre et de prismes on pourra réaliser toutes les expériences classiques. En courbant une plaque de fer-blanc, on obtiendra un miroir donnant une courbe caustique.

Pour les manipulations portant sur les lentilles ou sur la réfraction, il faudra enfoncer l'ampoule aussi loin que possible dans la boîte afin que la lumière ne passe pas au-dessus de l'obstacle. Pour les manipulations sur le banc d'optique, on pourra utiliser comme source de lumière un carton percé d'un trou placé devant la lentille et sur lequel se croiseront deux fils métalliques.



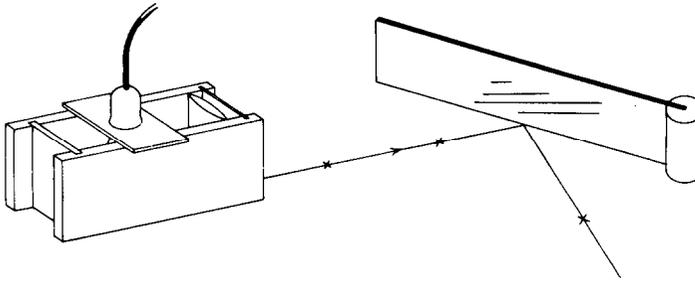
2.205 Boîte à rayons

- A Lentille
- B Lampe
- C Rainure pour écrans
- D Écrans

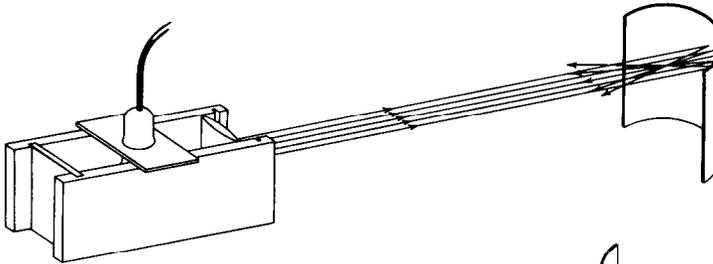
diamètre, de manière à constituer une boîte sans fond; à l'une de ses extrémités est placée une lentille. Pour l'utilisation, la boîte sera posée sur du papier fixe sur une planche à dessin (voir figure).

2.206 Étude des lois de la réflexion à l'aide de la boîte à rayons

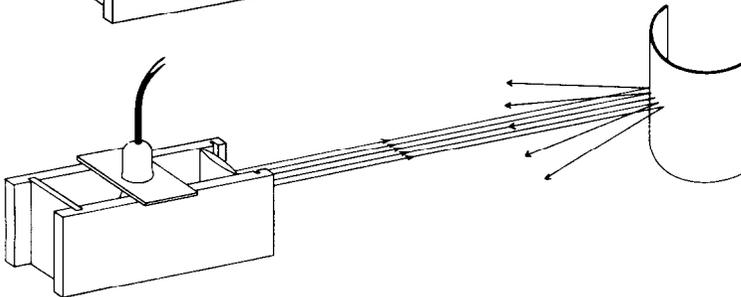
Faire tenir debout un petit miroir en l'insérant dans un bouchon où l'on aura fait une rainure, ou



2.206 Étude de la réflexion avec la boîte à rayons



2.207 Réflexion sur un miroir concave



2.208 Réflexion sur une surface convexe

encore à l'aide d'une pince à dessin. Les rayons de lumière issus de la boîte décrite ci-dessus se projettent sur le papier où l'on peut jalonner leur trajet par des croix. Les rayons incidents et les rayons réfléchis, ainsi que la normale, seront matérialisés en joignant les croix par des traits de crayon (voir figure).

2.207 Étude de la réflexion sur un miroir concave à l'aide de la boîte à rayons

On utilisera la boîte à rayons décrite précédemment. Pour réaliser un miroir concave, on peut prendre un ruban de fer-blanc ou une partie d'un manchon ou anneau métallique. On peut mesurer directement la distance focale du miroir en y envoyant un pinceau de rayons parallèles (voir figure).

2.208 Réflexion sur une surface convexe

Se procurer un miroir convexe, réflecteur de phare d'automobile par exemple. Étudier la réflexion à l'aide de la boîte à rayons et observer les rayons de lumière réfléchi (voir figure). Comparer avec la réflexion sur un miroir plan et sur un miroir concave.

Réfraction de la lumière

2.209 Étude du spectre à l'aide de la boîte à rayons

En envoyant un pinceau de rayons parallèles sur un prisme en verre, on obtiendra un spectre satisfaisant. Placer un carton percé d'une fente étroite devant la lentille d'une boîte à rayons de lumière (voir fig. 2.205). Si l'on intercale des filtres de gélatine colorés ou des écrans en plastique coloré

sur le trajet des rayons, certaines couleurs seront supprimées. Par exemple, si l'on interpose un filtre transparent violet, on ne verra plus sur l'écran que des raies rouges et bleues (voir aussi expériences 2.220 et 2.221).

2.210 Action du prisme sur les rayons lumineux

Placer un prisme de verre sur le trajet d'un pinceau de rayons parallèles et observer la réfraction des rayons. Faire pivoter le prisme sur son axe.

2.211 Action des lentilles sur les rayons lumineux

Prendre les verres d'une vieille paire de lunettes ou les lentilles de vieux instruments d'optique, ou encore acheter des loupes ordinaires. Obturer la fenêtre d'une boîte à fumée avec un carton noir percé de trois trous alignés verticalement. Les trous doivent être équidistants, mais la distance entre les deux trous les plus éloignés doit être un peu inférieure au diamètre de la lentille utilisée. Envoyer des rayons parallèles à l'aide d'une lampe de poche. Remplir la boîte de fumée et y placer une lentille biconvexe sur le trajet des trois rayons lumineux de façon que le rayon central frappe le centre de la lentille. Observer les rayons émis de l'autre côté de la lentille : Comment sont-ils modifiés? Recommencer l'expérience en utilisant une lentille biconcave.

2.212 Mise en évidence de la réfraction à l'aide de la boîte à fumée

Sur la fenêtre de la boîte à fumée, fixer un carton noir percé d'un seul trou carré d'environ 8 mm de côté. Avec une lampe torche, envoyer un pinceau de lumière dans la boîte. Remplir d'eau une grande bouteille prismatique et ajouter quelques gouttes de lait ou une pincée d'amidon ou de farine pour que l'eau devienne laiteuse. Boucher la bouteille. Remplir la boîte de fumée. Placer la

bouteille perpendiculairement au rayon de lumière et observer la direction prise par la lumière qui traverse l'eau. Puis donner à la bouteille différents angles d'inclinaison et observer les modifications du trajet de la lumière (voir figure).

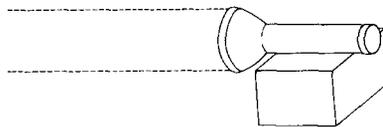
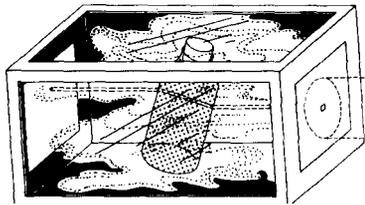
2.213 La réfraction de la lumière et ses applications

A. Plonger un bâton dans un grand bocal d'eau de manière qu'une partie du bâton reste au-dessus de la surface. Remarquer que le bâton semble brisé à l'endroit où il pénètre dans l'eau. C'est que les rayons lumineux sont cassés ou réfractés quand ils passent de l'eau dans l'air.

B. Mettre une pièce de monnaie au fond d'une tasse vide posée sur une table. Se placer à une certaine distance, de telle manière que le rebord de la tasse cache tout juste la pièce de monnaie. Garder le même angle de vision et demander à une autre personne de verser lentement de l'eau dans la tasse : Que remarque-t-on? Comment l'expliquer?

2.214 Trajet de la lumière dans l'eau

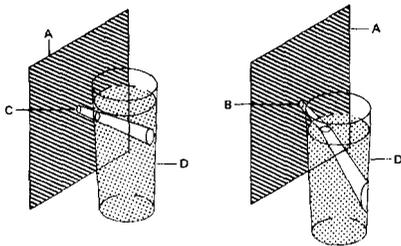
Il s'agit ici de suivre le trajet d'un rayon lumineux à travers une cuve remplie d'eau. Une lentille convergente placée à une distance convenable devant la source lumineuse enverra des rayons parallèles sur un écran percé d'un petit trou d'un ou 2 cm de diamètre : on aura ainsi un pinceau horizontal étroit. Il sera dirigé sur un des petits côtés de la cuve, celle-ci étant remplie d'eau additionnée d'un peu de fluorescéine ou de lait. Les élèves observeront le pinceau de lumière par la face antérieure de la cuve. En projetant un peu de fumée ou de poussière de craie dans l'air, on pourra également rendre le rayon de lumière visible avant son entrée ou après sa sortie de la



cuve. Les élèves peuvent aussi regarder le rayon par l'autre petit côté de la cuve, en suivant son trajet pour voir s'il est rectiligne.

2.215 Réfraction de la lumière passant de l'air dans l'eau

Mettre quelques gouttes de lait dans un verre d'eau pour la troubler. Percer un petit trou dans un rectangle de carton ou de papier noir. Exposer le verre aux rayons directs du soleil et tenir le carton verticalement devant le verre de manière qu'un rayon de soleil passe par le trou. Pour commencer, tenir le carton de telle sorte que le trou soit juste au-dessous du niveau de l'eau et observer la direction prise dans l'eau par le rayon (voir figure). Puis, soulever le carton jusqu'à ce que le rayon frappe la surface de l'eau (voir figure).



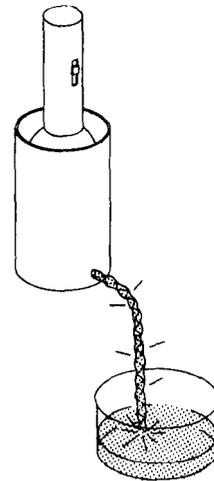
Réfraction de la lumière

- A Carton
- B Trou au-dessus du niveau de l'eau
- C Trou au-dessous du niveau de l'eau
- D Eau laiteuse

Observer le trajet du rayon et étudier l'influence de l'angle sous lequel le rayon frappe la surface de l'eau sur la direction de son trajet dans l'eau,

2.216 Comment « verser » de la lumière

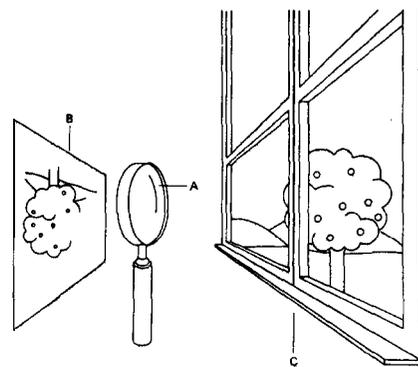
Faire un trou près du fond d'un récipient et y adapter un bouchon. Remplir le récipient aux trois quarts d'eau. Tenir une lampe torche dans le récipient de sorte que toute la lumière soit envoyée dans l'eau. Puis, en chambre noire, retirer le bouchon et laisser l'eau couler dans l'évier : on aura l'impression que la lumière se déverse dans l'évier avec l'eau. En réalité, c'est que certains rayons lumineux se réfléchissent dans tous



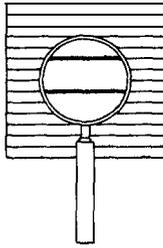
les sens à l'intérieur de la veine d'eau qui coule et la suivent ainsi jusqu'à l'évier. D'autres rayons sont réfractés jusqu'aux yeux des observateurs.

2.217 Image donnée par une lentille convexe

Obturer toutes les fenêtres d'une pièce, à l'exception d'une seule. Demander à un élève de présenter une lentille devant cette fenêtre et de l'orienter, parallèlement à la fenêtre, en direction du paysage extérieur. Approcher lentement une feuille de papier blanc de la lentille jusqu'à ce que l'image se forme. Que remarque-t-on en ce qui concerne le sens de l'image? (Voir figure.)



- A Loupe
- B Carton blanc
- C Fenêtre



2.218 Mesure de l'agrandissement donné par une loupe

Orienter une loupe au-dessus de papier réglé et mettre au point. Comparer le nombre d'interlignes vus sur le pourtour de la lentille pour un seul interligne vu à travers celle-ci : la loupe de la figure grossit trois fois.

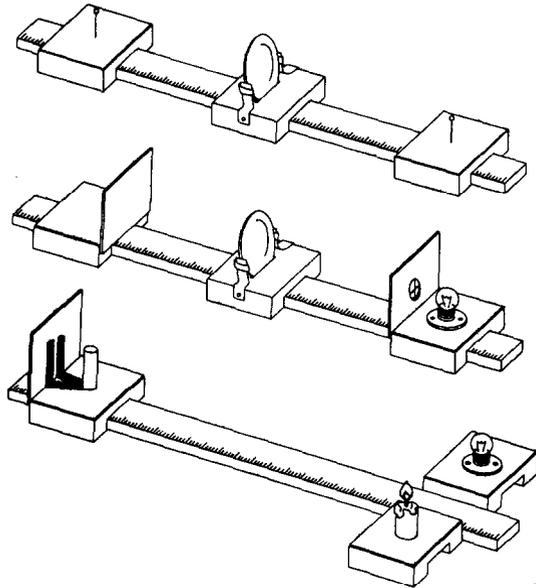
2.219 Dispositif simple pour l'étude des lentilles

Pour réaliser un banc d'optique, il suffit de disposer d'une surface stable et plane, de supports pour les miroirs et les lentilles, et d'un moyen pratique de mesurer les distances (voir figure).

Une règle graduée posée à plat sur la table d'expériences est l'élément de base de ce dispositif simple. Des blocs de bois entaillés de façon à s'adapter sur cette règle peuvent servir de supports. Une plaque de liège ou de carton mou collée sur ces blocs permettra d'y piquer des épingles servant d'objets ou de repères. Des languettes de fer-blanc vissées sur les côtés pourront tenir les lentilles. Celles-ci seront maintenues par une rainure creusée sur l'un des blocs et l'on pourra consolider la fixation à l'aide de bouts de tube de caoutchouc passés autour des languettes.

On peut improviser des sources lumineuses et des écrans en fixant aux blocs des ampoules de lampes de poche et des rectangles de carton. Il est préférable de fabriquer plusieurs exemplaires de ce dispositif, afin que les élèves puissent mener eux-mêmes divers travaux sur les lentilles. Il est très facile de faire les rainures au ciseau après avoir donné deux traits de scie dans le bois.

On peut utiliser cet appareil pour déterminer la distance focale des lentilles (distance du centre optique de la lentille au point où des rayons lumi-

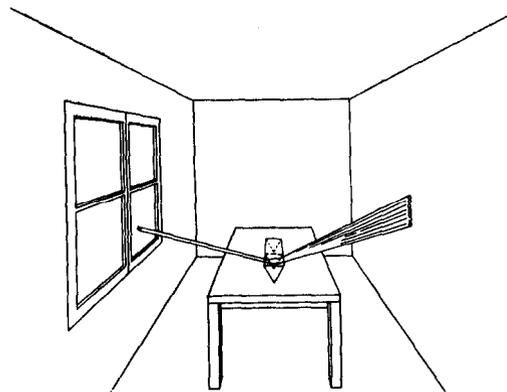


neux parallèles à l'axe convergent) et pour faire des expériences portant sur les interférences et la diffraction.

La couleur

2.220 Couleur de la lumière du jour

Faire l'obscurité dans une pièce exposée au soleil. Faire un petit trou rond dans le store pour laisser



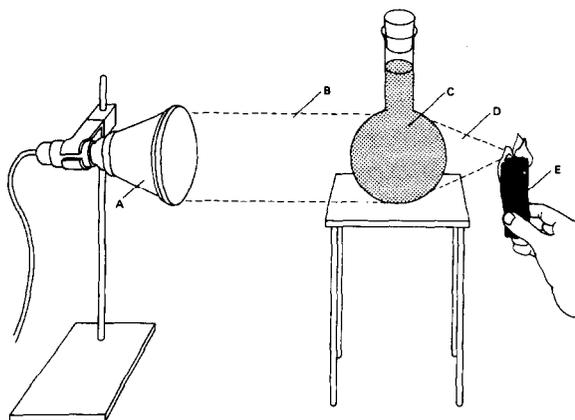
passer un mince rayon de lumière. Placer un prisme de verre sur le trajet de ce rayon et observer la bande multicolore, appelée spectre, qui se projette sur le mur opposé ou sur le plafond (voir figure). Placer une loupe dans la lumière colorée située derrière le prisme, du côté opposé à la lumière solaire blanche : Quel est l'effet produit sur la bande colorée projetée sur le mur? (Voir aussi expériences 2.209 et 2.221.)

2.221 Production d'un spectre lumineux sans prisme

Exposer un bac rempli d'eau en plein soleil. Y plonger un miroir de poche rectangulaire et l'appuyer obliquement contre le rebord du bac en réglant son inclinaison jusqu'à ce qu'une bande colorée ou spectre se projette sur le mur.

2.222 Emploi de réseaux de diffraction pour des expériences sur la couleur

On peut obtenir ce genre d'objet à très bon marché sous la forme de plastique transparent très finement rayé. On trouve aussi des réseaux de diffraction chez tous les marchands d'appareillage scientifique. Le rôle de ces réseaux est de décomposer la lumière blanche pour donner des spectres brillants. Pour obtenir un bon résultat, il faut employer une source de lumière très vive et ponctuelle ou linéaire, que les enfants observeront à travers les réseaux de diffraction. Placer un tube à incandescence à filament vertical mince sur le pupitre : chacun des enfants qui regardera cette ligne de lumière verticale à travers le réseau verra de magnifiques spectres colorés dont les couleurs seront très faciles à identifier. Les enfants trouveront aisément d'eux-mêmes l'ordre des couleurs dans le spectre-rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet. Le même réseau de diffraction peut être utilisé pour observer les belles raies brillantes des spectres colorés donnés par la lumière des lampes fluorescentes ou des enseignes au néon. Ces raies brillantes sont caractéristiques des éléments chimiques contenus dans les gaz des tubes et servent à les reconnaître. Ce fait est exploité dans le spectroscope, l'un des instruments scientifiques les plus utiles. (Voir expérience 4.101.)



- A Lampe à infrarouges
- B Lumière visible
- C Solution opaque d'iode dans du tétrachlorure de carbone
- D Rayons infrarouges invisibles
- E Du papier noir s'enflamme

2.223 Utilisation de rayons infrarouges

Les lampes spéciales qui dispensent de la chaleur et sont utilisées pour soulager les douleurs musculaires produisent des rayons infrarouges, dont la longueur d'onde est supérieure à celle de la lumière visible. La figure montre comment produire des rayons infrarouges et comment les concentrer en un point à la manière des rayons de la lumière visible. La solution iodée intercepte la lumière visible, mais laisse passer les rayons infrarouges de plus grande longueur d'onde.

L'aptitude des rayons infrarouges à traverser cette solution explique leur utilisation pour la prise de photographies aériennes par temps de brouillard et de brume.

2.224 Utilisation de la lumière ultraviolette

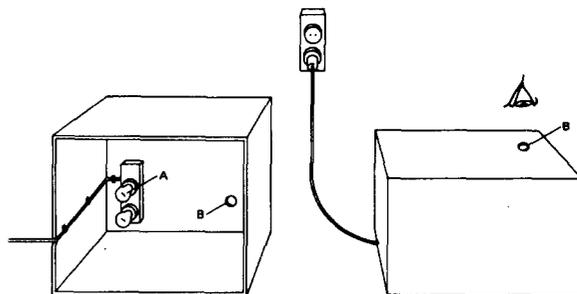
Une source de lumière ultraviolette permet de mettre en évidence des phénomènes de fluorescence. Des sources de ce genre sont vendues par les sociétés spécialisées dans les appareils scientifiques, mais on peut aisément en construire une qui fasse l'affaire pour les travaux pratiques à mener en classe. Pour commencer, fixer 2 douilles

de lampe électrique à un socle en matière isolante qui sera fixé au fond d'une boîte en carton dont on aura enlevé le couvercle. Y placer 2 ampoules à argon émettant de l'ultraviolet (voir figure). Monter ces deux lampes en parallèle en veillant à ne pas laisser de fil à nu et faire une entaille sur le côté de la boîte pour le passage du fil. Mettre la boîte la tête en bas et découper un trou dans ce qui forme maintenant le dessus : c'est par ce trou qu'on fera les observations, afin d'éviter que les yeux ne reçoivent directement la lumière ultraviolette. *Attention* : les rayons ultraviolets peuvent être très dangereux pour la vue lorsqu'ils frappent directement les yeux. Pour observer des objets variés à la « lumière noire », il suffira de placer la boîte sur ces objets et de brancher le conducteur.

Faire une collection d'objets qui deviennent lumineux à la lumière ultraviolette. Certaines chaussettes, cravates, chemises, etc., portées par les enfants ont été teintées avec des teintures fluorescentes : les rayons ultraviolets de la lumière solaire ordinaire leur donnent de l'éclat, mais elles deviendront également lumineuses sous la seule lumière ultraviolette si on les place dans la boîte noire, à l'éclairage de ces lampes à argon. Beaucoup de poudres détergentes utilisées actuellement contiennent un « aviveur » : des vêtements blancs lavés avec ces détergents deviendront fluorescents sous le rayonnement ultraviolet d'une lampe à argon. On utilise aussi de plus en plus des peintures et des vernis fluorescents, et l'on pourra soumettre à l'épreuve de la boîte noire des objets qui en ont été couverts : ils compléteront la collection. Il existe aussi des craies fluorescentes qu'on pourra comparer à la craie ordinaire. Enfin, certains minéraux tels que la willemite, certaines fluorines, les opales et les sphalérites ou blendes deviendront également fluorescents dans la boîte à lumière ultraviolette.

2.225 *Irisations sur une pellicule savonneuse*

Préparer une solution concentrée de savon, comme pour faire des bulles de savon, et en remplir un récipient peu profond. Y plonger un coquetier ou une tasse à café pour obtenir la formation d'une mince pellicule transparente de savon joi-



2.224 A Ampoules à argon
B Trou d'observation

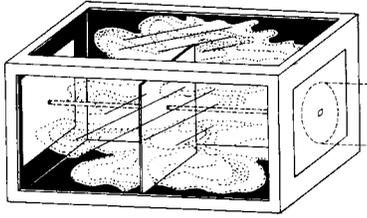
gnant les bords de la tasse ou du coquetier. Mettre l'objet à la lumière, de manière que celle-ci se réfléchisse sur la pellicule savonneuse, et observer les irisations formées. Incliner la tasse de façon à rendre la pellicule verticale et observer les changements produits à sa partie supérieure qui devient plus mince. Les couleurs qu'on voit sur des pellicules minces sont dues aux interférences des ondes lumineuses réfléchies par les deux faces de la pellicule.

2.226 *Irisations sur une pellicule d'huile*

Remplir d'eau un récipient peu profond. Colorer cette eau très fortement avec de l'encre noire. Placer le récipient près d'une fenêtre bien éclairée par le ciel, mais sans la mettre au soleil. Regarder l'eau de telle sorte que la lumière du ciel se réfléchisse en direction des yeux et déposer une goutte d'huile ou d'essence à la surface, sur le bord du récipient le plus proche de l'observateur. Celui-ci verra un magnifique arc-en-ciel s'épanouir en direction du rebord opposé. En soufflant sur la surface de l'eau, il verra les couleurs changer.

2.227 *Couleur des objets transparents*

Utiliser la boîte à fumée de l'expérience 2.202. Envoyer dans la boîte un seul rayon de lumière et placer sur son trajet une plaque de verre ou une feuille de cellophane transparente : remarquer que le rayon lumineux qui atteint l'écran blanc formant le fond de la boîte est blanc. Remplacer la plaque de verre par une plaque de verre ou une feuille de cellophane rouges et remarquer que le



rayon lumineux envoyé sur l'écran blanc est alors rouge (voir figure). Toutes les autres couleurs de la lumière blanche ont été absorbées par ce filtre rouge. Faire la même expérience avec des feuilles transparentes de différentes couleurs. On observera que la couleur de ces objets est due aux couleurs qu'ils transmettent, et qu'ils absorbent les autres.

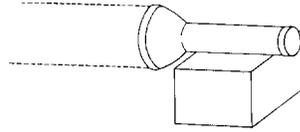
2.228 Couleur des objets opaques

Sur le mur, ou sur une feuille de papier blanc, provoquer la formation d'un beau spectre coloré (opérer en chambre noire). Mettre un bout de tissu rouge dans la bande bleue du spectre : Quelle couleur le tissu prend-il? Le mettre dans la bande verte et dans la bande jaune : Quelle devient alors sa couleur? Le mettre dans la bande rouge : Que devient sa couleur? Recommencer avec des tissus bleus, verts et jaunes. On remarquera que tous ces tissus paraissent noirs, sauf si on les place dans la bande de lumière de la même couleur qu'eux. Conclusion : les objets opaques doivent leur couleur à la lumière qu'ils réfléchissent; ils absorbent les autres couleurs du spectre.

2.229 Mélange de pigments colorés

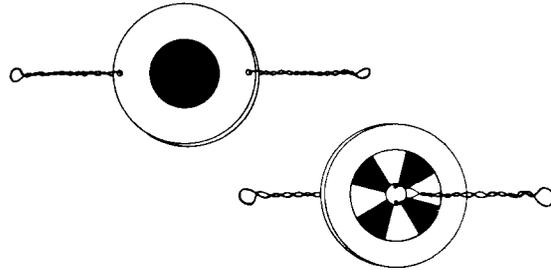
Prendre un morceau de craie bleue et un morceau de craie jaune; les écraser et les mélanger : on obtiendra du vert. Ces pigments colorés ne sont pas purs. Noter que le vert se situe sur le spectre entre le bleu et le jaune. Le jaune absorbe toutes les couleurs sauf le jaune et le vert. Le bleu absorbe toutes les couleurs sauf le bleu et le vert. Il s'ensuit que le jaune et le bleu s'absorbent réciproquement et que c'est du vert qui est réfléchi vers l'œil.

Faire la même expérience en mélangeant les couleurs d'une boîte de peinture.



2.230 Mélange de lumières colorées

Il est possible de réaliser un mélange de lumières colorées à l'aide de disques de carton peints à l'aquarelle. Par exemple, faire un gros rond sur chaque face d'un disque de 10 cm de diamètre : le rond sera bleu d'un côté et jaune de l'autre. Suspender le disque à des ficelles et le faire tourner en tordant la ficelle entre le pouce et l'index (voir figure) : si les couleurs sont bien choisies, le disque paraîtra presque blanc. On peut étudier d'autres mélanges de couleurs en imitant une toupie colorée comme celles des enfants. Des secteurs peuvent être peints alternativement en rouge et en vert : dans ce cas, le mélange de rouge et de vert réfléchi vers les yeux quand on fait tourner le disque autour d'une ficelle (voir figure) est de couleur jaune.



2.231 Transformations des couleurs sous l'effet de l'éclairage

Coller sur une feuille de carton des images en couleur découpées dans une revue. D'autre part, mettre 3 cuillerées à soupe de sel dans une soucoupe et ajouter plusieurs cuillerées à soupe d'alcool : enflammer et laisser brûler le mélange. La lumière produite est très vive et ne contient que du jaune. Regarder les images dans cette lumière, en chambre noire, et observer que toutes les couleurs sont transformées à l'exception du jaune.

Mécanique

Équilibres

2.232 Équilibre d'une balançoire à bascule

Se procurer une planche robuste d'environ 3 m de long et un chevalet ou une caisse à savon où l'on pourra placer cette planche en équilibre pour faire une balançoire. Si on le peut, on l'installera dans la salle de classe. Peut-être d'ailleurs une telle balançoire existe-t-elle déjà dans la cour de récréation. Choisir deux enfants ayant le même poids et les installer en équilibre à chaque extrémité de la balançoire. Mesurer la distance entre chaque enfant et le point d'appui. Placer ensuite deux enfants, dont l'un est plus lourd que l'autre, en équilibre sur la balançoire, et observer les ajustements qu'il faut faire pour qu'ils s'équilibrent. Puis demander à un enfant d'équilibrer deux enfants placés sur le bras opposé de la bascule. Noter les modifications. Si l'on mesure chaque fois la distance entre le point d'appui et l'enfant et si on multiplie cette distance par le poids de l'enfant, on découvre quelque chose de très intéressant en ce qui concerne l'équilibre.

Remarque. Quand deux enfants sont du même côté, mesurer la distance qui sépare chacun d'eux du point d'appui, multiplier par le poids de chaque enfant et additionner les produits.

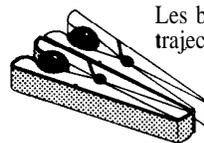
2.233 Équilibre d'une règle graduée de 1 mètre

Se procurer une règle graduée de 1 m, bien lisse, et la faire reposer légèrement sur les deux index. Placer les doigts près des extrémités de la règle et les déplacer vers le milieu : Où les deux doigts se rencontrent-ils ? Placer l'index de la main droite près d'une des extrémités de la règle et l'index de la main gauche à peu près à mi-chemin entre le milieu de la règle et l'autre extrémité, et répéter la même manoeuvre : Où les deux doigts se rencontrent-ils cette fois-ci ? Recommencer en sens inverse et placer l'index de la main gauche à l'extrémité de la règle et l'index de la main droite à peu près à mi-chemin entre le milieu et l'autre bout : Où les deux doigts se rencontrent-ils dans ce dernier cas ?

Expériences sur la pesanteur

2.234 Chute simultanée de deux billes

Pour faire cette expérience, on utilisera 2 pinces à linge, 2 billes de roulement de même taille et 1 bracelet de caoutchouc large, d'environ 8 cm de long. Enrouler la bande de caoutchouc sur l'une des pinces à linge, dans le sens de la longueur, puis, en desserrant la pince, obliger une bille à entrer dans les mâchoires de la pince en repoussant le caoutchouc. Prendre l'autre bille normalement dans l'autre pince à linge (voir figure). Tenir les deux pinces l'une contre l'autre, horizontalement au-dessus du sol, et avec leurs

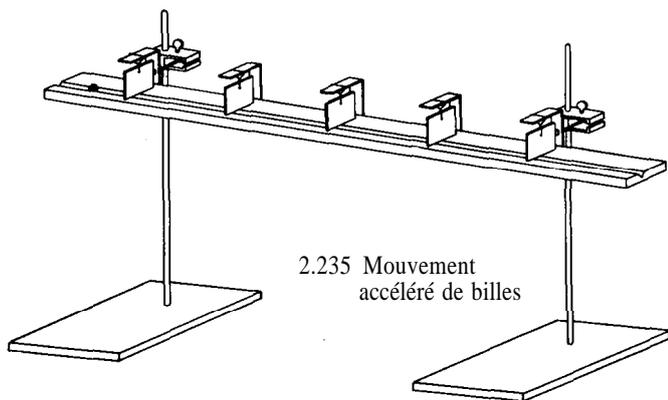


Les billes suivent des trajectoires différentes

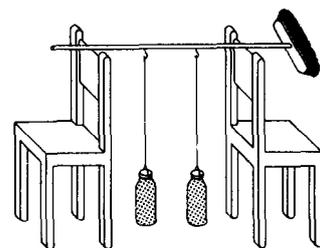
mâchoires dirigées vers l'avant. Les ouvrir toutes les deux en même temps : au même moment, une des billes tombe verticalement et l'autre est projetée en avant. Observer ce qui se passe en regardant et en écoutant attentivement. On recommencera l'expérience plusieurs fois à des hauteurs différentes et avec des bracelets de caoutchouc plus tendus.

2.235 Mesure de l'accélération de billes roulant sur un plan incliné

Installer un plan incliné constitué d'une planche de 3 m de long pourvue d'une rainure où peuvent rouler des billes (voir figure). On peut disposer le long de la planche de petits « drapeaux » en fer-blanc, suspendus à des fils de fer formant pivot, et qui tinteront lorsque les billes les frapperont au passage. On peut aussi soutenir les petits « drapeaux » par des arceaux enjambant la rainure : ces derniers peuvent être formés en fil de fer maintenu de chaque côté par de la pâte à modeler. Disposer les « drapeaux » à des espacements



2.235 Mouvement accéléré de billes



réguliers de 25, 50, 75, 100 cm, etc., à partir de l'extrémité de la planche et essayer d'apprécier ou de chronométrer le temps qui s'écoule entre les tintements. Essayer ensuite de les disposer de telle sorte que les tintements semblent se produire à des intervalles de temps égaux.

2.236 Pendule simple

Fixer au bout d'une corde d'au moins 2 m de long un objet lourd, pierre ou petite boule de métal par exemple, et suspendre la corde dans un chambranle de porte ou à un piton fixé au plafond. Écarter d'un grand angle et laisser osciller. Compter le nombre d'oscillations par minute. Puis laisser osciller après avoir écarté d'un petit angle et mesurer le nombre d'oscillations par minute. Recommencer plusieurs fois la manœuvre et relever dans chaque cas la moyenne des nombres obtenus. Est-ce que la durée de l'oscillation dépend de la longueur de l'arc décrit? En gardant la même longueur de pendule, remplacer l'objet utilisé comme poids par un autre et refaire les manœuvres ci-dessus. Est-ce que la durée de l'oscillation change selon le corps utilisé comme poids? Recommencer les mêmes expériences en utilisant un pendule dont la longueur sera la moitié de celle du pendule originel. Est-ce que le changement de longueur du pendule modifie la durée de l'oscillation et comment?

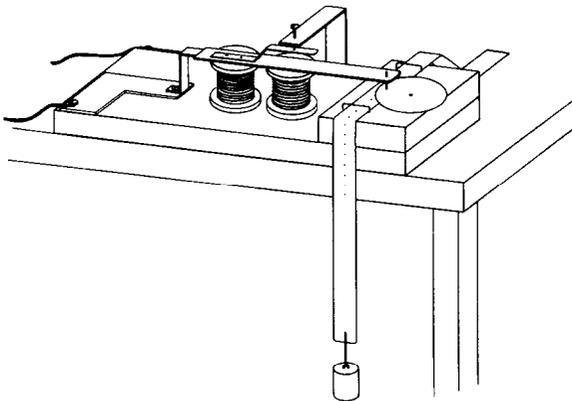
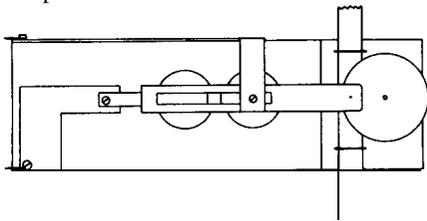
2.237 Pendules couplés

Se procurer 2 bouteilles de jus de fruit identiques. Les remplir d'eau et les boucher solidement. Poser un manche à balai sur le dossier de 2 chaises et y suspendre les bouteilles en guise de pendules en veillant à ce que ces pendules soient de même longueur (voir figure). Retenir l'un des deux pendules et mettre l'autre en mouvement, puis lâcher le premier à sa position d'équilibre : on verra bientôt le pendule qui se balançait ralentir et celui qui était immobile se mettre à osciller. A titre de variante, on peut suspendre les pendules à un support fixe (chambranle de porte par exemple) et relier les fils des pendules par un troisième fil attaché aux deux premiers au huitième environ de la longueur totale à partir du haut.

2.238 Étude des temps de chute libre d'un corps

A. On peut étudier le mouvement d'un corps en chute libre en le fixant à l'extrémité d'un ruban de papier où seront portés des repères correspondant à des intervalles de temps égaux. Pour cela, on fera dérouler le papier entre le trembleur (ou armature) d'une sonnette électrique et un papier carbone (voir figure). Pour adapter la sonnette à cette intention, on enlèvera le timbre et le battant, et on allongera l'armature en y soudant une petite tige métallique d'environ 5 cm de long, per-

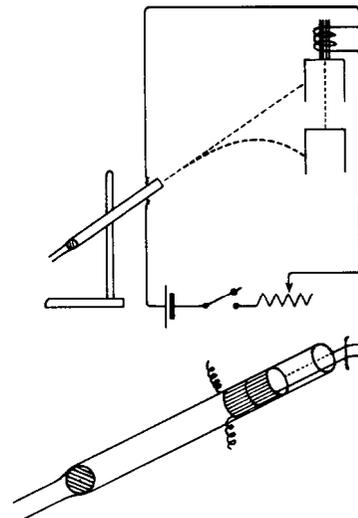
cée près de son extrémité d'un trou pouvant recevoir une petite vis à tête ronde. Cette vis, placée la tête en bas, servira de marqueur. Fixer l'ensemble sur une planchette servant de socle. Fixer une autre planchette sous le marqueur pour y placer un disque de papier carbone et y enfoncer des agrafes qui guideront le déroulement du ruban. Le disque de papier carbone doit avoir environ 3 cm de diamètre et pivoter librement autour d'une punaise : ainsi, le carbone sera renouvelé sous le ruban à mesure que celui-ci défilera. Les agrafes pourront être facilement confectionnées à partir de trombones. Il sera peut-être nécessaire de recourber un peu la tige prolongeant l'armature pour qu'elle ne rebondisse pas sur le papier, ce qui pourrait rendre les marques irrégulières. On fera alors passer le ruban de papier dans les agrafes et on actionnera le trembleur. Si l'on relâche le ruban, le corps qui s'y trouve fixé tombe, entraînant le papier avec lui : des marques sont faites à intervalles de temps égaux sur le ruban, et l'on peut mesurer les distances parcourues depuis le point de départ pendant des temps connus.



B. On peut utiliser cet appareil chronométrique pour d'autres expériences : par exemple, pour mesurer l'accélération d'un cycliste; on fixera l'extrémité du ruban à la selle du vélo. Pour obtenir des mesures plus précises, adapter une sonnette fonctionnant sur le courant alternatif : les intervalles de temps correspondent alors aux alternances du secteur.

2.239 Trajectoire d'un projectile

L'appareil illustré par la figure peut servir à montrer que les vitesses de déplacement horizontal et vertical d'un projectile sont indépendantes l'une de l'autre. Le projectile est une bille métallique et la cible est une petite boîte à conserves suspendue à un électro-aimant. Le circuit de l'électro-aimant comprend deux fils dénudés fixés de part et d'autre de l'axe d'un tube de carton et parallèlement à lui; les fils dépassent l'extrémité du tube d'environ 2,5 cm. (Pour cette partie de l'appareil, on peut utiliser un vieil étui à thermomètre dont une extrémité est plus étroite que l'autre.) Placer à l'intérieur du tube une grosse bille de roulement que l'étranglement du tube empêchera de tomber. Le circuit électrique est fermé par un court fil de cuivre reposant sur les fils qui dépassent. Fixer le tube à un support en le dirigeant vers la cible. Faire partir la bille en soufflant dans le tube : en franchissant l'embouchure du

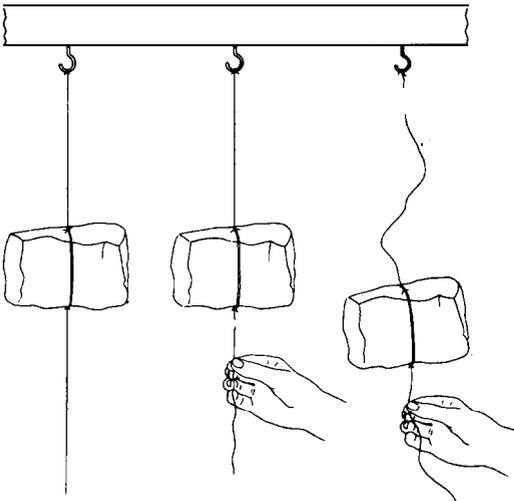


tube, elle chassera le bout de fil de cuivre et provoquera la chute de la boîte à conserves. La bille et sa cible se rencontreront dans l'air. Répéter l'expérience en faisant varier les angles et les distances.

Inertie

2.240 Étude de l'inertie d'une pierre

Cette expérience exige l'emploi d'une pierre d'environ 1 kg. Enrouler plusieurs fois une grosse ficelle autour de la pierre. Des deux côtés opposés de la pierre, attacher à la grosse ficelle des morceaux de ficelle plus mince de 50 cm de longueur (voir figure); cette ficelle mince doit être tout juste assez forte pour ne pas se casser sous le poids de la pierre. Suspendre avec précaution la pierre au-dessus d'une table, en prenant soin de protéger la table au moyen d'une planche pour que la pierre n'y laisse pas sa marque en tombant. Saisir solidement l'extrémité de la ficelle qui se trouve sous la pierre et tirer dessus d'un petit coup sec : en principe, cette ficelle doit casser et la pierre doit rester suspendue. On peut même arriver à casser deux ou trois ficelles paral-

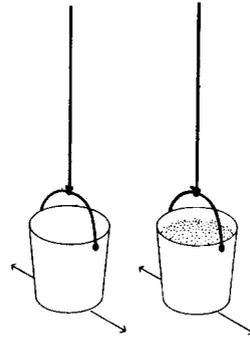


lèles placées sous la pierre bien que celle-ci soit retenue par une seule ficelle. C'est l'inertie de la pierre qui provoque ce phénomène.

Saisir ensuite le bout de la ficelle qui reste sous la pierre et tirer dessus de façon continue : cette fois, c'est la ficelle supérieure qui casse et la pierre tombe sur la table; l'application d'une force continue (par opposition à un coup rapide) met la pierre en mouvement.

2.241 Étude de l'inertie de deux pendules formés de boîtes à conserves

Les boîtes à conserves (seaux à confitures) employées doivent être identiques; plus elles seront grandes et plus l'expérience sera probante.



Une boîte sera suspendue vide, l'autre sera remplie de sable. La suspension doit être aussi longue que possible : si l'on peut fixer de longues ficelles au plafond, ce sera parfait. Les élèves pousseront les boîtes l'une après l'autre pour apprécier la force nécessaire à leur mise en branle. Ils essaieront également de les arrêter une fois en mouvement.

2.242 Autres expériences sur l'inertie

A. *Inertie d'une pile de livres.* Empiler des livres les uns sur les autres. Tirer celui qui se trouve sous la pile, d'un coup sec : Peut-on le retirer sans que la pile ne s'écroule?

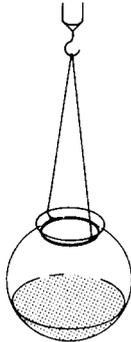
B. *Inertie de la terre contenue dans une pelle.* Recueillir une pelletée de terre sèche, puis la pro-

jeter en avant : remarquer que, même quand la pelle interrompt son mouvement, la terre continue le sien en raison de son inertie.

Force centripète

2.243 Cas d'un liquide

Se procurer un bocal à poisson rouge ou un bocal en plastique transparent. Entourer solidement le goulot d'un fil de fer auquel on attachera une ficelle (voir figure). Serrer un crochet dans le mandrin d'une chignole à main et l'attacher au milieu de la ficelle. Mettre dans le bocal environ 3 cm d'eau colorée par de l'encre. Tourner la



manivelle de la chignole pour entraîner le bocal et l'eau qu'il contient. Observer l'action de la force centripète sur l'eau. Observer également l'effet de l'inertie de l'eau quand le bocal commence à tourner ou s'arrête.

2.244 Expérience faite avec des œufs

Pour faire cette expérience, il faut un œuf frais et un œuf dur. Placer les œufs chacun dans une soupière ou dans une assiette et les faire tourner sur eux-mêmes rapidement, comme une toupie : on remarquera que l'œuf dur tourne plus longtemps que l'autre. L'inertie du fluide que ce dernier contient en arrête plus rapidement le mouvement. Pour comprendre ce qui se passe à l'intérieur de l'œuf, utiliser un bocal à poisson rouge comme dans l'expérience précédente. Comparer ce qui se

passé au démarrage et à l'arrêt lorsqu'on met dans le bocal de l'eau (œuf frais) ou du sable (œuf dur).

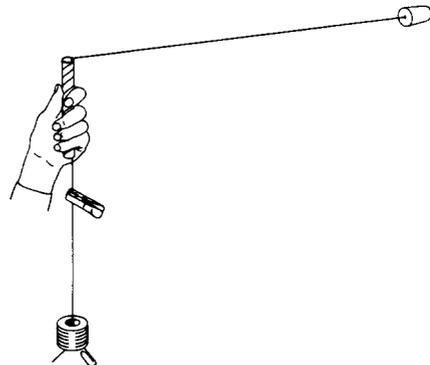
2.245 Expérience faite avec un seau d'eau

Se procurer un petit seau et l'emplit d'eau presque à ras bord. Si on le fait tourner rapidement à bout de bras, on constate que l'eau ne se répand pas : la force centripète agit sur l'eau contenue dans le seau, et sa réaction centrifuge l'applique contre le fond.

2.246 La force centripète

C'est Isaac Newton qui, le premier, a émis l'idée que le mouvement rectiligne est le plus naturel et que, lorsque la trajectoire est déviée, c'est qu'une force agit sur le corps en mouvement pour en modifier la direction. Si la force qui agit sur ce corps le fait à partir d'un point central fixe, le corps décrit une circonférence : on appelle force centripète la force qui l'attire vers le centre. On peut étudier les mouvements circulaires au moyen de l'appareil représenté par la figure.

On peut mesurer la force qui engendre un mouvement circulaire pour des rayons du cercle décrit et des fréquences de révolution différents. Se procurer un morceau de tube de verre d'environ 1 cm de diamètre extérieur et de 15 cm de longueur. Chauffer l'une des extrémités à la flamme d'un bec Bunsen jusqu'à ce que les bords du tube soient bien bordés. Faire deux tours de ruban adhésif autour du tube pour pouvoir le

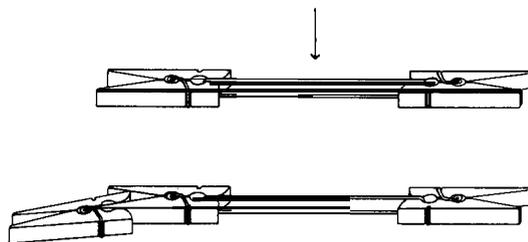


tenir en main sans qu'il glisse. Attacher un bouchon de caoutchouc à deux trous à l'extrémité d'environ 15 m de fil de nylon tressé pour la pêche à la ligne, et enfiler l'autre extrémité de ce fil dans le tube. On suspendra à cette extrémité une demi-douzaine de rondelles en fer de 1 cm. Un trombone permettra de retenir ces poids. Régler la longueur du Al pour que la distance entre le sommet du tube et le bouchon soit de 1 m. Prendre le tube de verre à la main et lui imprimer un mouvement giratoire de faible rayon, au-dessus de la tête, de manière à faire tourner le bouchon de caoutchouc dans le plan horizontal : l'action de la pesanteur sur les rondelles fournit la force horizontale qui fait que le bouchon décrit une circonférence. Placer une petite pince crocodile sur la partie verticale du fil pour mettre en évidence la régularité du mouvement, et relever la fréquence de rotation nécessaire pour que le corps en mouvement décrive une circonférence de 1 m de rayon quand on fait varier le nombre des rondelles suspendues au bout du fil. Si l'on double le nombre des rondelles, dans quelle proportion la fréquence est-elle modifiée? Que se passe-t-il si on réduit fortement la distance entre le tube et le bouchon?

Forces et mouvement

2.247 Action de forces égales sur des corps lourds ou légers

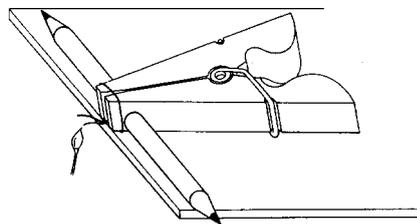
Tracer à la craie un trait de 50 cm sur une table et le diviser en centimètres. Se procurer un long bracelet de caoutchouc et 5 pinces à linge à ressort. Prendre les deux bouts du bracelet de caoutchouc dans 2 pinces à linge et poser celles-ci sur la table, sur le trait de craie, de façon que le bracelet de caoutchouc suive le tracé. Étirer le bracelet de caoutchouc d'environ 15 cm et lâcher les 2 pinces à linge en même temps : on remarquera qu'elles se rencontrent à mi-chemin (voir figure). Puis accrocher 1 pince à linge à un bout du bracelet de caoutchouc et 2 à l'autre bout. Étirer celui-ci d'environ 24 cm et lâcher les pinces à linge : Où se rencontrent-elles cette fois-ci? Recommencer en fixant cette fois 2 pinces à linge à chaque bout



du bracelet de caoutchouc : Où se rencontrent-elles? Recommencer une nouvelle fois en mettant 2 pinces à un bout et 3 à l'autre bout : Où se rencontrent-elles? Quelle conclusion peut-on tirer de cette expérience?

2.248 Expérience sur les forces et le mouvement (et la « quantité de mouvement »)

Maintenir une pince à linge ouverte en enroulant un tour de fil autour des branches les plus longues; la placer au centre d'une longue table et placer 2 crayons de taille et de poids sensiblement égaux de chaque côté de la pince et tout contre les branches liées ensemble. Enflammer le fil avec précaution et observer les crayons (voir figure) : ils sont projetés dans des directions opposées avec une certaine vitesse. Recommencer l'expérience en utilisant 2 crayons plus gros, mais toujours à peu près égaux en dimension et en poids.



Qu'observe-t-on? Comparer les résultats avec ceux de la première opération. Recommencer avec un crayon plus gros et plus lourd d'un côté et un petit crayon plus léger de l'autre : Que voit-on? Si l'on peut se procurer des billes de métal et

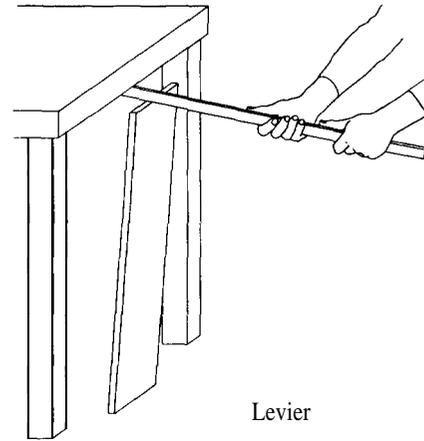
des billes ordinaires, recommencer en les combinant entre elles de diverses manières. Quelles conclusions peut-on tirer de cette expérience?

levier le plus long décrit un trajet plus long que celle du bras le plus court. L'énergie dépensée reste la même, mais la force exercée à l'extrémité

Action et réaction

2.249 Action et réaction de poussées

Les forces agissent par paires. Si l'on exerce une poussée contre un mur, ce mur renvoie la poussée avec la même force. Se procurer 2 balances de ménage à ressort et à plateau carré (ou 2 pèse-lettres). Appuyer les plateaux l'un contre l'autre en faisant en sorte que les cadrans soient visibles. Un élève poussera sur le socle d'un côté, tandis que le maître poussera le socle de l'autre balance : on remarquera que l'indication donnée par les 2 aiguilles est la même, même si le maître pousse plus fort que l'élève. (Voir aussi expériences 4.102 et 4.103.)



2.250 Action et réaction de forces de traction

Se procurer 2 balances de ménage à ressort (ou 2 pesons à ressort ou dynamomètres). Faire une boucle à chaque extrémité d'une corde assez courte et y fixer des pesons. Deux élèves tireront sur ceux-ci en sens contraire. Noter les indications données par les aiguilles et les comparer.

la plus courte est beaucoup plus grande que la force utilisée pour déplacer le bras le plus long.

2.251 Action et réaction pour un modèle réduit de bateau à voile

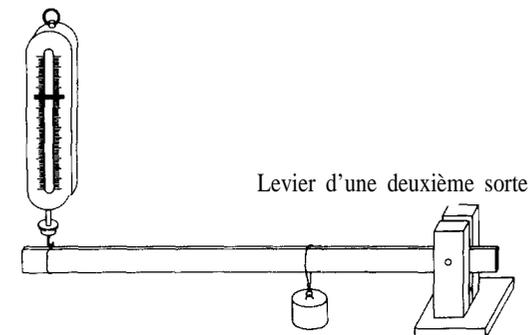
Placer à bord d'un petit modèle de bateau à voile un ventilateur à pile et le faire souffler dans la voile. Comparer ce qui se passe si l'on place le ventilateur sur la rive et soufflant aussi en direction de la voile.

B. Se procurer une règle d'environ 1 m de long, 4 cm de large et 5 mm d'épaisseur. Y percer un trou au centre de la largeur et près d'une des extrémités. D'autre part, fixer 2 montants dans un socle de bois et y percer 2 trous à environ 12 cm du socle (voir figure). Insérer le levier constitué par la règle entre ces deux montants et passer une

Machines

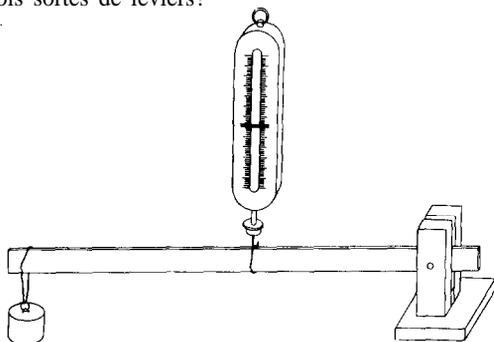
2.252 Trois sortes de leviers

A. Scier un bâton ou une planche à la hauteur d'un meuble lourd, pupitre ou table de la classe. Appuyer sur son extrémité un autre bâton d'à peu près la même longueur et s'en servir comme d'un levier pour soulever le pupitre ou la table (voir figure). Remarquer que l'extrémité du bras de



pointe dans les 3 trous en regard pour que le levier pivote sur elle. Accrocher des poids le long de la règle et, à l'aide d'un peson à ressort ou dynamomètre, mesurer la force qu'il faut appliquer pour soulever l'extrémité de la règle.

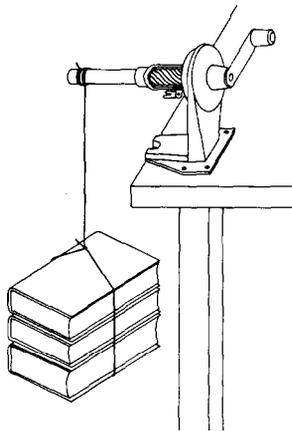
C. Pour réaliser un levier d'une troisième sorte, intervertir le poids et le peson (voir figure). Comparer les résultats obtenus avec les précédents. Quels sont les avantages et les inconvénients des trois sortes de leviers?



Levier d'une troisième sorte

2.253 Treuil de réalisation simple

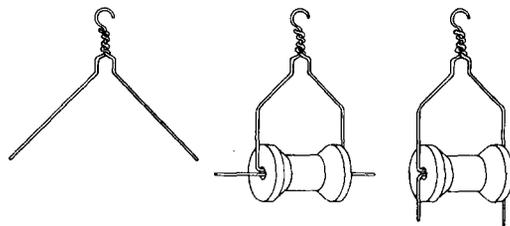
Retirer le capot d'un taille-crayon de table et fixer



solidement une ficelle autour de l'extrémité de l'axe. Attacher 2 ou 3 livres ou un poids de plusieurs kilogrammes à l'extrémité de la ficelle. On constatera en tournant la manivelle que la force nécessaire pour soulever ainsi les livres ou le poids est bien inférieure à celle que la pesanteur exerce sur eux. Montrer que le taille-crayon fonctionne dans cette expérience comme un treuil (voir figure). Faire un schéma représentant les forces mises en jeu. Ce dispositif ressemble-t-il à l'un des genres de leviers décrits dans l'expérience précédente?

2.254 Poulie rudimentaire

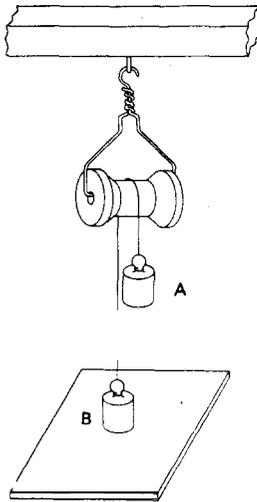
Un cintre à vêtement en fil de fer et une bobine de fil suffisent pour réaliser une poulie à peu près convenable. Couper les deux branches du cintre



à environ 20 cm du crochet et recourber les extrémités à angle droit pour les enfilet dans les trous de la bobine. Régler la position des branches pour que la bobine tourne librement et courber leurs deux extrémités pour qu'elles ne s'écartent pas (voir figure).

2.255 Poulie fixe

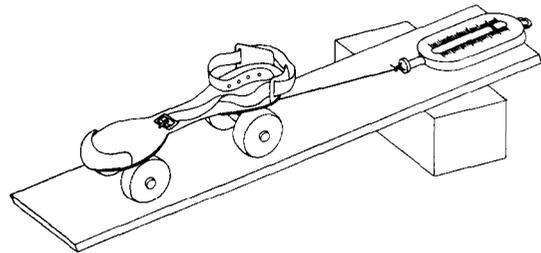
Installer une poulie fixe comme l'indique la figure. En suspendant des poids en A, trouver quelle est la force requise pour soulever des poids de 25, 50, 75, 100 et 200 g suspendus successivement en B. Mesurer le déplacement du point d'application de la force motrice (en A) pour déplacer de 20 cm le point d'application de la force résistante (le poids de l'objet suspendu en B).



courues par le point d'application de cette force et par la charge soulevée.

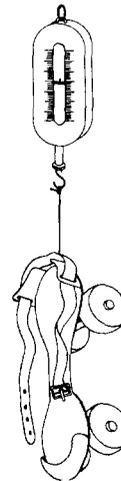
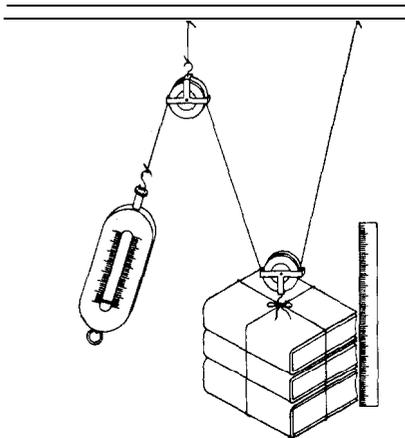
2.257 Plans inclinés

A. Attacher à un dynamomètre une automobile en miniature suffisamment lourde ou un patin à roulettes, et hisser l'objet le long d'une planche inclinée (plan incliné). Lire la force nécessaire pour déplacer l'automobile et la comparer avec la force nécessaire pour la soulever verticalement. Remarquer aussi que, lorsque l'ascension s'effectue sur le plan incliné, la force s'exerce sur une plus longue distance que si l'on soulève l'objet à la même hauteur verticalement. Abstraction faite



2.256 Poulie mobile

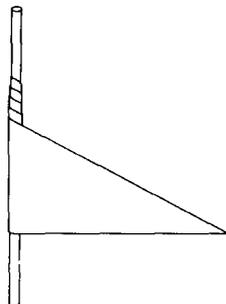
Suspendre 2 poulies à une corde fixée à un support horizontal et y accrocher des charges comme l'indique la figure : une des poulies sera mobile. A défaut d'un support adéquat sur la table d'expériences, on peut utiliser un manche à balai posé sur deux chaises. Attacher un peson à ressort, ou dynamomètre, à l'extrémité de la



corde et comparer le poids de l'objet à la force nécessaire pour le soulever grâce au système de poulies. Comparer également les distances par-

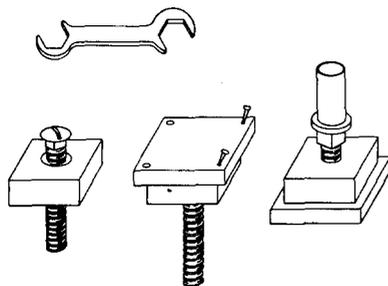
du frottement, le travail nécessaire est le même dans les deux cas. Montrer qu'il en est de même pour d'autres machines simples (voir figure).

B. Découper un triangle rectangle dans une feuille de papier blanc ou de papier d'emballage. Le grand côté de l'angle droit mesurera environ 30 cm et le petit environ 15 cm. Se procurer une baguette ronde de quelque 20 cm de long et y enrouler le triangle de papier en commençant par le petit côté et en terminant par la pointe du triangle; veiller à ce que le grand côté de l'angle droit du triangle reste bien au même niveau par



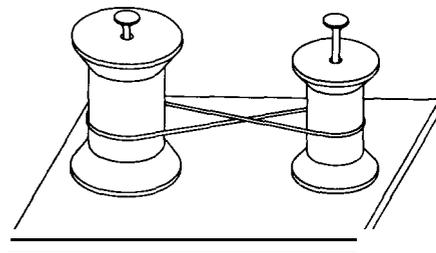
rapport à la baguette. Remarquer que le plan incliné (l'hypoténuse) s'enroule en spirale autour de la baguette à la manière d'un pas de vis (voir figure).

C. Percer dans un bloc de bois un trou pouvant recevoir un gros boulon à tête ronde et fileté sur presque toute sa longueur. Enfoncer la tête du boulon dans le trou de manière qu'elle ne dépasse pas et clouer une petite planche par-dessus. Sur le filetage qui dépasse, mettre un écrou, puis une rondelle et un petit bout de tuyau métallique : le diamètre intérieur du tuyau doit être légèrement supérieur au diamètre du boulon. Si l'on fait tourner l'écrou à l'aide d'une clé, ce dispositif fonctionne comme un cric puissant (voir figure).



2.258 Entraînement à courroie élémentaire

Piquer deux longues pointes dans un bloc de bois et y enfiler 2 bobines de taille inégale : les bobines tourneront sur ces axes. Passer un bracelet de caoutchouc sur les 2 bobines. Faire tourner la plus grosse bobine sur elle-même une seule fois et voir si la plus petite fait un tour complet, ou plus d'un tour, ou moins. Dans quel sens cette petite bobine tourne-t-elle? Recommencer en faisant



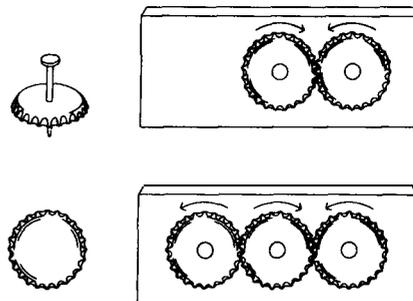
croiser le bracelet de caoutchouc et observer ce qui se passe (voir figure). Faire une liste d'appareils entraînés par des courroies.

2.259 Étude du fonctionnement des engrenages d'une bicyclette

Mettre un vélo en bas; le faire reposer sur son guidon et sur sa selle. Donner exactement un tour de pédale et compter le nombre de tours effectués par la roue arrière.

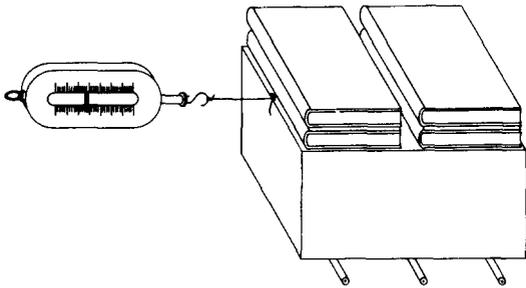
2.260 Engrenages élémentaires

A l'aide d'un marteau et d'une pointe de grosseur moyenne, percer des trous exactement au centre



de quelques capsules de bouteilles. Redresser les bords des capsules pour les rendre aussi ronds que possible. Mettre 2 de ces capsules sur une petite planchette de façon qu'il y ait interpénétration des dents; fixer ensuite les capsules par des semences de tapissier, mais en veillant à ce qu'elles tournent encore librement. Faire tourner l'une des capsules et observer dans quel sens l'autre tourne. Introduire une troisième capsule dans le dispositif et observer le sens de rotation des unes et des autres (voir figure).

2.261 Réduction du frottement à l'aide de crayons
Placer des crayons ronds en manière de rouleaux sous une caisse lourde. Attacher une ficelle à cette caisse et trouver la force nécessaire pour la déplacer sur une table. Trouver la force nécessaire pour



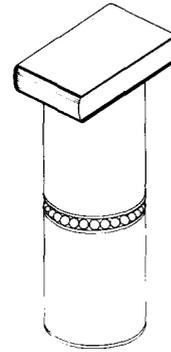
la déplacer sans les rouleaux. Récapituler les résultats et chercher l'explication (voir figure).

2.262 Réduction du frottement à l'aide de roues
Recommencer l'expérience précédente en utilisant, au lieu de rouleaux, un dispositif à roues (par exemple un ou plusieurs patins à roulettes). Citer quelques avantages des roues par rapport aux rouleaux lorsqu'il s'agit de faciliter des déplacements.

2.263 Réduction du frottement grâce à de l'huile
Placer 2 vitres côte à côte et mettre sur l'une d'elles quelques gouttes d'huile. Demander aux élèves de faire un mouvement de va-et-vient avec le doigt sur la vitre non huilée, sur puis la vitre huilée : Quelle est la différence?

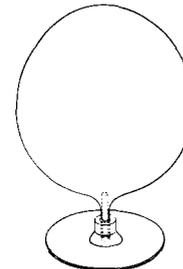
2.264 Réduction du frottement à l'aide de roulements à billes

Chercher 2 boîtes de métal dont le pourtour du couvercle présente une gorge assez profonde (boîtes de peinture par exemple). Mettre des billes dans la gorge d'une boîte et renverser l'autre sur



la première : on obtient ainsi un roulement à billes. Poser un livre sur l'ensemble et remarquer avec quelle facilité ce modèle de roulement tourne. Si l'on huile les billes, la rotation est encore plus facile (voir figure).

2.265 Réduction du frottement par un coussin d'air
Découper un disque de carton d'environ 10 cm de diamètre; faire un trou au centre avec une épingle chauffée au rouge. Couper en deux, transversalement, une petite bobine de fil et coller une moitié, par sa base, sur le centre du disque. Prendre une baguette de bambou ou tout autre tube pouvant s'ajuster dans le trou de la bobine.



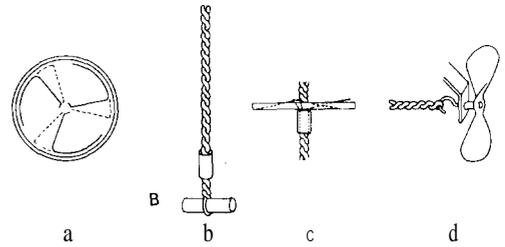
Coiffer cette baguette creuse d'un petit ballon de baudruche qu'on assujettira solidement avec du fil ou un bracelet de caoutchouc (voir figure). Gonfler le ballon, en pincer le col et enfoncer le tuyau dans la bobine. Poser le disque sur la table et laisser l'air sortir du ballon : l'air sous pression qui sortira du ballon par le trou percé dans le disque soulèvera le carton; si on donne une Chi-quenaude à celui-ci, il glissera rapidement jusqu'au bout de la table presque sans le moindre frottement. Cette expérience illustre le principe des hydroglisseurs ou aéroglisseurs.

2.266 L'hélice

Bien que la plupart des avions soient aujourd'hui des avions à réaction, l'hélice a rendu de grands services à l'aviation et les navires utilisent toujours des hélices. Le dispositif décrit ci-dessous peut aider à en faire comprendre le principe.

On peut fabriquer les pales à partir d'un couvercle de boîte à conserves (voir figure *a*). La seule précaution à prendre est de bien ébarber ou enrouler les bords extérieurs, pour éviter de se couper ultérieurement. Dessiner soigneusement les 3 pales sur le couvercle. Découper d'abord selon le tracé plein, puis selon le tracé en pointillé, et enlever les petits secteurs, en ne laissant que 3 lames. La meilleure manière de procéder consiste à placer le couvercle sur un billot pour le découper avec un vieux ciseau. Avant de recourber les pales, percer au centre 2 trous de 5 mm de diamètre, distants de 5 mm, et enlever la petite languette de métal qui les sépare pour obtenir une petite fente.

Il faut ensuite une tige hélicoïdale de métal d'environ 1 cm de diamètre et de 25 cm de long, qui s'insérera dans cette fente; mais une telle tige peut être difficile à trouver et il faudra peut-être se contenter d'un double fil de fer fort (voir figure *b*). Pour tordre le fil, plier en deux un morceau de fil de fer de 60 cm, en formant à l'extrémité une grande boucle; passer la tige B dans cette boucle et serrer ensemble les extrémités libres du fil de fer



dans un étau, puis tordre ce fil double de manière à obtenir une torsion régulière sur toute la longueur à un angle d'environ 20° par rapport à l'axe. Il sera peut-être nécessaire de limer la fente de l'hélice pour que celle-ci monte et descende librement en tournant autour de la torsade.

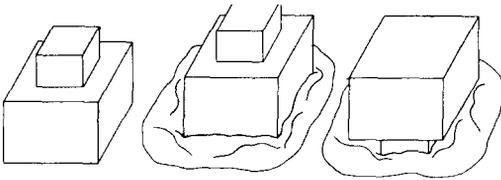
Pour terminer, se procurer un petit morceau de tuyau pouvant glisser à frottement doux le long de la torsade : on peut en faire un en enroulant du fer-blanc. L'angle de relèvement des pales doit évidemment être prévu pour que l'hélice s'élève quand on la pousse, en la faisant tourner, jusqu'à faire quitter le fil. Cet assemblage comporte donc trois parties : le fil, qui doit être tenu verticalement; le tube de fer-blanc, qui doit reposer sur la boucle à l'extrémité du fil torsadé; et l'hélice elle-même, qui doit reposer sur le tube de fer-blanc, comme on peut le voir en *c*. Pour lancer cette soucoupe volante, tenir d'une main l'appareil immobile au-dessus de la tête en le prenant par le tube de fer-blanc et, de l'autre, tirer fortement le fil de fer torsadé vers le bas. Étant donné qu'il s'agit d'un dispositif qui se construit en peu de temps, on aura peut-être envie d'essayer des pales d'inclinaisons différentes, ou des hélices avec plus ou moins de pales - de 2 à 6 - pour essayer d'envoyer l'hélice le plus haut possible. Ces expériences sont à faire en plein air. On découpera facilement dans de la tôle des hélices comme celle que montre la figure *d* : avec un dispositif d'entraînement (moteur) en caoutchouc, c'est ce genre d'hélices qu'on trouve souvent sur les modèles réduits d'avions ou de bateaux.

Mécanique des fluides

Pressions dans un liquide

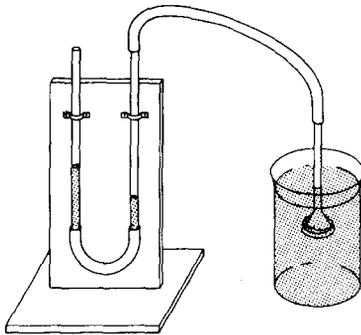
2.267 Différence entre force et pression

Préparer 2 blocs de bois carrés, l'un beaucoup plus petit que l'autre et les assembler comme l'indique la figure. Enfoncer l'une et l'autre face successivement dans une motte de terre glaise ou de pâte à modeler en exerçant la même force dans chaque cas : la différence de profondeur des creux correspond à la différence des pressions (voir figure).



2.268 Les liquides exercent des pressions

Relier 2 tubes de verre de 15 cm ou 2 chalumeaux pour boire les boissons fraîches à l'aide d'un court tuyau de caoutchouc et les fixer sur une planchette maintenue à la verticale, comme le



montre la figure. Mettre dans les tubes un peu d'eau colorée sur une hauteur de 6 à 8 cm. L'appareil servira de manomètre ou indicateur de pression. Fixer un morceau de caoutchouc fin très bien tendu sur un petit entonnoir, en l'assujettissant avec du fil ou de la ficelle. Relier l'entonnoir

au manomètre par un tube en caoutchouc de 30 cm. Plonger l'entonnoir dans un seau d'eau et observer les déplacements des niveaux du liquide dans le manomètre quand on enfonce l'entonnoir.

2.269 La pression de l'eau varie en fonction de la profondeur

Remplir d'eau un grand bocal ou un seau. A l'aide de l'appareil construit pour l'expérience précédente (manomètre et entonnoir), mesurer la pression juste au-dessous du niveau de l'eau, puis tout au fond du récipient : Comment la pression varie-t-elle selon la profondeur?

2.270 La pression varie selon la nature du liquide

Prendre 2 bocaux en verre qui puissent recevoir l'entonnoir utilisé pour les deux expériences précédentes. Verser, dans le premier, de l'eau et, dans le second, un liquide moins dense, de l'alcool par exemple, de manière à avoir la même profondeur de liquide dans les 2 bocaux. Mesurer la pression au fond du bocal d'eau et mesurer la pression au fond du bocal d'alcool, et comparer.

2.271 Pression de l'eau dans un récipient large

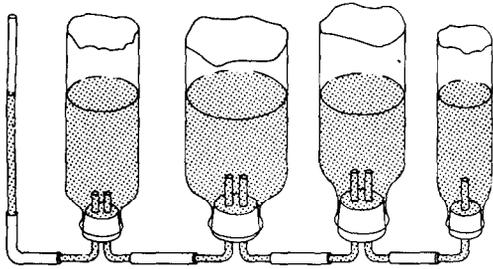
Utiliser le manomètre à entonnoir des expériences précédentes. Prendre un petit bocal de petit diamètre et un bocal de plus grand diamètre; y mettre de l'eau jusqu'à la même hauteur. Mesurer la pression au fond de chaque bocal, et comparer.

2.272 La pression exercée par l'eau est la même dans toutes les directions

A l'aide d'un clou, percer des trous sur la paroi d'une boîte à conserves, près du fond, et les recouvrir d'un ruban adhésif. Remplir la boîte d'eau et la tenir au-dessus d'un évier. Enlever alors le ruban adhésif. Comparer la portée des différents jets d'eau qui jaillissent de la boîte.

2.273 Vases communicants

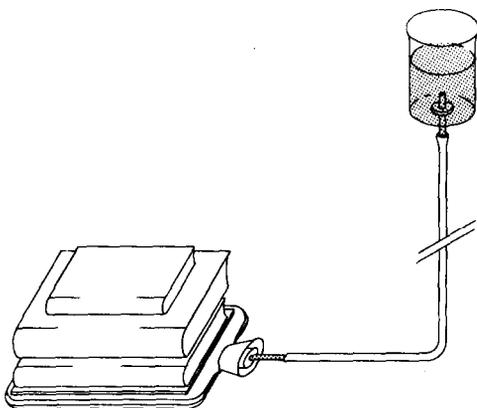
Prendre plusieurs bouteilles en plastique de formes différentes, mais de hauteurs sensiblement égales, et découper le fond ou y percer un trou.



Adapter sur leur goulot des bouchons munis de tubes de verre, et relier les bouteilles comme L'indique la figure. Remplir presque à ras bord les bouteilles d'eau colorée. Cette expérience montre que, dans un liquide donné, la pression est indépendante de la forme ou du volume du récipient et ne dépend que de la profondeur.

2.274 *La pression de l'eau peut soulever de lourdes charges*

Se procurer une bouillotte en caoutchouc; y adapter un bouchon de caoutchouc traversé par un court tube de verre bien serré dans le bouchon. Faire un trou au fond d'une boîte à conserves et y adapter un bouchon de caoutchouc percé d'un trou où l'on introduira un court tube de verre. Relier la bouillotte et la boîte à conserves par un tuyau de caoutchouc d'au moins 1,25 m de long - il est recommandé de consolider la fixation au tube sortant de la bouillotte par du fil de fer. Remplir d'eau la bouillotte, le tuyau et la boîte à conserves. Poser la bouillotte sur le sol: poser



une planche dessus, et, sur cette planche, des livres ou d'autres objets pesants (voir figure). Soulever la boîte à conserves à une certaine hauteur et observer ce qui se passe. Déterminer quelle est la charge la plus forte que l'on puisse ainsi soulever en élevant la boîte au-dessus du sol aussi haut que le permet la longueur du tuyau.

2.275 *L'eau n'est pas compressible*

A. Adapter un bouchon en caoutchouc à un trou sur le goulot d'une bouteille de soda et enfoncer dans le bouchon le tube de verre d'un compte-gouttes, pointe en l'air. Remplir la bouteille d'eau jusqu'en haut. Serrer le bouchon pour que l'eau monte un peu dans le compte-gouttes, Prendre alors la bouteille à la main et appuyer sur le bouchon de toutes ses forces : l'eau n'étant pas compressible, elle s'élèvera dans le tuyau du compte-gouttes. Est-il possible d'appuyer suffisamment pour faire jaillir l'eau du tube?

B. Remplir d'eau un flacon pharmaceutique et y enfoncer solidement un bouchon de bonne qualité. Donner un bon coup de marteau sur le bouchon : la bouteille éclate. *Attention* : envelopper la bouteille d'un torchon pour éviter de recevoir les éclats de verre.

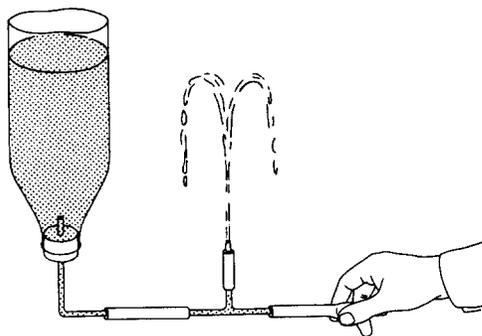
2.276 *Modèle réduit d'ascenseur hydraulique*

Certains monte-charge ou ascenseurs sont actionnés par la pression de l'eau. On peut en réaliser un modèle réduit avec une pompe à main pour pneus d'automobile. Relier le raccord de la pompe à l'une des extrémités d'un tuyau de caoutchouc en ligaturant les joints pour qu'ils ne lâchent pas. Brancher ensuite l'autre extrémité du tuyau sur un robinet d'eau, en ligaturant également le joint. Faire asseoir un des élèves en équilibre stable sur la poignée de la pompe. Ouvrir lentement le robinet et voir si la pression de l'eau soulève l'élève.

2.277 *Modèle réduit de bélier hydraulique*

On utilise parfois des béliers hydrauliques pour élever de l'eau d'un niveau à un autre plus élevé. Ces béliers sont actionnés par une circulation

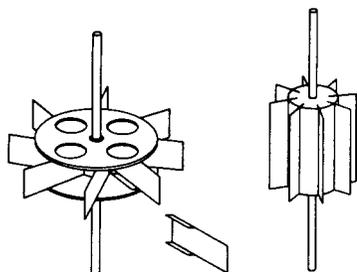
d'eau. On peut réaliser un modèle réduit de bélier hydraulique en procédant comme suit. Se procurer une bouteille en plastique dont on aura retiré le fond; adapter au goulot un bouchon de caoutchouc à un trou muni d'une courte tubulure en verre. Relier ce tube à un tube de verre ou de métal en T muni, d'un côté, d'un tuyau de caoutchouc et, au milieu, d'un tube de verre effilé relié à lui par un tuyau de caoutchouc, comme le montre la figure. Remplir la bouteille d'eau en pinçant le tuyau terminal. Laisser ensuite l'eau



couler par l'extrémité du tuyau, puis interrompre brusquement l'écoulement en pinçant fortement le tuyau : observer la hauteur à laquelle monte l'eau qui jaillit par le tube effilé. Répéter plusieurs fois la manœuvre, en laissant alternativement l'eau couler puis jaillir : on a ainsi un bélier hydraulique en miniature.

2.278 Modèles réduits de roues à aubes

Il est possible de fabriquer des modèles réduits de roues à aubes (roues de moulins) à partir de vieilles bobines vides de rubans de machines à

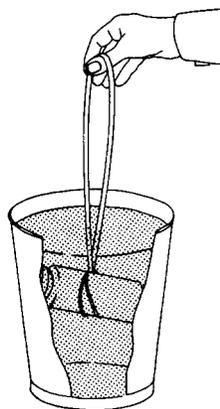


écrire ou de bobines de sparadrap. Les aubes ou pales seront découpées dans du fer-blanc selon le modèle donné par la figure, et soudées à la partie étranglée de la bobine. Comme axe, on pourra utiliser une petite broche à rôtir ou une aiguille à tricoter. L'eau qui s'écoule d'un robinet ou encore l'eau amenée d'un bassin par l'intermédiaire d'une gouttière en zinc fournira l'énergie hydraulique. On peut également fabriquer une roue à l'aide d'une bobine de fil à coudre ou d'un bouchon, en y faisant des encoches longitudinales, comme le montre la figure, et en y ajustant des plaquettes de bois ou de fer-blanc rectangulaires qui feront fonction de pales.

Poussée de bas en haut dans les liquides

2.279 Poussée d'Archimède

Se procurer une boîte métallique dont le couvercle ferme hermétiquement (boîte à café en poudre, à lait en poudre, à cigarettes, etc.). Plonger la boîte fermée, le couvercle tourné vers le bas, dans un seau d'eau, et la lâcher brusquement. Recommencer en la tenant dans des positions



différentes : Que remarque-t-on? Y a-t-il une poussée verticale qui soulève la boîte? Mettre un peu d'eau dans la boîte et recommencer l'expérience. Continuer, en ajoutant un peu plus d'eau à chaque fois, jusqu'à ce que la boîte cesse

de flotter. Remplir la boîte d'eau et remettre le couvercle. Entourer la boîte d'un double tour de ficelle et fixer un grand bracelet de caoutchouc à l'autre bout de la ficelle. Soulever la boîte par l'élastique et observer l'étirement du caoutchouc, la boîte étant dans l'air; plonger ensuite la boîte dans un seau d'eau et noter aussi l'allongement : Comment expliquer la différence?

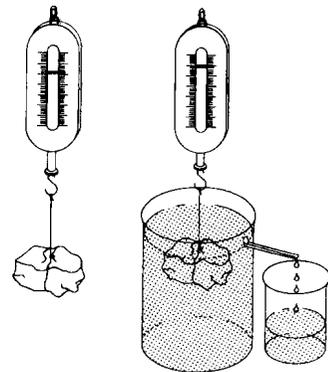
2.280 *Le Ludion*

Prendre un bocal de verre assez haut et à large goulot. Enlever le capuchon de caoutchouc d'un compte-gouttes et entourer son collet de quelques tours de fil de cuivre. Remplir le bocal d'eau, à ras bord. Mettre un peu d'eau dans le petit capuchon de caoutchouc et le faire flotter dans le bocal d'eau. Mettre suffisamment d'eau dans le caoutchouc pour qu'il s'enfonce presque complètement : cela demandera un réglage assez long; il conviendra de faire sortir de l'air du caoutchouc bulle après bulle, en pressant délicatement. Une fois le « plongeur » - appelé ludion - réglé, bien boucher le bocal avec un bon bouchon ou le fermer avec du caoutchouc découpé dans une vieille chambre à air. Quand on appuie sur le bouchon ou sur la membrane, le ludion s'enfonce. Quand on relâche la pression, il remonte à la surface. Si le flotteur est un petit tube à essai en verre ou un petit flacon pharmaceutique, on peut expliquer ses déplacements en observant le niveau de l'eau à l'intérieur du ludion quand il s'enfonce et quand il remonte.



2.281 *Corps plongés dans un liquide*

Pour cette expérience, il faudra disposer d'un réservoir à trop-plein (« vase à déversement »), d'une pierre pouvant y pénétrer et d'un récipient collecteur fait d'une vieille boîte à conserves. Remplir d'eau le réservoir à trop-plein jusqu'au niveau du bec. Attacher une ficelle à la pierre et peser celle-ci en l'accrochant à un peson à ressort. Peser le récipient collecteur et le placer sous le bec du réservoir de façon que l'eau déplacée par la pierre puisse s'y déverser (voir figure). Immerger la pierre dans l'eau et lire son poids : Est-il le même que lorsqu'elle était dans l'air? Trouver le poids de l'eau déplacée en retranchant le poids du récipient collecteur du poids total du récipient et de l'eau recueillie : faire la comparaison avec la diminution apparente du poids de la pierre. Refaire l'expérience avec d'autres corps plongés dans le liquide.



2.282 *Corps flottants*

Remplir d'eau un vase à déversement jusqu'à ce qu'il déborde et laisser l'eau s'écouler jusqu'à ce qu'elle soit juste au niveau du bec. Prendre un morceau de bois qui flottera dans le vase en s'enfonçant à moitié ou davantage. Peser ce morceau de bois à l'aide d'un peson à ressort. Peser également le récipient collecteur, puis le placer sous le trop-plein. Mettre le morceau de bois dans le vase

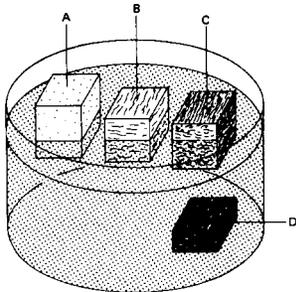
et relever le poids indiqué par le peson. Trouver le poids de l'eau déplacée en retranchant le poids du récipient collecteur du poids total de l'eau et du récipient. Comparer avec la diminution apparente de poids du morceau de bois. Refaire l'expérience avec d'autres corps flottants.

2.283 *Expérience de la bougie flottante*

Enfoncer, à la base d'une bougie, un clou dont le poids sera choisi de telle sorte que, si l'on fait flotter la bougie dans l'eau d'un grand verre, la partie supérieure de la bougie dépasse un peu de la surface de l'eau. Allumer la bougie et l'observer jusqu'à ce qu'elle soit presque totalement consumée. En brûlant, la bougie perd du poids : Pourquoi continue-t-elle à flotter?

2.284 *Flottabilité de diverses essences de bois*

Se procurer un bouchon de liège et des morceaux

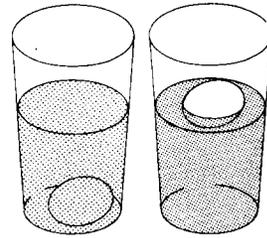


- A Bouchon
- B Érable
- C Acajou
- D Ébène

de bois de différentes essences : érable, acajou, ébène par exemple (voir figure). Les mettre dans un récipient rempli d'eau et observer comment ils flottent. Quelles explications peut-on fournir?

2.285 *Expérience de l'œuf flottant*

Mettre un œuf dans un verre d'eau douce et observer; mettre du sel dans l'eau et voir si l'œuf peut flotter (voir figure). Quelles explications peut-on



fournir? Rapprocher cela du fait que les navires enfoncent moins dans l'eau de mer que dans l'eau douce.

2.286 *Comment faire un densimètre avec une paille*

Se procurer une paille solide - soit une paille naturelle, soit un chalumeau pour boire les boissons fraîches - de 20 cm environ. Si elle ne tient pas l'eau, la plonger dans de la bougie fondue et laisser sécher. Sceller une de ses extrémités avec de la cire et y introduire du petit plomb de chasse ou du sable fin jusqu'à ce qu'elle flotte sur l'eau en position verticale. Puis y laisser tomber une goutte de cire fondue pour maintenir le plomb ou le sable en place. Entourer la paille d'une petite bague de caoutchouc ou de fil noir pouvant coulisser le long de la paille et servir d'index. Faire une marque sur la paille au niveau de l'eau, puis la sortir de l'eau et mesurer la distance entre l'extrémité inférieure de la paille et le niveau de l'eau. Soit x cette distance en centimètres. Admettons que la densité relative de l'eau est 1 et que le chalumeau a la même section sur toute sa longueur. Dans ces conditions, on peut porter une graduation sur la paille pour mesurer les densités relatives de liquides différents (en allant de 0,6 à 1,2 par exemple) en appliquant la formule :

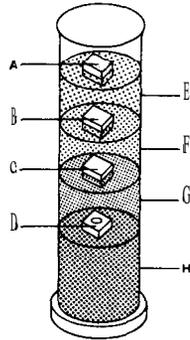
Distance entre le niveau du liquide et l'extrémité

$$\text{inférieure de la paille} = \frac{x}{\text{Densité relative du liquide}}$$

2.287 *Flottabilité dans des liquides différents*

Se procurer un bocal haut et étroit, ou une éprouvette, ou une bouteille, ainsi que les liquides suivants : mercure, tétrachlorure de carbone, eau et kérosène (pétrole ordinaire). Il faut également

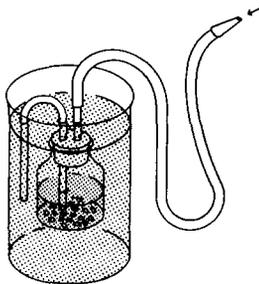
- A Bouchon de liège
- B Paraffine
- C Ébène
- D Fer ou acier
- E Pétrole ordinaire
- F Eau
- G Tétrachlorure de carbone
- H Mercure



une petite boule d'acier ou de fer (bille de roulements, par exemple) ou un écrou ou boulon en fer; un petit morceau d'ébène ou d'un autre bois qui ne flotte pas sur l'eau; un morceau de paraffine; un bouchon de liège. Superposer dans le bocal du mercure, du tétrachlorure de carbone, de l'eau et du pétrole. Y laisser tomber les quatre corps solides; on pourra constater que le fer s'enfonce dans les trois premiers liquides, mais flotte sur le mercure, que l'ébène s'enfonce dans l'eau et dans le pétrole, mais flotte sur le tétrachlorure de carbone, que la paraffine s'enfonce dans le pétrole, mais flotte sur l'eau, et que le bouchon de liège flotte sur le pétrole.

2.288 Comment un sous-marin plonge et fait surface

Mettre des morceaux de fer ou des cailloux au fond d'une petite bouteille à large goulot et verser



dessus un peu de paraffine fondue pour les fixer de telle sorte que la bouteille flotte en position verticale. La boucher avec un bouchon de caoutchouc à deux trous. Dans l'un des trous, enfoncer

une tubulure de verre en U dont une branche ira jusqu'au fond de la bouteille. Dans l'autre, introduire une courte tubulure en verre prolongée par un tuyau en caoutchouc. Placer la bouteille dans un grand récipient rempli d'eau. Vider une partie de l'air qu'elle contient en aspirant par le tuyau de caoutchouc : de l'eau sera aspirée dans la bouteille par le siphon et la bouteille s'enfoncera. On peut la faire remonter à la surface en soufflant pour refouler une partie de l'eau qu'elle contient.

Il ne serait pas pratique d'utiliser de l'air comprimé pour vider les ballasts d'un sous-marin en plongée; c'est pourquoi les mécaniciens des sous-marins s'arrangent pour que la densité moyenne du submersible soit telle qu'il flotte en équilibre entre deux eaux : la plongée et la remontée s'effectuent grâce au gouvernail de profondeur. Mais, pour maintenir le sous-marin en surface, on expulse l'eau des ballasts en utilisant l'air libre extérieur.

Le dispositif ci-dessous illustre également le principe de fonctionnement des caissons ou pontons utilisés pour renflouer les navires. Pour le mettre en évidence, attacher un poids à la bouteille, laisser couler l'ensemble au fond du grand récipient, puis insuffler de l'air dans la bouteille pour faire remonter la charge.

2.289 Pourquoi un corps flotte ou coule

Fabriquer un petit bateau avec un morceau de feuille de plomb, d'étain ou d'aluminium et le faire flotter sur l'eau d'une casserole; puis en faire une petite boulette en le roulant dans les doigts, et essayer de le faire flotter. Que remarque-t-on? Quelle est l'explication la plus satisfaisante de ce phénomène?

Tension superficielle

2.290 Action du savon sur la tension superficielle

Prendre une grande assiette et la laver soigneusement jusqu'à ce qu'elle soit bien propre, puis la remplir d'eau froide et la laisser un moment sur la table pour que l'eau qu'elle contient soit parfaitement au repos. Saupoudrer la surface de l'eau d'une petite quantité de talc. Mouiller un mor-

ceau de savon et lui faire toucher la surface de l'eau près du bord de l'assiette : aussitôt, la poudre de talc sera repoussée vers l'autre bord de l'assiette. Le savon a réduit la tension superficielle sur un point tandis que la tension superficielle augmentait de l'autre côté et faisait contracter la surface, entraînant ainsi la poudre de talc. On peut faire une expérience analogue en utilisant de la fleur de soufre au lieu de talc et un détergent liquide de synthèse au lieu de savon. Si le récipient est en verre, on peut le placer sur un rétroprojecteur et faire apparaître l'image sur un écran.

2.291 Une aiguille peut flotter sur l'eau

Se procurer une aiguille en acier et la sécher soigneusement. La poser sur les dents d'une fourchette et plonger délicatement la fourchette dans l'eau. Si l'on retire la fourchette avec beaucoup de précaution, l'aiguille flotte. Observer attentivement la surface de l'eau. Peut-on voir que la pellicule superficielle semble s'incurver sous le poids de l'aiguille?



2.292 Faire flotter une lame de rasoir

Se procurer une lame de rasoir à double tranchant; essayer de la faire flotter à la surface de l'eau. Observer la surface de celle-ci pour voir si la pellicule superficielle est déprimée par la lame.

2.293 Comment soulever la surface de l'eau

Faire une sorte de crochet en courbant la pointe d'une épingle ou l'extrémité d'un fil de fer fin. Aiguiser la pointe du crochet à la lime : elle doit être très affilée. Tenir un verre à boire de sorte que la surface de l'eau contenue dans le verre soit à hauteur des yeux. Plonger le petit crochet sous la surface de l'eau et soulever délicatement la pointe jusqu'à la surface : si l'on procède avec

beaucoup de précaution, la pointe ne percera pas la pellicule superficielle, mais la soulèvera légèrement.

2.294 Comment retenir de l'eau dans un tamis

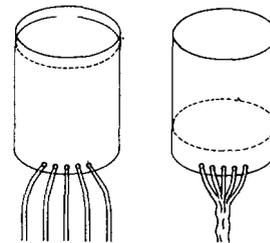
Verser un peu d'huile sur le treillis métallique d'un tamis utilisé pour la cuisine et le secouer pour que l'huile en excès soit chassée et ne bouche pas les trous. Prendre un pot d'eau et verser avec précaution de l'eau dans le tamis en la faisant couler le long du bord. Quand le tamis est à peu près à moitié plein, le tenir au-dessus de l'évier ou au-dessus d'un seau et le regarder par-dessous : on verra que l'eau exerce une pression qui lui fait former des saillies à travers les trous, mais qu'elle est retenue par la tension superficielle qui l'empêche de couler. Si l'on touche du doigt le fond du tamis, l'eau se met à couler.

2.295 Comment remplir un verre plus qu'à ras bord

Mettre un verre à boire dans un plat ou dans une soucoupe. Bien frotter le bord du verre avec un linge sec. Verser de l'eau dans le verre : on remarquera qu'on peut faire monter l'eau plusieurs millimètres au-dessus du bord. Essayer ensuite de faire tomber des pièces de monnaie ou des rondelles de métal dans le verre, de façon qu'elles y pénètrent de champ, et voir de quelle hauteur on peut faire dépasser l'eau du bord sans qu'elle s'écoule.

2.296 Comment serrer de l'eau entre les doigts

Prendre une vieille boîte à conserves et, à l'aide

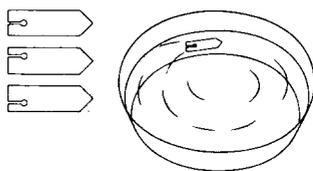


d'un clou, percer 5 trous, distants d'environ 5 mm, tout près du fond de la boîte. Remplir la boîte d'eau : 5 filets d'eau jailliront des trous. Saisir les 5 jets d'eau entre le pouce et l'index et

l'on verra qu'on peut les réunir en un seul filet. Si l'on passe la main sur les 5 trous, on obtient de nouveau 5 filets d'eau séparés (voir figure).

2.297 Propulsion d'un bateau grâce à la tension superficielle

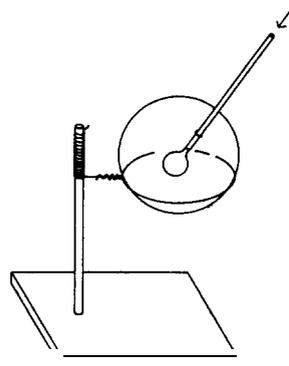
Se procurer des morceaux de camphre ou des boules de naphthaline. Découper dans du papier fort 2 ou 3 petits bateaux d'environ 2,5 cm de long. Découper dans la poupe un logement de largeur suffisante pour maintenir un petit morceau de camphre de telle sorte qu'il touche la surface de l'eau sans risquer de tomber. Faire flotter les petits bateaux dans une grande casserole d'eau. Une variante intéressante consiste à découper l'encoche dans la poupe à gauche ou à droite de l'axe du bateau (voir figure).



Propulsion d'un bateau grâce à la tension superficielle

2.298 Bulles de savon

Les bulles de savon et les pellicules d'eau savonneuse permettent de bien observer les phénomènes de tension superficielle. Pour faire une bonne solution savonneuse, mettre 3 cuillerées rases de poudre de savon ou de savon en paillettes dans la valeur de 4 tasses d'eau chaude et laisser reposer la solution pendant 3 jours avant de s'en servir. Essayer de faire des bulles avec un anneau destiné à cet usage, avec une paille, avec une pipe en terre, ou avec une vieille trompette en fer-blanc d'environ 4 cm de diamètre. On peut aussi faire un très bon chalumeau en incisant (ce sera très facile avec une lame de rasoir) l'extrémité d'une paille pour faire une couronne de 4 languettes d'environ 1 cm de long s'écartant de l'orifice.

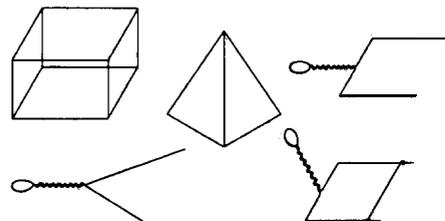


2.299 Support pour bulles de savon

Fixer dans un socle en bois une tige cylindrique d'environ 15 cm de longueur et enrouler autour d'elle du fil de fer ou de cuivre terminé par une boucle d'environ 10 cm de diamètre (voir figure). Plonger la boucle dans de l'eau savonneuse. Faire une grosse bulle de savon et poser cette bulle sur la boucle. Plonger une paille ou un chalumeau dans l'eau savonneuse et enfoncer délicatement l'extrémité de cette paille dans la grande bulle : essayer de faire une petite bulle à l'intérieur de la grande. (Il faudra sans doute s'entraîner un peu.)

2.300 Expériences avec des pellicules de savon

Confectionner avec du fil métallique les objets représentés sur la figure, puis les plonger dans une



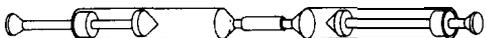
Expériences avec des pellicules de savon

solution savonneuse concentrée et observer les pellicules de savon qui se forment. Plonger dans la solution la fourche qui comporte une traverse coulissante, puis tirer sur cette traverse et observer l'étirement de la pellicule. Lâcher la traverse : elle sera ramenée en arrière par la contraction de la pellicule savonneuse.

Pression atmosphérique

2.301 Étude de la pression de l'air à l'aide de seringues

Bon nombre d'expériences portant sur la pression de l'air peuvent être faites au moyen de seringues en plastique de 100 cm^3 . Si l'on scelle l'extrémité de sortie (l'embase) de la seringue, celle-ci peut être utilisée pour comprimer l'air ou pour réaliser un vide partiel. Pour sceller cette extrémité de sortie, on peut y fixer un petit bout de tuyau en plastique qu'on serrera avec une pince ou qu'on bouchera avec une cheville de bois. On peut aussi enfoncer l'extrémité dans un bloc de bois ou de matière plastique creusé à la dimension appropriée. En utilisant ce même bloc de bois comme socle, on peut mettre la seringue en position verticale : elle pourra alors servir notamment de balance, les poids étant mesurés en fonction de la compression de l'air. Remplie d'une petite quantité d'air et suspendue la tête en bas à un piton à œillet, une seringue peut constituer une sorte de peson analogue à un peson à ressort. Si l'on comprime de l'air humide dans une seringue, on provoquera une condensation de vapeur d'eau et l'on obtiendra de la « pluie ». Si l'on y fixe un tuyau en plastique de 20 ou 30 cm, on obtiendra une pompe aspirante rudimentaire. Avec des tubes de longueurs différentes dans lesquels on mettra de l'eau, on pourra réaliser un thermomètre à air ou thermo-baromètre, ou, en utilisant 11 ou 12 m de tuyau, un baromètre à eau. En reliant 2 seringues par un tuyau, on peut mettre en évidence les variations de pression en vases clos (voir figure). Les seringues étant gra-



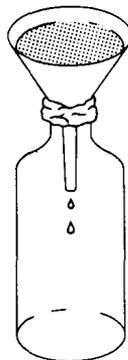
duées, il est naturellement très facile de quantifier ces expériences. (Voir aussi expériences 2.196 et 2.309.)

2.302 Présence de l'air

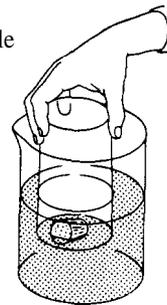
Enfoncer une bouteille à goulot étroit la tête en bas dans un récipient plein d'eau, puis incliner lentement le goulot de la bouteille vers la surface de l'eau : Que voit-on? La bouteille était-elle vide? Mettre une motte de terre dans un récipient plein d'eau et observer : Ne voit-on rien qui puisse faire soupçonner la présence d'air dans la motte de terre? Mettre une brique dans un récipient plein d'eau : Ne voit-on rien qui indique la présence d'air dans cette brique? Remplir d'eau un verre et l'observer attentivement. Le laisser dans un endroit chaud pendant plusieurs heures et l'observer à nouveau : Quelle différence constate-t-on? Y a-t-il des signes indiquant que l'eau contient de l'air?

2.303 L'air tient de la place

A. Se procurer une bouteille et un entonnoir. Mettre l'entonnoir sur le goulot de la bouteille et boucher l'interstice de pâte à modeler, en veillant à ce qu'elle soit bien tassée. Verser lentement de l'eau dans l'entonnoir (voir figure). Que remarque-t-on? Quelle propriété de l'air peut-on en déduire? Recommencer l'expérience et verser de l'eau jusqu'à ce qu'elle remplisse presque l'entonnoir; à l'aide d'une pointe, percer délicatement un trou dans le bouchon en pâte à modeler : Que remarque-t-on? A quoi est-ce dû?



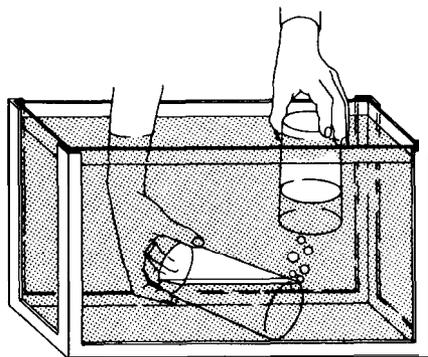
A. Présence d'air dans une bouteille



B. Présence d'air dans un verre

B. Mettre de l'eau dans un grand bocal de verre jusqu'à mi-hauteur. Faire flotter un bouchon sur l'eau et enfoncer un verre renversé sur le bouchon : Que remarque-t-on? Coincer solidement un morceau de papier dans le fond du verre et recommencer l'expérience : Le papier est-il mouillé?

C. Prendre un aquarium ou un grand cristalliseur et le remplir presque entièrement d'eau. Y plonger un verre retourné. De l'autre main, plonger un deuxième verre dans le même récipient; pencher ce deuxième verre de façon à le laisser se remplir d'eau, et le tenir la tête en bas au-dessus du premier. Incliner avec précaution le premier verre



C. Transvasement d'air opéré sous l'eau

pour que l'air s'échappe tout doucement (voir figure) et remplir le deuxième verre de l'air issu du premier. Que peut-on déduire de cette expérience en ce qui concerne l'air?

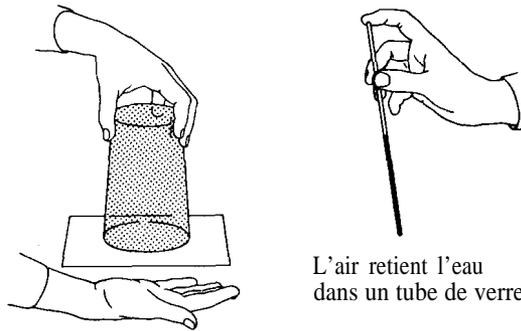
2.304 L'air a une masse

Poser sur une table une règle plate d'environ 1 m de long, en en faisant dépasser à peu près la moitié du bord de la table. Étendre une feuille de journal sur la partie de la règle qui se trouve sur la table et la lisser pour l'étaler bien à plat. Donner de la main ou avec un maillet un coup sec sur l'autre extrémité de la règle : la règle se casse à l'endroit où elle dépasse le bord de la table. Cela est dû à

la pression qu'exerce l'air sur la grande feuille de papier, donc à sa force pressante, qui a maintenu la partie de la règle posée sur la table. Se mettre sur le côté pour cogner sur la règle. (Voir aussi expérience 4.116.)

2.305 L'air exerce une pression

A. Couvrir d'un rectangle en carton un verre rempli d'eau à ras bord. Maintenir le carton contre les bords du verre et renverser celui-ci. Retirer la main qui maintenait le carton (voir figure). Poser le verre, toujours l'orifice en bas, sur une table bien lisse et le faire glisser délicatement du carton sur la table, puis le déplacer tout doucement à sa surface. Peut-on trouver un moyen de vider le verre sans répandre l'eau sur la table?



L'air retient l'eau dans un tube de verre

L'air retient l'eau dans un verre

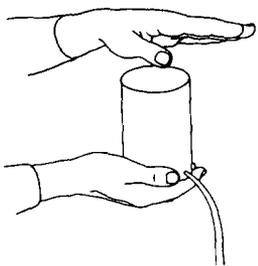
Quelle propriété de l'air peut-on déduire de cette expérience? (Voir aussi expérience 4.117.)

B. Obturer du doigt l'extrémité d'un tube de verre droit ou d'une paille et plonger l'autre extrémité dans un récipient contenant de l'eau colorée. Retirer le doigt et observer ce qui se passe. Remettre le doigt à l'extrémité du tube, puis sortir verticalement le tube du récipient (voir figure) : Que se passe-t-il? Pourquoi? Quelle propriété de l'air se trouve ainsi mise en évidence?

C. Percer, à l'aide d'une pointe, un trou près du fond d'une boîte à conserves. Remplir la boîte

d'eau. Appuyer fortement la paume de la main sur l'ouverture de la boîte pour la fermer hermétiquement : l'eau cesse de s'écouler par le trou. Retirer la main et l'eau se remet à couler (voir figure). Que peut-on déduire de cette expérience?

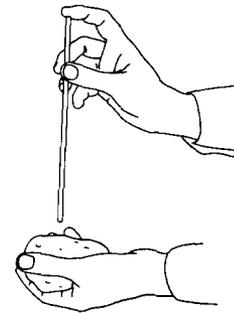
D. Mouiller le fond d'une ventouse de plombier et la presser contre une surface plane, comme le dessus d'un tabouret. Essayer de soulever le tabouret par le manche de la ventouse : Pourquoi est-ce possible? Mouiller 2 ventouses de plombier et les appliquer vigoureusement l'une contre l'autre; essayer ensuite de les séparer (voir figure) : Pourquoi est-il si difficile d'y parvenir? Cette expérience est comparable à l'expérience classique des hémisphères de Magdebourg.



La pression de l'air fait couler l'eau



Hémisphères de Magdebourg improvisés



2.307 Baromètre à mercure simplifié (avant de faire cette expérience, se reporter au paragraphe du chapitre premier qui indique les précautions à prendre pour manipuler du mercure)

A. Sceller une extrémité d'un tube de verre d'environ 80 cm de long en le faisant tourner dans la flamme d'un brûleur à gaz (figure A) : tenir le tube aussi vertical que possible. A l'aide d'un court morceau de tube de caoutchouc, relier à l'autre extrémité de ce tube barométrique un petit entonnoir ou un tube à entonnoir. Verser du mercure dans le tube, tenu verticalement, l'entonnoir en haut, en procédant lentement. *Attention* : les vapeurs de mercure sont nocives et il ne faut pas les respirer. Si des bulles d'air se trouvent emprisonnées, les faire disparaître par de petites secousses verticales. Remplir le tube jusqu'à 1 cm du haut environ, et finir le remplissage à l'aide d'un compte-gouttes afin de ne pas répandre de mercure. En ajouter jusqu'à ce que le niveau dépasse un peu le bord du tube. Verser ensuite du mercure dans une bouteille ou un petit cristalliseur jusqu'à une hauteur d'environ 2 cm. Mettre des gants en caoutchouc et boucher du doigt l'ouverture du tube; le retourner sur la cuve à mercure et retirer le doigt quand l'extrémité du tube plonge dans le mercure. Une fois fixé à un support approprié, ce tube pourra servir de baromètre à mercure. La différence entre les niveaux du mercure dans le tube et dans la cuve indique la pression atmosphérique en centimètres de mercure.

2.306 Utilisation de la pression de l'air pour enfoncer une paille dans une pomme de terre

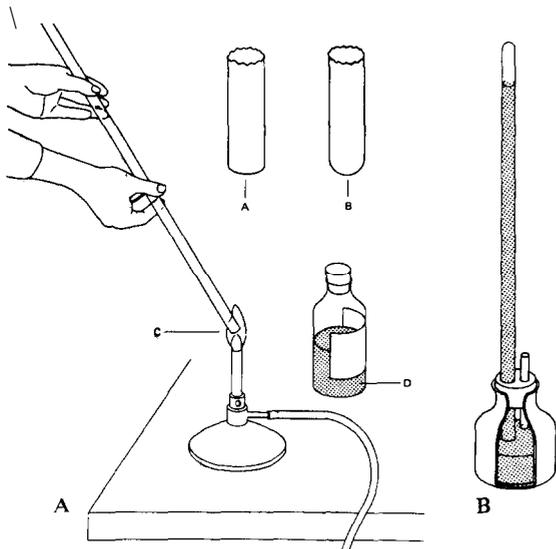
Boucher l'extrémité d'un chalumeau pour boissons fraîches avec l'index et prendre une pomme de terre dans l'autre main. D'un coup sec, enfoncer la paille dans la pomme de terre, en attaquant celle-ci bien perpendiculairement à sa surface. En bouchant avec le doigt l'extrémité de la paille, on empêche l'air de s'échapper quand la paille pénètre dans la pomme de terre; l'air, comprimé, donne à la paille une résistance suffisante pour qu'elle ne se courbe pas. Le résultat est immédiat et surprenant : la paille fragile traverse sans difficulté la pomme de terre (voir figure).

B. La cuve à mercure peut être une ancienne bouteille à encre : si le baromètre est utilisé en permanence, cela protégera le liquide de la poussière et limitera l'émanation de vapeurs de mercure. Avant de remplir le tube de mercure comme indiqué en A ci-dessus, préparer un bouchon à 2 trous dont l'un recevra le tube du baromètre et l'autre une courte tubulure en verre (voir figure B). Faire glisser le bouchon le long du tube barométrique jusqu'à une hauteur d'environ 15 cm à partir de l'orifice et introduire le petit tube dans l'autre trou. D'autre part coller une rustine au fond de la bouteille, juste en face du goulot. Remplir le tube du baromètre de la façon indiquée ci-dessus, puis coiffer l'extrémité ouverte du tube avec la bouteille à encre renversée, en appuyant fortement pour que la rustine soit bien pressée sur le tube. Tout en maintenant solidement le tube au contact de la rustine, retourner l'ensemble et poser la bouteille sur la table. Sans cesser d'appuyer sur le tube, verser du mercure dans la bouteille; soulever légèrement le tube pour laisser descendre un

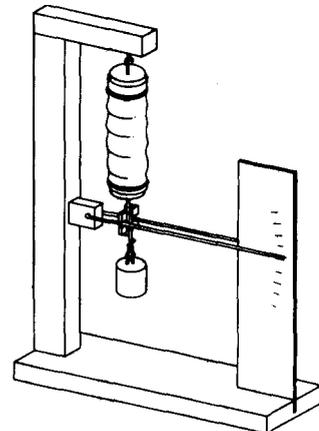
peu de son mercure dans la bouteille, et déplacer le bouchon pour l'enfoncer dans le goulot de celle-ci. On peut, si on le désire, fixer le baromètre sur un support vertical portant une règle graduée et l'accrocher au mur. Il faut alors que le haut du tube soit maintenu, et l'on peut insérer la bouteille dans une petite boîte à conserves de diamètre à peine supérieur solidement fixée au support.

2.308 Baromètre anéroïde

Pour faire un baromètre anéroïde rudimentaire, prendre un tube de caoutchouc annelé faisant soufflet, comme on en trouve dans certains conduits d'air d'automobile, ou encore comme celui qui constitue les poignées de guidons de bicyclette. Il ne faudra pas s'attendre à une grande précision étant donné les multiples causes d'erreur. Le tube de caoutchouc fera fonction de chambre à vide et sera fermé aux deux bouts par 2 bouchons de bonne qualité ou par 2 bouchons de bois non poreux. Comprimer le caoutchouc avant de les mettre en place; rendre le joint étanche en y mettant de la cire et en ligaturant le caoutchouc. Un poids suspendu au bouchon inférieur compensera partiellement l'action de la pression atmosphérique et étendra le soufflet. Si l'on monte une aiguille comme l'indique la figure, on pourra disposer sur l'appareil une échelle graduée où on lira les variations de la pression atmosphérique.



A Tube avant fermeture à chaud
B Tube après fermeture à chaud
C Extrémité du tube sur la partie la plus chaude de la flamme
D Mercure



2.309 *Mesure de la pression atmosphérique à l'aide d'une pompe de bicyclette*

En retournant la soupape d'une pompe de bicyclette comme l'indique la figure, on peut s'en servir pour mesurer la pression atmosphérique. On assurera une meilleure étanchéité du piston en le graissant avec un peu d'huile épaisse. On peut calculer la section transversale du cylindre de la pompe, ou la mesurer à l'aide de papier millimétré, ce qui permettra de calculer la pression de l'air en kg/cm^2 . On trouvera le poids équilibré par la poussée verticale de la pression atmosphérique en suspendant des poids divers à un crochet vissé dans une cheville de bois fixée à la poignée de la pompe, celle-ci étant renversée. (Voir aussi expériences 2.196 et 2.301.)

2.310 *Mesure de la pression atmosphérique à l'aide d'une ventouse en caoutchouc*

Un peson à ressort permet de mesurer la force nécessaire pour arracher la ventouse d'une surface lisse. Mesurer la surface d'application de la pres-

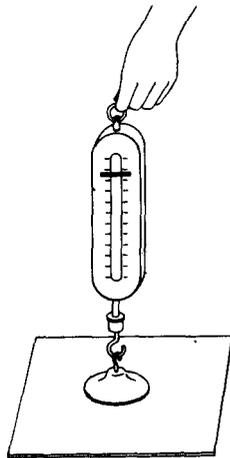
sion atmosphérique n'est pas suffisamment lisse, prendre une plaque de verre épais qu'on retiendra d'une main tandis qu'on tirera sur le peson de l'autre. Faire plusieurs essais en utilisant, si possible, des ventouses de dimensions différentes (voir figure).

2.311 *Pompe aspirante rudimentaire*

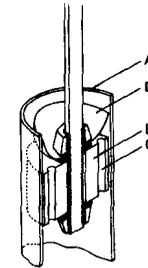
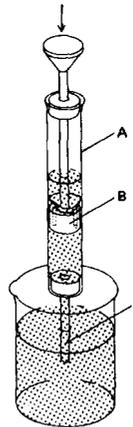
Pour fabriquer une pompe aspirante rudimentaire, il suffit d'un tube de verre ou de métal (des conduites d'eau en fer font très bien l'affaire), de deux bouchons et d'une tige métallique. Enrouler une ficelle autour du bouchon jouant le rôle de piston pour qu'il soit bien ajusté dans le corps de pompe. L'autre bouchon, muni d'une tubulure en bambou, en verre ou en caoutchouc fort, formera le conduit d'aspiration. Percer 2 trous dans le piston à l'aide d'un fil porté au rouge, et fixer au-dessus de ces trous une mince rondelle de cuir servant de soupape : la soupape se ferme quand le piston monte et laisse passer le liquide quand il descend (voir figure).



2.309



2.310



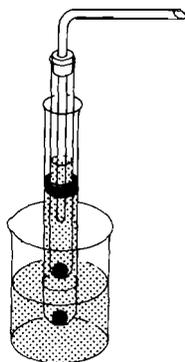
2.311

- A corps de pompe (verre ou métal)
- B Bouchon servant de piston
- C Trous percés dans le piston
- D Soupape en cuir ou en caoutchouc
- E Tuyau d'aspiration

sion atmosphérique en pressant la ventouse sur une feuille de papier millimétré. Utiliser de préférence une ventouse munie d'un crochet ; à défaut, enrouler solidement du fil de cuivre autour du collet de la ventouse et y faire une boucle. Si la

2.312 *Pompe foulante faite avec des tubes à essai*
Pour construire cet appareil, chauffer le fond d'un tube à essai et y percer un trou par soufflage; de la même manière, faire un trou dans le fond d'un tube à essai de plus grande dimension. Adapter

sur ces trous des billes de roulements ou des billes de verre qui serviront de soupapes. L'un des deux tubes glissera dans l'autre à frottement doux,



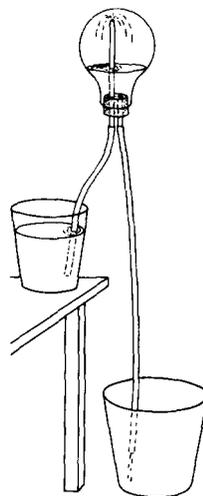
grâce à un enroulement de ficelle placé autour du plus petit. Fixer solidement sur le petit tube un bouchon muni d'un tube coudé, comme l'indique la figure : il constituera le piston de la pompe foulante (voir figure).

2.313 Siphon

Se procurer 2 grandes bouteilles de verre et les remplir à moitié d'eau. Réunir 2 tubes de verre de 30 cm de long par un tube de caoutchouc ou de plastique de même longueur. Remplir d'eau le tuyau ainsi formé et le boucher avec les doigts, puis introduire les tubes de verre terminaux dans chacune des bouteilles d'eau. Ce siphon permettra de faire passer l'eau de l'une à l'autre et vice versa en soulevant plus ou moins chaque bouteille. L'expérience est plus intéressante si l'on colore l'eau avec de l'encre. Poser les 2 bouteilles sur une table : Est-ce que l'eau coule par le siphon? En quoi la pression de l'air contribue-t-elle au fonctionnement du siphon?

2.314 Jet d'eau actionné par un siphon

Adapter un bouchon de caoutchouc à 2 trous sur un bocal de verre (ou sur un ballon constitué par une ampoule électrique usagée). Dans l'un des 2 trous, enfoncer un tube effilé qui pénétrera jusqu'à mi-hauteur environ du bocal et dépassera à l'extérieur d'environ 2 cm. Par l'autre trou faire



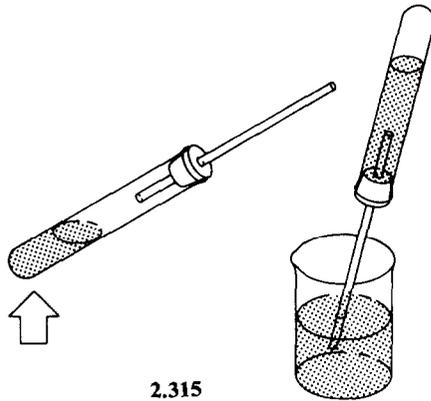
passer une courte tubulure en verre qui affleuera juste la face intérieure du bouchon. Fixer au tube effilé un tube de caoutchouc de 20 cm de long, et un autre tube de caoutchouc de 1 m à l'autre tubulure. Mettre de l'eau dans le bocal et y fixer le bouchon. Plonger le tube de caoutchouc le plus court dans un récipient d'eau posé sur une table et le plus long dans un seau placé sur le sol et renverser le siphon (voir figure). On verra mieux le jet d'eau si l'eau contenue dans le bocal a été colorée avec un peu d'encre. On peut faire un jet d'eau double en montant un deuxième bocal de manière identique au premier et en les reliant entre eux.

2.315 Comment élever de l'eau grâce à la pression atmosphérique

Boucher un tube à essai avec un bouchon à un trou muni d'une tubulure de verre. Chasser l'air contenu à l'intérieur en y faisant bouillir un peu d'eau. Renverser le tube à essai et plonger le tube à dégagement dans un récipient rempli d'eau : la pression atmosphérique fera remonter l'eau dans le tube au point de le remplir presque complètement (voir figure).

2.316 Relation entre le volume et la pression de l'air

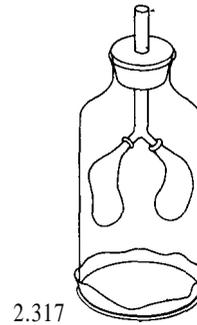
Prendre un bouchon de caoutchouc qui s'adapte exactement sur un récipient de verre étroit ou sur



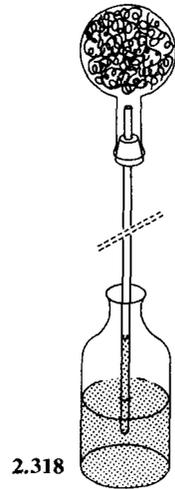
2.315



2.316



2.317



2.318

une éprouvette graduée. Le fixer à l'extrémité inférieure d'une tige de bois en haut de laquelle on fixera un couvercle de boîte métallique circulaire servant de plateau de balance. Graisser le piston ainsi constitué à l'aide d'un peu de vaseline ou d'huile épaisse : grâce à ce piston, on emprisonne l'air contenu dans l'éprouvette. Placer des poids différents sur le plateau et mesurer le volume de l'air contenu à l'intérieur du cylindre pour chacun de ces poids (voir figure). On remarquera qu'à température constante, le volume est inversement proportionnel à la pression.

2.317 *Modèle du fonctionnement des poumons*

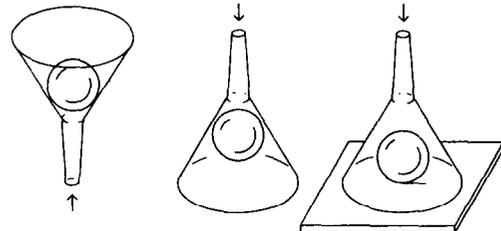
Découper le fond d'une grande bouteille de matière plastique ou de verre. Fixer dans le goulot un bouchon muni d'un tube de verre en Y, les branches de l'Y étant dirigées vers le bas. Sur chacune de ces branches, ligaturer un ballon de baudruche ou une petite vessie. Remplacer le fond de la bouteille par une membrane de papier ou de caoutchouc bien ligaturée et percée d'un trou. Faire passer dans ce trou une ficelle terminée par un nœud et l'y fixer en bouchant le trou avec de la cire ou de la paraffine. Si l'on tire sur la ficelle, on abaisse ce diaphragme : l'air entre alors par le goulot du tuyau en Y et fait dilater les ballons; si l'on presse sur le diaphragme, les ballons se dégonflent (voir figure).

2.318 *Oxydation et pression de l'air*

Laver un petit tampon de laine d'acier avec de l'essence ou de la benzine pour le dégraisser complètement, puis l'essorer et desserrer les fibres d'acier pour le gonfler un peu. Dès qu'il est sec, le mettre dans un ballon que l'on fermera avec un bouchon à un trou muni d'un tube de verre de 40 cm. Renverser le ballon sur un récipient plein d'eau de manière que l'extrémité du tube soit sous l'eau (voir figure). Laisser ainsi pendant quelques heures et observer ce qui se passe. Comment l'expliquer? (Voir aussi expériences 2.40 et 4.58.)

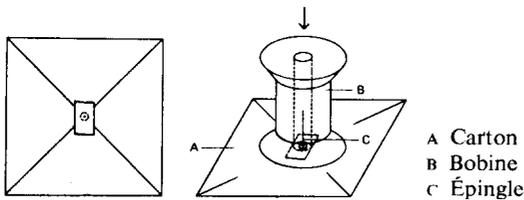
2.319 *Expériences sur l'écoulement de l'air*

A. Mettre une balle de ping-pong dans un entonnoir. Souffler fortement dans le tuyau de l'entonnoir pour essayer de chasser la balle de ping-pong. Renverser l'entonnoir et tenir la balle de ping-pong contre le goulot : souffler alors fortement dans le tuyau et observer ce qui se passe quand on



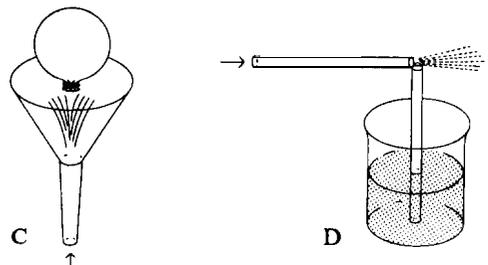
lâche la balle. Mettre la balle sur une table et la coiffer avec l'entonnoir, puis souffler dans le tuyau et voir si on arrive à soulever la balle. Comment peut-on expliquer tout cela? (voir figure).

B. Découper un carré de bristol d'environ 7 cm de côté. Tracer les diagonales et faire passer une épingle au centre du carton, à l'intersection des diagonales. Fixer la tête de l'épingle en la couvrant de papier adhésif. Faire passer l'épingle dans le trou d'une bobine de fil vide et essayer de faire décoller le carton de la bobine en soufflant par l'autre extrémité du trou (voir figure). Mettre le dispositif la tête en bas et maintenir le carton contre la bobine en appuyant légèrement avec le doigt. Souffler dans le trou, puis retirer le doigt. Comment expliquer ce qui se passe?



C. Relier le tuyau d'un entonnoir à une source d'air comprimé, par exemple le tuyau d'évacuation de l'air d'un aspirateur. Gonfler un ballonnet de baudruche ou de caoutchouc et en ligaturer le col avec un bout de fil de cuivre qui le lestera. Envoyer l'air comprimé dans l'entonnoir et placer le ballon en équilibre dans le courant d'air. Essayer également de faire flotter une balle de ping-pong entre le ballon et l'entonnoir (voir figure C).

D. Se procurer 2 tubes de verre ou 2 chalumeaux transparents. Plonger l'un des tubes dans un verre rempli à moitié d'eau colorée. Mettre le second tube à angle droit du premier, les deux extrémités étant très près l'une de l'autre. Souffler dans le tube horizontal et observer le niveau de l'eau dans l'autre tube (voir figure D). Comment cela s'explique-t-il?



Chapitre trois

Sciences biologiques

Introduction

Partout dans le monde, le milieu où vit l'homme est peuplé d'une inépuisable quantité d'êtres vivants dignes d'étude scientifique; malheureusement, trop peu de maîtres savent tirer parti de ces ressources locales. Cela tient à de nombreuses raisons et, peut-être, plus particulièrement, à ce que la plupart d'entre eux ne disposent pas d'un cadre d'ensemble qui leur fournisse le fil conducteur pour passer de l'observation au jour le jour

des êtres vivants à une conception générale de la vie. C'est pourquoi l'on a présenté ci-après un exemple de cadre conceptuel de ce genre dans lequel s'inscrivent les activités décrites ensuite. On espère, par cette présentation, non seulement aider les maîtres et professeurs à organiser des observations et les encourager à en pratiquer de façon continue, mais aussi leur faciliter leurs travaux sur les êtres vivants.

Niveaux d'organisation

Le cadre conceptuel présenté ici s'inspire du principe des « niveaux d'organisation » des êtres vivants tels que les conçoivent les biologistes. Cette manière de voir procède de l'idée que la meilleure façon de comprendre la vie consiste à organiser les êtres vivants, les groupes d'êtres vivants, et les parties des êtres vivants selon un ordre ou une hiérarchie naturels. Lorsqu'on applique cette conception dans l'enseignement des sciences, on met l'accent sur ce qui se trouve au milieu de la hiérarchie, car c'est ce qui correspond à la situation des êtres vivants formant des unités organiques (organismes) : l'expérience courante de la vie se situe principalement à ce niveau.

grand nombre d'observations isolées en un nombre restreint de catégories logiques. Le professeur de sciences ne peut s'empêcher de ressentir une impression d'écrasement devant la variété infinie des êtres vivants et de leurs activités, mais il lui faut dépasser ce stade et faire mieux que s'émerveiller de la complexité des choses naturelles. Il doit mettre de l'ordre dans ses observations en se référant à un schéma fondamental qui lui permettra de mieux comprendre ce qu'est la vie. Le concept des « niveaux d'organisation » est un schéma de ce genre. Ce schéma ou modèle comprend plusieurs parties qui sont exposées ci-dessous.

3.1 Organismes

Les organismes sont des formes vivantes individuelles, dont beaucoup se rencontrent très couramment autour de nous. Un chien, un arbre, un poisson, un ver de terre, un champignon, une cellule de levure de bière, pris individuellement .

En quoi consistent les niveaux

L'obscurité d'un sujet complexe s'éclaire considérablement dès qu'on commence à imaginer un schéma d'ensemble permettant de regrouper un

Schéma d'organisation

Niveaux supérieurs	Biosphère Biomes Communautés Populations	Groupes d'organismes
Organismes		
Niveaux inférieurs	Systèmes d'organes Organes Tissus Cellules	Organismes ou parties d'organismes
	Organites Macromolécules Molécules Particules	Parties d'organismes

sont autant d'organismes. La taille des organismes varie considérablement : ainsi, une baleine peut être 10 millions de fois plus grosse qu'une bactérie isolée. On peut faire deux remarques importantes en ce qui concerne les organismes : a) leur structure interne est diversifiée; b) il existe d'autres organismes semblables. Il découle de ces deux remarques qu'il sera intéressant d'étudier les parties des organismes (niveaux d'organisation inférieurs) et les groupes d'organismes (niveaux d'organisation supérieurs).

3.2 Niveaux supérieurs

A. *Populations*. On appelle population un groupe d'organismes comprenant tous les individus d'une même catégorie. On définit généralement une sous-population à partir d'un certain espace occupé par elle; ainsi, par exemple, on parlera de la population d'escargots d'eau de l'aquarium de la salle de classe, ou de la population de cette catégorie d'escargots dans une mare. Si, toutefois, il n'est pas fait mention d'un espace déterminé, c'est qu'on admet implicitement que la population en question est constituée par tous les escargots de cette catégorie qui existent dans le monde entier.

B. *Communautés*. Les populations n'existent pas de manière isolée; en général, on les trouve dans un milieu qu'elle partagent avec d'autres populations. Toutes les populations qui occupent un espace déterminé constituent une communauté ou biocénose. Ainsi la communauté d'un lac est constituée par l'ensemble des populations végétales et animales vivant dans ses eaux et à leur surface. Les populations vivant sur le terrain de jeu ou la cour d'une école sont un autre exemple de communauté.

C. *Biomes*. Il arrive que de vastes portions de la surface de la terre contiennent des communautés identiques : on appelle biome (ou formation) un ensemble de communautés identiques. Un même biome peut occuper une grande partie d'un continent : ainsi, un biome à prairies (formation herbacée) occupe une grande partie de la zone centrale de l'Amérique du Nord. D'un bout à l'autre d'un biome, le climat et la topographie sont d'une assez grande uniformité.

D. *Biosphère*. Sur la terre, la vie se situe normalement dans une couche de quelques mètres de part et d'autre de la surface du sol. On appelle bio-

sphère cet espace qui a la forme d'une sphère creuse et qui contient tout ce qui vit sur la planète. La question de savoir s'il existe d'autres biosphères ou non n'a pas encore reçu de réponse, ce qui veut dire que l'extension vers le haut des niveaux d'organisation est encore inconnue. Peut-être l'exploration de l'espace conduira-t-elle à la découverte d'un autre niveau immédiatement supérieur.

3.3 Niveaux inférieurs

A. *Systèmes d'organes.* Certains organismes animaux contiennent des systèmes d'organes qui remplissent des fonctions vitales. Le système circulatoire qui comprend le cœur et les vaisseaux sanguins en est un exemple.

B. *Organes.* Tous les organismes ne contiennent pas des systèmes d'organes. Ainsi les plantes et de nombreux animaux ne semblent pas avoir de systèmes distincts; mais la plupart possèdent néanmoins des structures élémentaires appelées organes qui sont elles-mêmes composées de tissus. Le cœur est un organe; une feuille, un poumon, une racine sont également des organes.

C. *Tissus.* Un tissu est un groupe de cellules semblables remplissant une même fonction. Par exemple, les tissus musculaires sont composés de cellules qui sont capables de se contracter et de produire l'effet de traction exercé par le muscle. Certains organismes sont composés de tissus, mais ne semblent pas avoir d'organes.

D. *Cellules.* Les tissus sont constitués d'unités individuelles appelées cellules. De même que le dollar, la livre ou le franc sont devenus les éléments de base des systèmes monétaires de certains pays, la cellule constitue l'unité fondamentale de la plupart des organismes. De la plus grosse, l'œuf d'autruche, à l'un des plus petits micro-organismes, les cellules sont d'une taille extrêmement variable. Elles diffèrent également par leur fonction. En dépit de ces différences, il existe des caractères communs qui expliquent que les biologistes se soient particulièrement attachés à l'étude des cellules pour essayer de comprendre

ce qu'est la vie. Certains organismes ne sont composés que d'une seule cellule : on dit que ce sont des organismes unicellulaires.

E. *Organites.* C'est l'invention du microscope qui a permis de découvrir les cellules; des instruments plus puissants encore ont révélé que les cellules contiennent des éléments plus petits appelés organites. Les plus visibles des organites peuvent être aperçus facilement avec un microscope optique ordinaire. Il a fallu, toutefois, attendre l'invention du microscope électronique pour pouvoir parfaitement comprendre la structure interne de la cellule.

F. *Macromolécules.* Grâce au microscope électronique et à d'autres instruments perfectionnés, comme ceux qui utilisent la diffraction des rayons X, les biologistes sont désormais en mesure de pénétrer la structure des organites cellulaires. On a découvert que les organites se composent de grosses molécules (macromolécules) comme les protéines, les lipides (matières grasses) et les acides nucléiques (ADN et ARN).

G. *Molécules.* Les macromolécules sont de longues chaînes de molécules liées entre elles. Une molécule se définit comme la plus petite portion qu'on puisse prendre d'un corps et qui conserve les propriétés de ce corps. Les molécules sont constituées d'atomes réunis ou liés les uns aux autres. Un atome est la plus petite partie d'un élément.

H. *Particules.* Les atomes sont composés de particules fondamentales telles que les protons, les neutrons, les électrons, etc. Ces particules représentent la limite de ce que nous pouvons actuellement comprendre de l'organisation au niveau inférieur. On notera - et la remarque est importante - qu'au niveau supérieur d'organisation (la biosphère) aussi bien qu'au niveau inférieur, l'existence d'un niveau supplémentaire non encore découvert reste possible. Le professeur de sciences doit être conscient de la part d'incertitude qui subsiste dans notre connaissance de la « vie ». C'est le plus souvent aux niveaux intermédiaires

d'organisation - c'est-à-dire aux alentours du niveau qui correspond aux organismes - que les élèves aborderont l'étude du vivant; mais il importe qu'ils se rendent bien compte que la

connaissance scientifique doit être sans cesse remise à jour en fonction des données nouvelles apportées par l'expérimentation.

Étude des organismes

Pourquoi étudier les organismes vivants

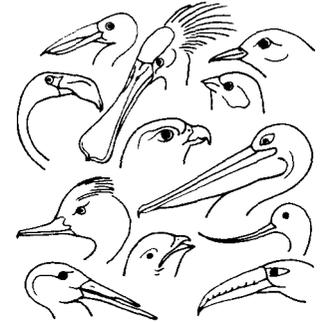
La biologie moderne met l'accent sur l'étude des organismes vivants, par opposition à celle des spécimens sacrifiés ou conservés; il semble donc raisonnable de faire en sorte que les enfants abordent l'étude des êtres vivants par l'observation des animaux ou des plantes qui vivent autour d'eux, et cela dans le milieu naturel de ces organismes, toutes les fois que la chose est possible. L'étude du comportement d'un organisme donné constitue une introduction logique.

Comportement des oiseaux

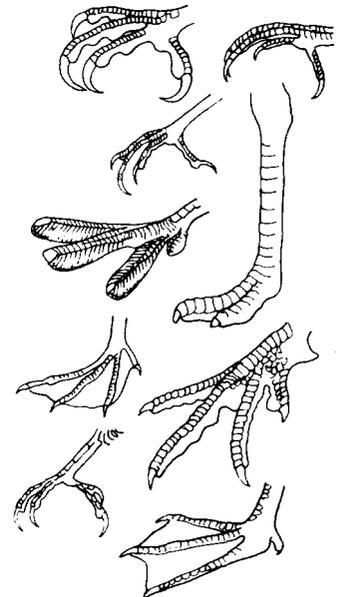
Presque tous les enfants ont eu l'occasion d'observer des oiseaux, mais, la plupart du temps, ils l'ont fait sans qu'aient été prises les dispositions nécessaires pour une observation précise, assortie de mesures. Or l'enfant a d'autant plus de chances de faire des découvertes intéressantes qu'on aura orienté son intérêt et qu'on l'aura préparé à apprendre quelque chose du comportement des oiseaux. On trouvera ci-dessous quelques indications générales pour une préparation à mener en classe.

3.4 Les types de becs et leurs fonctions

L'étude des types de becs sera suivie de l'observation du comportement alimentaire d'un oiseau pourvu d'un type de bec donné. En combinant les différentes observations de tous les élèves d'une même classe, on pourra sans doute découvrir bien des utilisations du bec. En ce qui concerne les types de becs qu'on n'aura pas pu observer, on incitera les élèves à déduire quelles sont leurs fonctions respectives (voir figure).



Types de becs



Types de pattes

3.5 Les types de pattes et leurs fonctions

En observant les oiseaux, on découvre de nombreuses fonctions des pattes, parmi lesquelles la marche sur le sol ou dans la vase, la nage, le perchage, la chasse et le transport des objets. Une promenade au bord d'un lac ou d'un ruisseau permettra, peut-être, non seulement de faire des observations directes, mais encore de prendre des moulages des empreintes laissées dans le sol mou ou dans la boue. On emportera du carton (plutôt mince), des pinces, un sachet de plâtre de Paris, un récipient et une cuiller pour gâcher le plâtre. Enrouler le carton en forme de cylindre et le maintenir au moyen d'un bracelet de caoutchouc ou d'une pince. Poser ce cylindre sur l'empreinte et y verser du plâtre gâché avec de l'eau : en prenant, le plâtre donne un moulage en relief - ou négatif - dont on pourra, si on le désire, tirer une empreinte positive (voir figure).

Les moulages recueillis peuvent être groupés en catégories correspondant aux utilisations ou fonctions. Les oiseaux aquatiques, canards ou pélicans par exemple, sont pourvus de pattes palmées qu'ils utilisent pour marcher dans la vase ou pour nager.

Des serres puissantes peuvent signifier que l'oiseau se sert de ses pattes pour chasser : c'est le cas, par exemple, des éperviers et des hiboux.

De nombreux oiseaux se servent de leurs pattes pour se percher ou pour s'agripper - c'est le cas, par exemple, des pics - tandis que d'autres s'en servent surtout pour marcher, comme les cailles, notamment.

3.6 Nidification

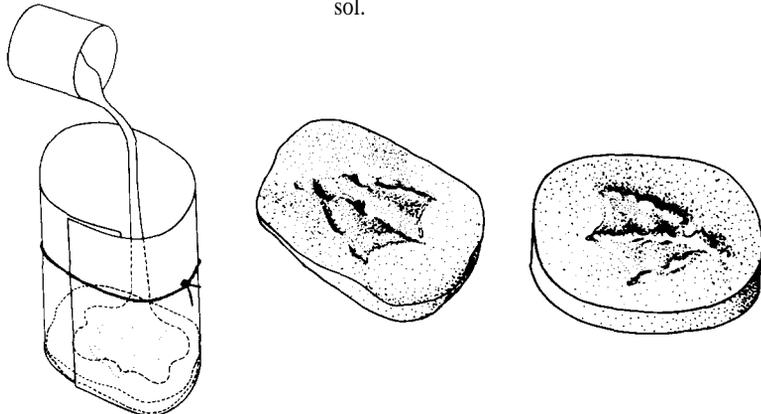
L'observation des nids, quand elle est possible, sera la source d'activités diverses. Les enfants observeront le travail de nidification des adultes, puis, après l'éclosion des petits, ils verront comment les parents les nourrissent et prennent soin d'eux. On peut suivre le déroulement de la construction des nids et noter quels sont les matériaux utilisés. Les nids abandonnés permettent de découvrir les détails de leur construction et, bien souvent aussi, de trouver de petits organismes qui vivent dans les matériaux qui les constituent. L'oiseau défend son territoire et ce comportement est important, car il limite la population des oiseaux d'un espace donné. On demandera aux enfants de chercher à observer l'agressivité des oiseaux dans les aires de nidification et de nourriture.

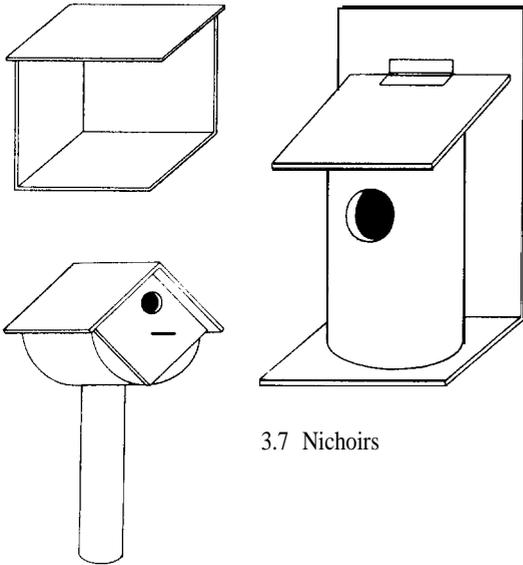
3.7 Comment attirer les oiseaux en leur construisant des nichoirs

On peut attirer les oiseaux en mettant à leur disposition des abris qui faciliteront la nidification. Pour les construire, on pourra s'inspirer des suggestions suivantes :

1. Le volume intérieur doit être adapté à la dimension du nid de l'oiseau qu'on cherche à attirer.
2. L'ouverture d'accès doit être de la largeur voulue.
3. L'intérieur ne doit pas être peint.
4. L'abri doit être placé là où l'oiseau pourra l'utiliser. et à la bonne hauteur au-dessus du sol.

Moulage d'empreintes



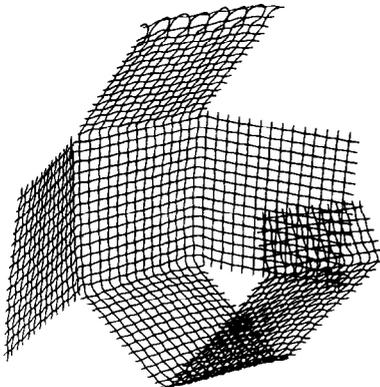


3.7 Nichoirs

Les petits oiseaux sont attirés par de petits abris pourvus de toutes petites ouvertures d'accès : pour un troglodyte, il faudra un logement d'environ 10 x 10 cm avec 12 cm de profondeur et une ouverture de 2 à 2,5 cm de diamètre (voir figure du bas).

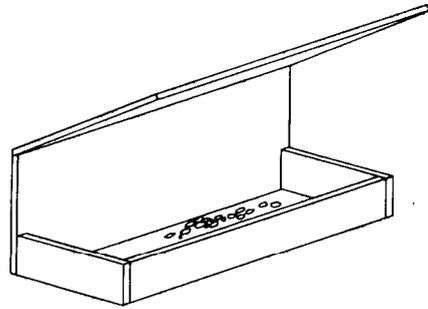
Certains oiseaux, comme le merle, feront leur nid dans un abri ouvert (voir figure du haut).

D'autres, tels que la chouette, veulent un abri qui ressemble à un tronc d'arbre. L'entrée doit avoir 10 cm de large pour permettre le passage d'un gros oiseau (voir figure),

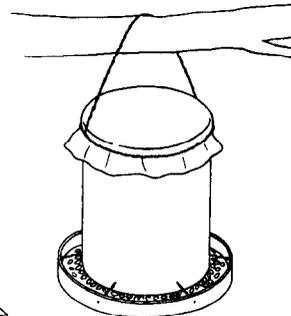
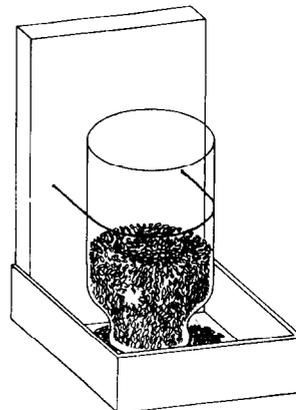


3.8 Comment attirer des oiseaux en leur fabriquant des mangeoires

On pourra poursuivre indéfiniment l'étude des oiseaux en construisant une mangeoire, à placer sur l'appui de la fenêtre de la salle de classe ou dans la cour de l'école. En y mettant des graines variées, d'une part, et de la graisse, d'autre part, on attirera un grand nombre d'oiseaux très divers à toutes les saisons de l'année. On fixera solidement la graisse à une branche ou à un support, ou encore on la placera dans une petite cage métallique. Les mangeoires à oiseaux n'attirent pas seulement les oiseaux, elles attirent aussi de petits mammifères tels que les souris ou les écureuils. On peut donc observer aussi ces animaux et voir quel genre de nourriture ils préfèrent, à quels moments ils se nourrissent, et quelles sont leurs autres habitudes. On pourra fixer à un arbre ou à un poteau une petite cage à graisse de forme cubique, confectionnée avec du treillis métallique ou plastique (voir figure) : en découpant celui-ci, on laissera dépasser les extrémités des fils pour faci-



Types de mangeoires pour oiseaux
Ci-dessus : cage à graisse
Ci-dessous : mangeoires à graines



liter l'assemblage des différents côtés entre eux; le panneau frontal sera laissé libre à sa partie supérieure, ce qui permettra de l'ouvrir pour remplacer la graisse; un fil de fer le maintiendra fermé.

Avec du bois ou du fer-blanc, les élèves pourront confectionner une petite auge pourvue d'un auvent qui protégera les graines de la pluie ou de la neige. Les parois latérales empêcheront les oiseaux, à la recherche de leurs graines favorites, de disperser le mélange. On peut encore fabriquer une mangeoire métallique en découpant les deux fonds d'une boîte à conserves sous laquelle on fixera, à l'aide de fil de fer rigide, un moule à tarte. Un couvercle en matière plastique sera assujéti à la partie supérieure et on suspendra l'ensemble à une branche au moyen d'un fil de fer (voir figure de droite).

Organismes aquatiques

Pour l'études des organismes, il est particulièrement recommandé de combiner l'observation dans la nature et le travail de classe ou de laboratoire, surtout lorsqu'il s'agit de plantes et d'animaux aquatiques. On se procurera un aquarium, ou on en construira un : il convient de s'y prendre à l'avance, afin que les échantillons rapportés d'une visite à un étang ou à un ruisseau puissent y être mis dès le retour.

3.9 Aquariums faits de bocaux à confiture

A défaut d'une grande cuve en verre, on peut utiliser en guise d'aquarium à peu près n'importe quel récipient en verre, pourvu qu'il soit bien garni de plantes aquatiques submergées (*Elodea* ou *Myriophyllum* par exemple), qui aéreront l'eau. Un bocal à confiture de 1 kg conviendra très bien pour l'élevage de larves de phryganes (porte-bois), d'escargots aquatiques, de petits crustacés, et pour conserver des plantes comme *Elodea* et *Lemma minor*; convenablement garni, il pourra rester en parfait état d'équilibre biologique pendant des mois, mais on se souviendra qu'il est aussi néfaste de mettre trop peu de choses que d'en mettre trop. Normalement, l'aquarium ne demande aucun soin particulier, mais s'il contient

un *Dytique* ou toute autre larve prédatrice, il conviendra de l'alimenter régulièrement en têtards. Une couche de sable propre de 3 cm permettra aux larves de phryganes d'hiberner au fond du bocal, et une gaze couvrant celui-ci empêchera les phryganes de s'envoler sans qu'on ait pu s'en apercevoir. On notera jour après jour les pontes et autres événements, ainsi que les observations concernant les moeurs des animaux. Un aquarium de ce genre peut servir de point de départ pour une étude élémentaire des relations mutuelles existant entre les plantes et les animaux des eaux stagnantes. Pour la collecte des échantillons dans les étangs et les ruisseaux, on peut confectionner une bonne épuisette au moyen d'une passoire dont on assujéti solidement le manche à un bâton à l'aide d'un ruban que l'on enroulera plusieurs fois en serrant bien et que l'on enduira copieusement, si possible, de dissolution de caoutchouc; on enduira également le nœud. On évitera de placer un aquarium en plein soleil : une lumière excessive provoque une importante croissance d'algues sur les flancs du vase, ce qui empêche de voir clairement à l'intérieur. Si des algues se forment, on les fera disparaître à l'aide d'un tampon à récurer comme ceux dont on se sert dans le ménage.

3.10 Aquariums de grandes dimensions

Une bonne taille d'aquarium en verre est 50 x 25 cm. On peut utiliser des bacs d'accumulateurs mis au rebut, mais le verre manque de transparence. Pour aménager cet aquarium, on recueillera au fond d'un ruisseau ou d'une mare limpide un peu de fin limon qu'on lavera soigneusement à l'eau courante avant d'en couvrir le fond de l'aquarium sur une épaisseur d'environ 2 cm. Y planter quelques végétaux aquatiques, dont on maintiendra les racines en place à l'aide de cailloux ou de gravier. Mettre ensuite une couche de gros sable ou de gravier et quelques pierres plus volumineuses qui serviront de retraites pour les insectes aquatiques. Remplir l'aquarium en faisant couler un mince filet d'eau sur une feuille de carton pour éviter de trop troubler l'eau, et laisser reposer un jour ou deux jusqu'à ce que l'eau soit redevenue claire. Introduire alors des plantes

aquatiques propres : si l'on en met en quantité suffisante, il n'est nullement nécessaire de prévoir des dispositifs d'aération compliqués. Si l'aquarium est rempli d'eau du robinet, il convient d'introduire des proies vivantes, des daphnies par exemple. On peut alors placer les animaux dans l'aquarium, en même temps que quelques escargots aquatiques qui maintiendront le verre propre. Il suffira de très peu de nourriture : les poissons mangeront les œufs des escargots et les petits organismes aquatiques qui auront été introduits dans l'aquarium en même temps que les plantes. Si l'on donne des vers à manger aux poissons, on se contentera de le faire une fois par semaine et on les coupera en morceaux suffisamment petits. Toute nourriture non consommée doit être retirée immédiatement, sinon elle provoque une prolifération de champignons qui empoisonnent les poissons. Pour empêcher la poussière d'y pénétrer, l'aquarium sera couvert d'une plaque de verre ou d'un couvercle percé de trous. Si l'on élève des grenouilles ou des tritons, il convient de prévoir un morceau de liège qui flottera sur l'eau et où ils viendront s'installer: le couvercle ou la plaque de verre les empêchera de s'échapper.

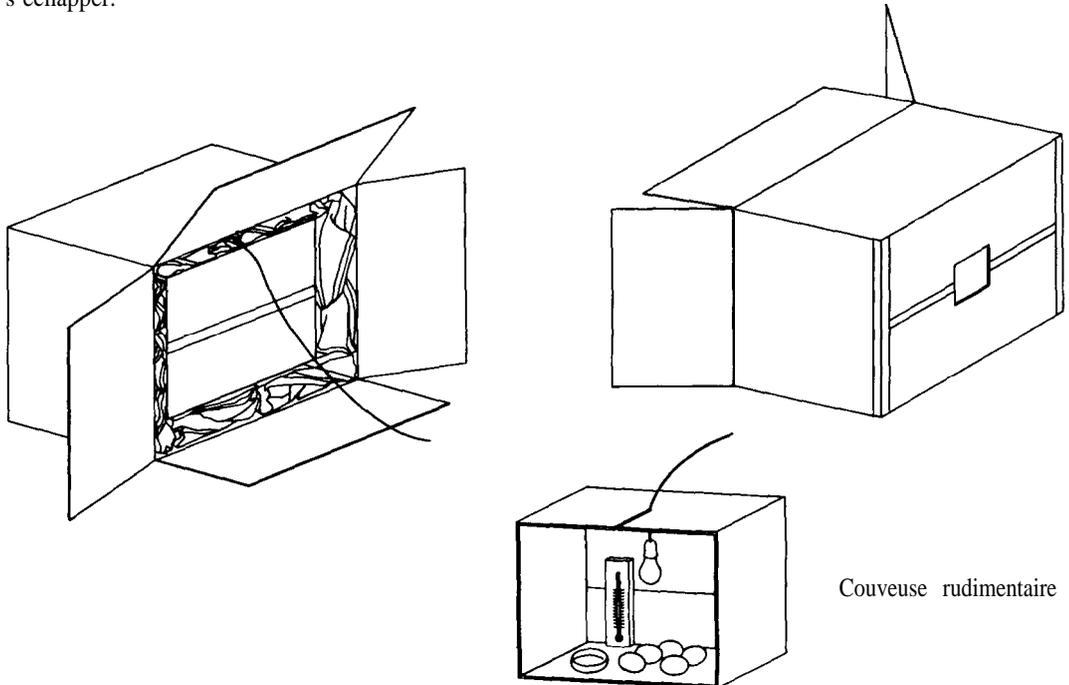
Embryons de poulets

3.11. Couveuse rudimentaire

S'il y a l'électricité dans la salle de classe, on peut confectionner à très bon compte une couveuse rudimentaire. Se procurer deux boîtes en carton, une grande et une petite. Enlever un des côtés de la petite boîte et, dans l'une des parois de la grande boîte, découper une fenêtre carrée de 15 cm de côté. Puis faire une fente dans le couvercle de la petite boîte et y suspendre une ampoule électrique dont le cordon doit être assez long. Mettre la petite boîte à l'intérieur de la grande et remplir l'espace libre entre les deux boîtes de papier journal froissé. Le côté ouvert de la petite boîte doit s'appliquer contre le côté de la grande où se trouve la fenêtre. Mettre dans la petite boîte un thermomètre placé de telle sorte qu'on puisse y lire la température par la fenêtre, laquelle sera fermée par une plaque de verre.

3.12 Observation du développement des embryons

Il faut entretenir une température constante de 40 °C à l'intérieur de la couveuse, nuit et jour, pendant 21 jours. On arrivera, après quelques



Couveuse rudimentaire

jours de tâtonnements, à régler la température de la couveuse en essayant des lampes de puissance différente et en mettant plus ou moins de papier journal entre les deux boîtes. Un petit récipient rempli d'eau doit être placé à l'intérieur de la couveuse.

On se procurera alors une douzaine d'œufs fécondés qu'on placera dans la couveuse. Après 3 jours, retirer un des œufs, le casser avec précaution et vider le contenu dans une soucoupe : normalement, on doit déjà voir, chez un embryon de 3 jours, les battements du cœur; celui-ci peut continuer à battre pendant une demi-heure. On retirera un œuf tous les 3 jours pour observer le développement de l'embryon. On pourra laisser quelques œufs pendant les 21 jours d'incubation pour voir s'il y a des poulets qui éclosent.

3.13 Observations supplémentaires sur les embryons

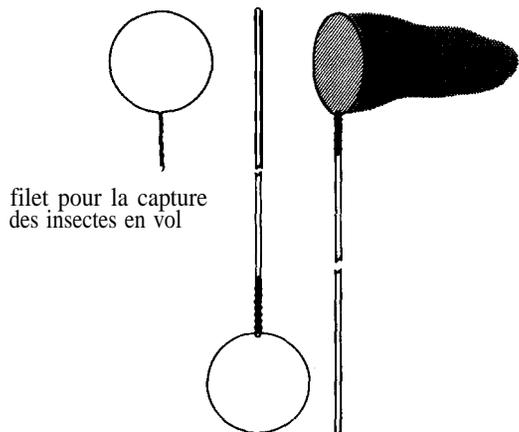
On peut, également étudier les effets produits sur les embryons par des variations de température : des œufs retirés en même temps de la couveuse seront placés dans des milieux à température différente - en plein air, dans un réfrigérateur ou dans une étuve, par exemple - et l'on notera les conséquences sur le développement des embryons.

Insectes

On s'attachera surtout à l'observation de spécimens vivants : trop souvent, en effet, l'expérience des élèves se borne à la capture et à la collection d'insectes. Ce genre d'activité n'est certes pas sans valeur pédagogique, mais on néglige malheureusement trop souvent d'autres exercices plus enrichissants. On peut par exemple étudier les insectes nocturnes en aménageant un piège lumineux : il sera constitué d'un drap blanc tendu entre des arbustes selon un angle de 20 à 30° par rapport à la verticale et éclairé par derrière par une forte source lumineuse, lampe à pétrole ou grosse lampe électrique à piles sèches par exemple. De jour, la capture des insectes exige l'emploi d'un filet.

3.14 Capture des insectes

On pourra confectionner un filet pour la capture des insectes en vol avec un bâton - manche à balai par exemple - du gros fil de fer et du voile à moustiquaire ou de l'étamine. On fera un cercle d'environ 38 à 45 cm de diamètre avec le fil de fer dont on torsadera les extrémités pour former une tige droite d'environ 15 cm de longueur au minimum. On l'assujettira au bout du manche à balai au moyen d'une ligature en fil de fer ou de clous cavaliers. Pour former le filet, qui devra avoir environ 75 cm de profondeur, on découpera un



morceau de voile à moustiquaire ou d'étamine qu'on coudra autour du cercle de fil de fer (voir figure).

Il est souvent plus instructif de passer un filet sur les herbes ou les végétaux que d'attraper des insectes en vol. Pour faire un filet destiné à cet usage, on utilisera de la toile ou de la mousseline au lieu de gaze, et du gros fil de fer rigide qui ne se déformera pas quand on passera le filet sur des herbes résistantes. On demandera aux élèves de « ratisser » une prairie en passant et repassant le filet sur une zone d'une superficie déterminée à l'avance : le décompte des insectes contenus dans le filet fournit un moyen d'évaluer le nombre des insectes présents entre la surface du sol et l'extrémité des herbes. On pourra effectuer des prélève-

ments de cette sorte sur le terrain de jeu de l'école, sur un champ cultivé, sur un champ abandonné, dans un sous-bois, ou sur toute autre surface naturelle dont on cherchera à évaluer la population relative d'insectes.

Avant d'entreprendre ce ratissage de la végétation, on fera construire par les élèves de petites cages pour grillons ou sauterelles : on peut en confectionner en bois avec du treillis métallique serré ou de tout petits barreaux de bois. Chaque cage doit contenir de l'herbe, de l'eau et une petite soucoupe de sable humide. On pourra ainsi observer les femelles en train de pondre dans le sable.

3.15 Comment faire une collection d'insectes

Les collections d'insectes peuvent donner lieu à toutes sortes d'études; les variations à l'intérieur d'un même genre ou d'une même espèce peuvent tenir à la couleur, à la taille ou à d'autres différences individuelles. Avant d'entreprendre une collection, les élèves devront préparer leur matériel qui pourra comprendre des filets, des bocaux pour tuer les insectes, des étaioirs, des boîtes à collections et des présentoirs.

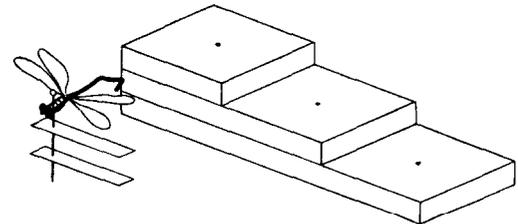
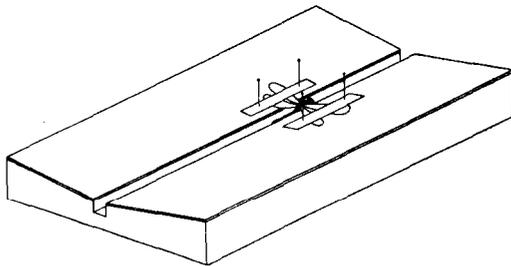
A. Bocal pour tuer les insectes. Se procurer un bocal à large goulot dont le couvercle se visse ou ferme hermétiquement. Placer au fond un tampon de coton qu'on recouvrira d'un disque de carton ou de papier buvard percé de plusieurs trous. Lorsqu'on veut s'en servir, imprégner le coton d'insecticide. Poser le disque de carton sur le coton et introduire l'insecte dans le bocal. Fermer hermétiquement et attendre que l'insecte soit

mort. S'il s'agit de papillons, s'assurer que le goulot est suffisamment large pour qu'on ne risque pas de détériorer les ailes.

B. Étaioir pour insectes. Lorsqu'on désire présenter des insectes dans une collection, il est indispensable de disposer d'un étaioir. On peut facilement en fabriquer un avec une boîte à cigares. Enlever le couvercle et le couper dans le sens de la longueur en deux parties égales, que l'on fixera de nouveau sur la boîte en laissant entre elles un espace d'environ 1 cm. Placer le corps de l'insecte dans cette fente et fixer les ailes de part et d'autre sur le dessus au moyen de petites bandes de papier maintenues par des épingles enfoncées dans le bois tendre - sans transpercer les ailes. Il est quelquefois préférable d'incliner légèrement les deux versants du couvercle vers l'intérieur : il suffit pour cela de découper les côtés de la boîte en V très évasé avant d'y fixer les deux moitiés du couvercle, comme le montre la partie gauche de la figure.

C. Boîtes à collections d'insectes. Pour conserver des collections d'insectes, il est très pratique d'utiliser des boîtes à cigares en bois ou en carton. Une fois l'insecte retiré de l'étaioir, on transperce son corps d'une épingle qu'on pique dans le fond de la boîte. Les épingles doivent être disposées selon un certain ordre et on peut y fixer de petits rectangles de carton portant les indications concernant l'insecte considéré (voir figure).

On peut également utiliser des boîtes à cigares pour monter des insectes sur fond de coton. Après avoir retiré le couvercle, on remplit le



Comment faire une collection d'insectes
A gauche : étaioir
A droite : montage des spécimens

fond de la boîte de plusieurs couches de coton cardé. On y dispose ensuite les insectes et on couvre la boîte avec une feuille de cellophane ou une plaque de verre : on a ainsi un montage permanent. Ce genre de présentoir convient particulièrement bien pour les papillons ou pour les collections du musée scolaire.

D. Bloc de montage. Une collection présentée selon un montage uniforme sera plus jolie et permettra de comparer plus facilement les spécimens. Aussi, les élèves auront-ils intérêt à confectionner un bloc de montage en bois formé de 3 gradins successifs (voir figure). Un trou est percé au centre de chaque gradin. Sur le palier supérieur, on alignera tous les insectes à la même hauteur en leur traversant le corps avec une épingle enfoncée dans le trou prévu à ce niveau: les autres étages recevront les étiquettes portant les renseignements relatifs aux différents spécimens.

E. Cage à insectes simple. Confectionner une armature cubique au moyen de petites baguettes plates (abaisse-langue, bâtonnets à chocolat glacé) ou rondes (baguettes à chevilles) : un cube de 15 cm de côté conviendra parfaitement. Passer sur cette armature un bas nylon qu'on refermera en y faisant un nœud lâche ou en l'entourant d'un bracelet de caoutchouc : c'est par cette extrémité qu'on pourra avoir accès à l'intérieur de la cage.

Collecte d'organismes vivant dans le sol

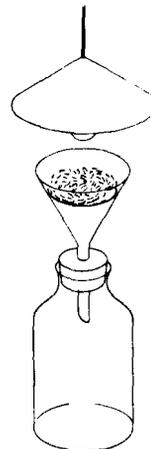
La collecte d'organismes vivant dans le sol peut donner lieu à toutes sortes d'expériences. On peut placer ces organismes dans le terrarium de la classe. Mais, ce qui est plus intéressant encore, c'est qu'on peut s'en servir pour initier les élèves aux techniques quantitatives : des échantillons calibrés de sol provenant de sites différents pourront être comparés du point de vue du nombre total des organismes qu'ils contiennent ou du point de vue du nombre d'organismes de divers types donnés. Pour avoir un échantillon calibre de terre meuble, on peut utiliser une boîte à conserves vide : en l'enfonçant dans le sol on

obtient une carotte. Pour prélever des échantillons calibrés de terreau de feuilles superficiel, on emploiera un anneau de gros fil de fer qu'on posera sur la surface du terreau, puis on recueillera la totalité du terreau se trouvant à l'intérieur de l'anneau. Les deux types d'échantillons seront mis dans des sacs en plastique pour être rapportés en classe. Pour extraire les organismes vivant dans le sol, on se servira d'un entonnoir spécialement conçu comme celui qui est décrit ci-dessous.

3.16 Entonnoir pour recueillir les organismes vivant dans le sol

Cet entonnoir doit être fait d'une matière lisse et polie, par exemple le fer-blanc d'une grande boîte à conserves. On placera le terreau sur un treillis métallique fixé dans la partie évasée de l'entonnoir - on pourra utiliser à cette fin un petit tamis de cuisine - et l'on suspendra au-dessus du terreau une ampoule électrique de 25 watts munie d'un abat-jour (voir figure).

Attention : l'ampoule ne doit pas toucher le terreau de feuilles ni toute autre substance inflammable contenue dans l'échantillon. Les organismes du sol seront recueillis dans un becher ou dans une bouteille placée sous l'entonnoir. Si l'on doit les garder, on mettra dans la bouteille du papier buvard humide. Pour immobiliser et conserver les organismes du sol afin de pouvoir les dénombrer avec précision, on mettra dans la bouteille une petite quantité d'alcool éthylique.



Entonnoir pour recueillir les organismes du sol

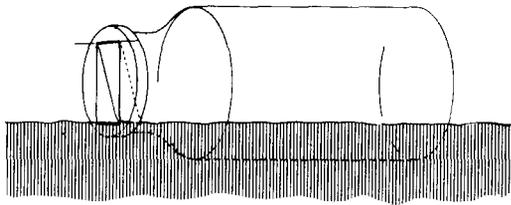
Piégeage des petits mammifères et reptiles

On peut capturer de petits mammifères et reptiles et les mettre en cage afin de les étudier. Voici comment faire un piège peu coûteux.

3.17 Piège facile à réaliser

Se procurer un grand bocal en verre à large goulot muni d'un bouchon qui se visse. Découper dans le couvercle une ouverture au haut de laquelle on fixera une petite trappe pivotant librement sur des gonds de fort fil de fer et ne s'ouvrant que vers l'intérieur du bocal (voir figure). Ce dispositif permet également de faire passer des animaux dans les cages sans avoir à les toucher directement.

Piège rudimentaire



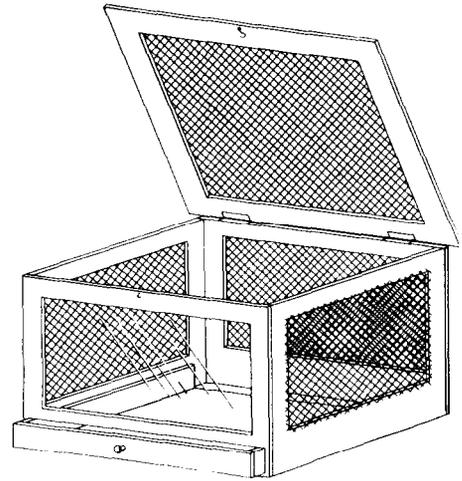
Attention : pour manipuler des reptiles ou des mammifères, les élèves devront mettre des gants de cuir épais. Même si les morsures ne sont pas venimeuses, elles peuvent s'infecter.

Comment garder des animaux en cage

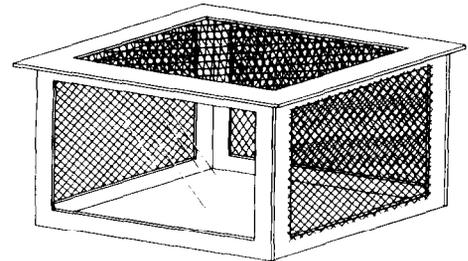
Pour les cours de science de niveau élémentaire ou de caractère général, on a souvent besoin de garder des animaux en cage dans la salle de classe pour de brèves périodes d'observation. Pour obtenir de bons résultats, il convient de prévoir des cages bien conçues et une nourriture appropriée.

3.18 Cage à animaux

Nombre de matériaux, disponibles à peu près partout, peuvent être utilisés pour la construction de cages. On peut imaginer, par exemple, une boîte en bois pourvue d'un couvercle à charnières.



Cage à animaux

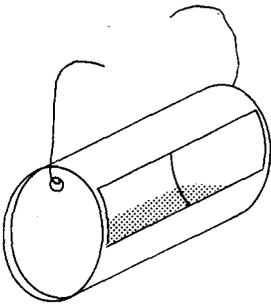


Une fenêtre est découpée dans le couvercle et garnie d'un treillis métallique fin. D'autres fenêtres sont également percées dans trois des côtés de la boîte et garnies elles aussi de treillis métallique, tandis que la partie avant est fermée par une vitre. On peut perfectionner ce type de cage en la munissant d'un tiroir placé sous la fenêtre de verre, à l'avant de la cage, et couvrant tout le plancher de la cage (voir figure) : ce tiroir permettra de nettoyer la cage sans trop déranger les animaux. Dans les régions tropicales, on pourra remplacer le treillis métallique par des éclisses de bambou ou autre bois.

3.19 Nourriture et provision d'eau pour les animaux en cage

D'une manière générale, les récipients contenant la nourriture et l'eau seront placés à quelque distance au-dessus du plancher de la cage. On peut faire une mangeoire très commode pour de petits animaux en pratiquant une ouverture sur le côté d'une boîte à conserves, dans le sens de la hauteur et en rabattant les bords coupants vers l'intérieur; la mangeoire sera fixée sur un des côtés de la cage au moyen de fil de fer, comme le montre la figure.

Pour réaliser un abreuvoir à l'intention d'animaux tels que souris, cobayes ou hamsters, on pourra utiliser une bouteille munie d'un bouchon



en caoutchouc à un trou, dans lequel on enfoncera un petit tuyau de verre ou de métal effilé; on mettra la bouteille la tête en bas sur la cage de telle sorte que le tuyau passe à travers le treillis.

Il est important, non seulement pour la santé et le confort des animaux, mais aussi pour le développement du sens des responsabilités chez les élèves et l'acquisition, par eux, de bonnes habitudes, que les animaux reçoivent régulièrement la nourriture et l'eau qui leur sont nécessaires. La nourriture et l'eau doivent être renouvelées tous les jours, et la cage doit être nettoyée une fois par semaine.

Planaires

Les planaires constituent un excellent sujet d'étude pour les élèves. Elles réagissent à des stimuli variés, ce qui permet de les utiliser pour des observations élémentaires sur le comportement animal; elles sont en outre douées de la capacité de régénérer des parties de leur corps accidentellement mutilées.

3.20 Capture et nourriture des planaires

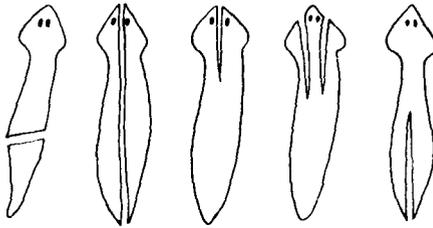
Les planaires se rencontrent sous les troncs d'arbres ou les pierres submergées d'un étang ou d'un lac. Pour l'étude, on préférera le type brun (*Dugesia tigrina*) ou les grosses *Planaria*. Si l'on n'arrive pas à en trouver, on peut en prendre au piège en mettant un morceau de foie de bœuf cru dans de la gaze ligaturée par une ficelle et en plongeant cet appât dans l'eau de l'étang. On regardera le piège tous les jours et l'on fera tomber les planaires dans un petit bocal contenant de l'eau de l'étang ou du lac. Une fois dans la salle de classe, on transférera les vers dans des récipients opaques - bassines ou casseroles émaillées par exemple - à l'aide d'un gros compte-gouttes ou d'une grosse pipette. En dehors des séances d'observation, on placera sur les récipients des couvercles en bois ou en carton. On nourrira les planaires une fois par semaine de foie, d'œuf dur ou de vers de terre, le tout finement haché, et l'on retirera, après 3 heures, les aliments non consommés à l'aide d'un compte-gouttes.

3.21 Comportement des planaires

Les planaires réagissent à des stimuli très divers : les élèves pourront observer l'effet de la lumière, du bruit, des sources d'aliments, de petites décharges électriques ou de certains produits chimiques (par exemple quelques cristaux de sulfate de magnésium). A l'aide d'une loupe, on peut voir fonctionner le pharynx tubulaire avec lequel l'animal ingère sa nourriture.

3.22 Régénération des parties mutilées chez les planaires

Pour observer chez les planaires la régénération des parties mutilées, on peut couper l'animal en



deux, sur une lame de verre avec une lame de rasoir bien tranchante. On peut aussi couper le corps en deux dans le sens de la longueur. Si l'on ne pratique qu'une incision partielle dans ce sens, on obtient un ver à deux têtes lorsque l'incision part de la tête, ou un ver à deux queues lorsqu'elle part de la queue (voir figure). Une fois l'opération effectuée, remettre les parties séparées dans le récipient et s'abstenir de donner de la nourriture jusqu'à ce que la régénération se soit produite.

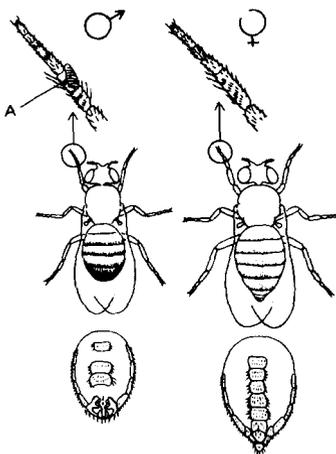
Étude des populations

L'étude des populations végétales ou animales initie les élèves aux phénomènes d'interaction à l'intérieur de groupes d'organismes appartenant au même genre ou à la même espèce. Les expé-

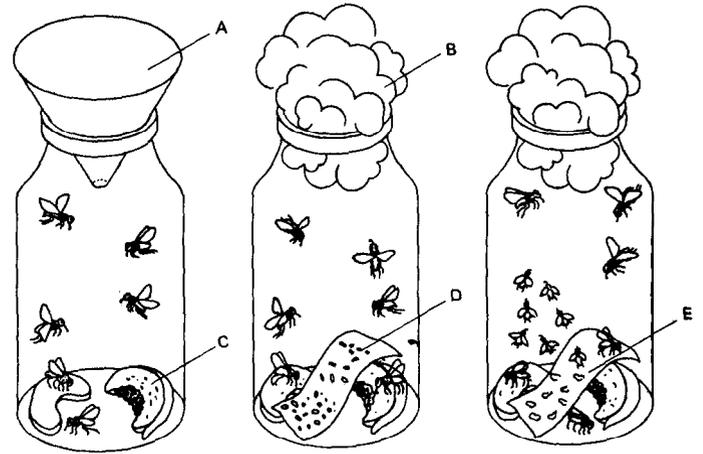
riences pourront être faites soit sur le terrain, soit en classe : on pourra ainsi comparer ce qui se passe dans les conditions naturelles et ce qui se passe dans la classe où l'on peut modifier à volonté le surpeuplement, le manque de nourriture, la désoxygénation et d'autres variables afin d'en observer les conséquences sur telle ou telle population.

3.23 Élevage des drosophiles

La mouche du vinaigre, *Drosophila*, est très souvent utilisée pour les études de génétique : elle est facile à élever et se reproduit rapidement, ce qui la rend très propice aux études de population. On peut attirer des mouches du vinaigre en plaçant dans un récipient des fruits en état de maturité très avancée. Une fois capturées, on peut les mettre dans de petits bocaux contenant des morceaux de fruits : la banane est une excellente nourriture. Mettre un morceau de banane mûre au fond du bocal et adapter sur le goulot un petit entonnoir de papier dont l'extrémité sera percée d'un trou. Mettre le bocal en plein air et, lorsque 6 ou 8 mouches du vinaigre y auront pénétré, enlever l'entonnoir et boucher l'orifice avec un tampon de coton hydrophile peu serré. Sur 6 ou 8 mouches, il doit y avoir normalement des mâles et des femelles : les femelles sont plus grosses et ont un abdomen plus



Mouches du vinaigre mâles et femelles
A Brosse copulatrice



Élevage de mouches du vinaigre
A Entonnoir en papier
B Coton hydrophile
c Œufs
D Larves
E Pupes et jeunes adultes

important ; les mâles sont plus petits et leur abdomen est noir à l'extrémité (voir figure).

Les femelles ne tarderont pas à pondre et, après 2 ou 3 jours, les larves vont, éclore. On peut placer à l'intérieur du bocal une feuille de papier sur laquelle les larves pourront aller s'installer quand elles seront sur le point de se transformer en pupes. Ces pupes donneront à leur tour les insectes adultes (voir figure). En mettant les mouches nouvellement écloses dans un autre bocal, on disposera d'une deuxième génération.

Prendre un morceau de papier millimétrique et le placer verticalement dans un bocal : on pourra ainsi procéder, par échantillonnage, au recensement d'une population nombreuse en comptant le nombre de pupes sur une portion donnée de la grille. On demandera aux élèves de faire des relevés quotidiens de la population contenue dans le bocal. Lorsque celle-ci sera devenue très importante, on en fera l'estimation d'après des échantillons dénombrés sur une partie du papier millimétrique. Pour illustrer l'évolution de l'effectif, on tracera un graphique en portant le nombre de jours écoulés en abscisse et le nombre de mouches en ordonnée. Le bocal sera conservé tant que les mouches continueront à y survivre. Demander aux élèves quelles sont, selon eux, les raisons qui expliquent les variations de l'effectif de la population des mouches.

3.24 Élevage des vers de farine

Le charançon de l'espèce *Tenebrio* représente un excellent organisme qui peut être élevé et conservé pendant très longtemps; ses larves sont appelées vers de farine : on peut se les procurer chez les marchands d'appâts pour la pêche ou de nourriture pour poissons d'aquariums.

On peut très facilement conserver un élevage de vers de farine dans du son ou de la farine d'avoine mouillés qu'on mettra dans de grands bocaux munis de couvercles grillagés empêchant les insectes adultes de s'échapper. On nourrira les adultes d'un peu de carotte crue ou autre légume de la même famille. On commencera l'élevage avec 10 vers de farine. Chaque semaine, les élèves feront le décompte des larves, des nymphes et des adultes. Ce genre d'étude permet

d'obtenir des données sur l'évolution, pendant une période assez longue, d'une population se reproduisant en milieu fermé. Les élèves pourront observer le développement des insectes à des stades différents de leur existence : la population comprendra des adultes, des œufs, des larves et des nymphes.

3.25 Culture de micro-organismes

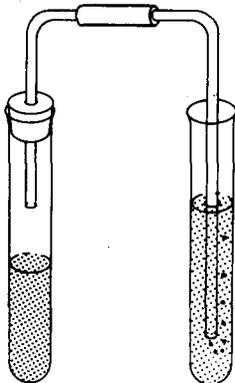
On peut cultiver facilement des populations de micro-organismes dans de grands bocaux. Pour cela, recueillir dans un étang, dans un fossé ou dans un ruisseau, des feuilles, de l'herbe ou autres végétaux qui y croissent, et mettre ces matériaux dans un bocal rempli d'eau bouillie froide. Pendant plusieurs semaines, on prélèvera quotidiennement des échantillons de l'eau du bocal au moyen d'un compte-gouttes et on les observera au microscope pour compter le nombre et les divers types de micro-organismes qu'elle contient. On pratiquera la technique d'observation dite de la goutte pendante : elle consiste à déposer au centre d'une lame de microscope un anneau de vaseline ou de graisse - il faut que cet anneau soit légèrement plus petit que la lamelle couvre-objet qu'on va utiliser (une bonne méthode pour déposer cet anneau sur la lame est de le faire au moyen d'un tube à essai dont le goulot aura été plongé dans la graisse); la goutte d'eau contenant les micro-organismes qu'on se propose d'observer est alors déposée au centre de la lamelle couvre-objet ; la vaseline ou la graisse fait adhérer la lamelle à la lame qu'on peut donc placer sur la platine du microscope en position inversée pour effectuer les observations.

3.26 Étude de la population d'une culture de levure de bière

La levure existe à l'état naturel dans la pellicule cireuse qui recouvre certains fruits à peau lisse (pruine du raisin en particulier). Cependant, on peut, en général se procurer de la levure de boulanger : elle se reproduit rapidement, ce qui fait qu'elle se prête très bien à l'étude des variations de population dues aux modifications du milieu.

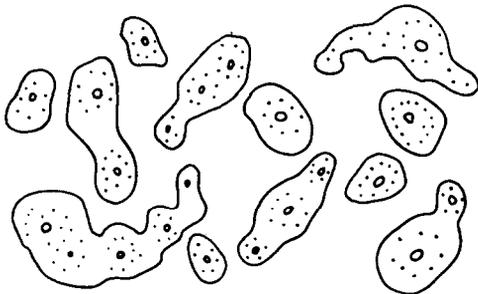
A. Préparer des tubes à essai de solutions de

sucré, de mélasse ou de miel, en même temps qu'un tube rempli d'eau servant de témoin. Mettre dans chacun des tubes le quart d'un morceau de levure émietté, et comparer les résultats. Adapter sur le tube à essai contenant la solution de sucre additionnée de levure un bouchon de caoutchouc à un trou muni d'un tube de verre et faire barboter le gaz qui se dégage dans un second tube à essai rempli d'eau de chaux limpide, ce qui permettra de détecter la présence de gaz carbonique (voir figure). (Voir aussi expérience 2.39.)



Identification du gaz produit par la solution de sucre additionnée de levure

B. La levure se reproduit par reproduction non sexuée, selon un processus appelé « bourgeonnement ». Mettre une goutte de la solution de sucre additionnée de levure sur une lame de microscope et la recouvrir d'une lamelle couvre-objet pour

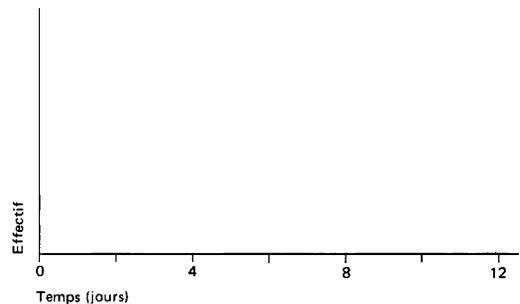


Cellules de levure bourgeonnantes

l'observer à l'aide de l'objectif à fort grossissement. Chercher les cellules qui comportent des excroissances ou bourgeons (voir figure). S'il est possible de voir les noyaux des cellules, chercher s'il y en a dans les bourgeons.

3.27 Échantillonnage des populations de levure

Pour étudier l'accroissement des populations de micro-organismes, une bonne méthode consiste à faire démarrer chaque jour une nouvelle culture et à faire un échantillonnage et un dénombrement de toutes les cultures successives au terme de la période qu'on s'est fixée. Par exemple, on fera démarrer une nouvelle culture de levure tous les jours pendant 10 jours, en utilisant chaque fois



1 décigramme de levure; le dixième jour, on prélèvera un échantillon de chacune de ces cultures et on fera la numération au microscope. Il sera évidemment avantageux de disposer d'une lame spéciale pour numération globulaire du sang, mais ce n'est pas indispensable. Si la population correspondante à un jour donné se révèle trop importante pour être recensée directement, on diluera l'échantillon en mettant 9 parties d'eau pour 1 partie de solution échantillon (soit par exemple 1 ml de solution pour 9 ml d'eau), puis on multipliera par 10 le chiffre obtenu pour avoir l'effectif réel de l'échantillon considéré. Si ce taux de dilution ne suffit pas, on peut diluer davantage jusqu'à ce que le décompte des organismes soit praticable. Pour une double dilution, il faut multiplier par 100 (10×10); pour une triple dilution, on multipliera par 1 000 ($10 \times 10 \times 10$). En effet, chaque nouvelle dilution se fait à partir de la dilution précédente et non à partir de l'échan-

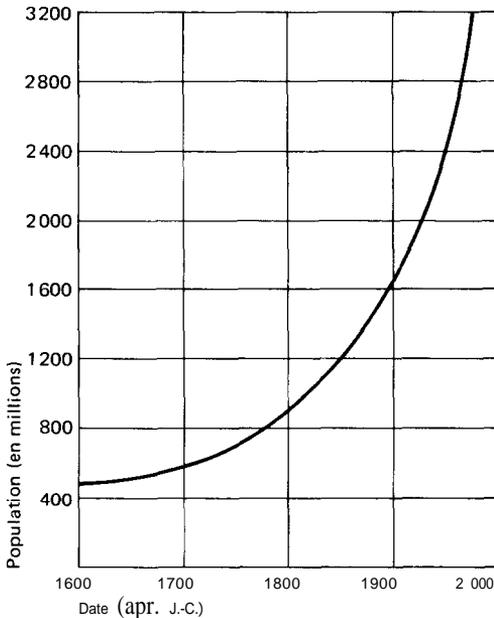
tillon d'origine. Les chiffres obtenus seront reportés par les élèves sur un graphique pour être analysés (voir modèle ci-contre) : le temps constitue la variable indépendante et les effectifs représentent la variable dépendante.

3.28 Représentation graphique des variations de population

Des élèves regrouperont les données ou calculeront les moyennes pour toute la classe et reporteront les résultats sur des graphiques d'ensemble. (Se souvenir que la culture vieille de 2 jours est celle qui a été mise en route le huitième jour, etc.)

3.29 Accroissement des populations humaines

On demandera aux élèves de comparer les résultats obtenus pour les populations de levure à une courbe de la croissance de la population humaine du globe (voir graphique).

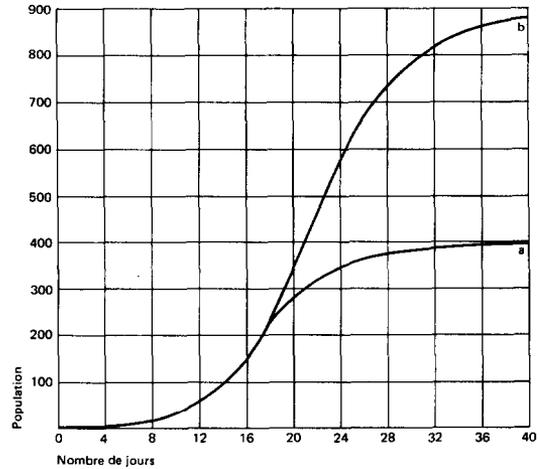


Accroissement de la population humaine du globe

3.30 Accroissement des populations de mouches du vinaigre

Si l'on ne dispose pas d'un microscope permettant de dénombrer les cellules de levure, on com-

parera les comptages quotidiens de mouches du vinaigre ou de toute autre population à croissance rapide (voir graphique).



- a) Dans un bocal de 1/4 de litre
- b) Dans un bocal de 1/2 litre

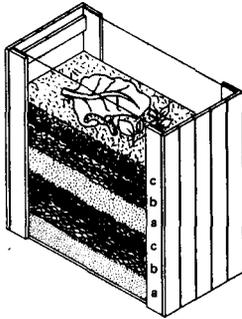
3.31 Échantillonnage d'une population de crevettes Artemia

Parmi les organismes qu'on peut utiliser pour les études de population, la crevette des marais salants (*Artemia salina*) est facile à élever et peu coûteuse. On trouve habituellement des œufs de cette crevette chez les fournisseurs d'aliments pour poissons tropicaux. Les œufs éclosent à une température de 21 °C au bout de 2 jours, si on les répartit à la surface d'une solution saline à 100 g de sel pour 1 litre d'eau (utiliser du chlorure de sodium non iodé). On peut déterminer chaque jour l'effectif de la population par échantillonnage. A cette fin, les élèves pourront étalonner un compte-gouttes en comptant le nombre de gouttes nécessaires pour remplir une éprouvette graduée jusqu'à la marque indiquant 10 ml : par exemple, si l'on compte 160 gouttes pour atteindre ce niveau, c'est que chaque goutte contient 10 ml : $160 = 0,07$ ml. Une goutte provenant de ce compte-gouttes étalonné sera déposée sur une lame de microscope et l'on comptera les organismes qu'elle contient; les élèves pourront alors

calculer le nombre de crevettes contenues dans un volume donné de la culture. Un graphique des variations quotidiennes de la population donnera une image frappante du taux d'accroissement et des pourcentages d'éclosions pour un nombre d'œufs connu. Le dénombrement des œufs se fait avec une loupe et du papier millimétrique : on disperse les œufs sur le papier de manière aussi régulière que possible et l'on effectue le comptage sur un échantillon aléatoire de carreaux; en multipliant le chiffre obtenu par le nombre total des carreaux, on a une estimation de l'effectif global des œufs.

3.32 Comportement du ver de terre (*Lumbricus*)

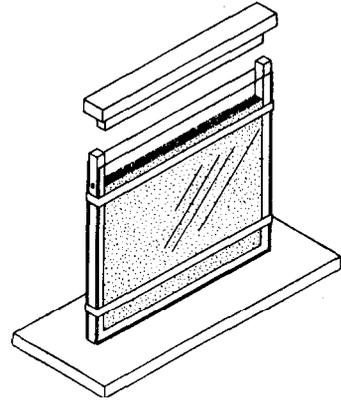
Pour l'étude des mœurs du lombric ou ver de terre, il sera commode d'utiliser une boîte en bois de 30 x 30 x 15 cm, fermée à l'avant par une plaque de verre. On remplira cette boîte presque complètement de couches successives de sable (a), de terreau de feuilles (b) et de terre végétale (c), en prenant soin de tasser chaque couche avant de mettre la suivante (voir figure). On placera des



feuilles de laitue, des feuilles mortes, un bout de carotte, etc., ainsi que quelques vers de terre à la surface. On entretiendra une certaine humidité à l'intérieur du contenu de la boîte et l'on pourra ainsi étudier les mœurs des vers de terre.

3.33 Fourmilière en cage d'observation

A. Prendre des tasseaux ayant une section carrée de 1,5 cm de côté, et 30 cm de long, et les assembler en forme d'U. Fixer ce cadre verticalement sur un socle. Découper ensuite 2 feuilles de verre

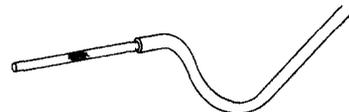


rectangulaires de 30 x 33 cm et les fixer de chaque côté de ce cadre à l'aide de bracelets de caoutchouc ou de pinces métalliques. Fabriquer un couvercle bien ajusté, comme le montre la figure. Percer, à environ 5 cm du haut, un trou de 0,5 cm dans l'un des côtés du cadre et le boucher avec du coton hydrophile.

Pour installer la fourmilière, commencer par remplir l'espace entre les deux vitres de terre provenant du champ où l'on aura pris les fourmis, puis compléter en haut avec de la terre sablonneuse et tasser légèrement avec une règle pour que le niveau soit à peu près à la hauteur du trou bouché par le tampon d'ouate.

B. Pour ce qui est des fourmis, les petites fourmis noires ou rouges sont celles qui conviennent le mieux. Elles forment leurs colonies sous des pierres plates : il suffit de soulever une de ces pierres pour les voir s'échapper dans tous les sens. Pour les capturer, il faudra se munir de 2 flacons pharmaceutiques à col étroit, de tampons de coton hydrophile en guise de bouchons, d'un déplantoir, d'un piège à insectes et d'une toile blanche ou d'un grand morceau de papier blanc.

Pour faire le piège à insectes, on prendra un tube de verre ou de matière plastique de 2 à 3 cm



de diamètre et de 25 à 30 cm de long, un petit morceau de treillis métallique très fin et un bout de tuyau flexible (voir figure). Découper une rondelle de treillis métallique légèrement plus grande que le diamètre intérieur du tube de verre ou de matière plastique, et enfoncer ce treillis à mi-longueur du tube en le poussant avec une baguette; ou, encore, couper le tube en deux pour y insérer le treillis et en réunir les deux moitiés au moyen de ruban adhésif. Fixer avec de l'adhésif 50 cm environ de tuyau souple à l'une des extrémités du tube transparent. On attrape facilement les insectes en aspirant fortement par l'extrémité du tuyau souple.

Capter une centaine de fourmis et les mettre dans un des flacons.

Il s'agit ensuite de trouver une reine : pour ce faire, on creusera assez profondément dans la fourmilière avec le déplantoir et l'on mettra la terre recueillie sur la toile blanche étalée à terre; émietter la terre entre les doigts : on finira par remarquer une fourmi nettement plus grosse que les autres : c'est la reine. Il faut alors l'amener à entrer d'elle-même dans la deuxième bouteille, ce qui requiert quelque patience.

C. Pour faire pénétrer les fourmis dans le nid qui leur a été préparé, on remplira d'eau une grande cuvette plate et l'on placera au milieu une assiette creuse renversée, formant ainsi une sorte d'îlot d'où les fourmis ne pourront pas s'échapper. On posera le nid sur cette assiette et on libérera les fourmis de leur bouteille, soit sur l'assiette, soit sur le haut du nid : une fois que la reine y sera entrée, les autres la suivront en passant par le trou latéral. Les fourmis n'aiment pas la lumière du jour; aussi conviendra-t-il de boucher le trou et d'entourer la cage de verre de papier craft avant de l'emporter pour la mettre dans son emplacement définitif. En étalant un peu de miel sur l'intérieur du verre juste à côté du trou d'accès, on assurera aux fourmis une nourriture largement suffisante; d'autre part, on arrosera un peu la terre du nid au moyen d'un compte-gouttes pour y entretenir une certaine humidité.

Toutes les choses intéressantes qui se produiront à l'intérieur de la fourmilière - ponte des

œufs, formation des cocons, conversations entre les fourmis (qui communiquent entre elles en se donnant réciproquement de petits coups sur la tête avec leurs antennes) - pourront être observées à la lumière artificielle, car celle-ci ne dérange pas les fourmis, et l'on pourra les voir d'autant plus facilement que les galeries seront nécessairement parallèles aux vitres de la cage.

Il sera particulièrement instructif de faire diverses expériences, par exemple de retirer quelques fourmis, puis de les réintroduire dans la fourmilière, d'y faire pénétrer des fourmis étrangères, des pucerons, des araignées, etc.

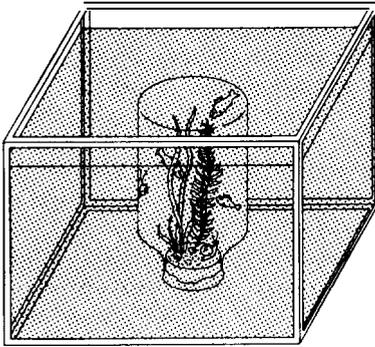
Une fois que la fourmilière est constituée et que la reine s'est mise à pondre, on peut retirer le tampon de coton qui obture le trou d'accès. On placera le nid à proximité d'une fenêtre légèrement entrouverte, et les fourmis continueront d'aller et venir en toute liberté pendant toute l'année.

Étude des communautés

On appelle communauté (ou biocénose) un groupement de populations occupant une localité donnée. Ce qui caractérise les communautés, c'est d'être constituées de populations végétales et animales exerçant des fonctions déterminées. Certaines des populations sont les producteurs : on les appelle ainsi parce qu'elles sont capables de capter l'énergie d'origine solaire et de produire de la nourriture. Les populations qui se nourrissent aux dépens des autres populations vivantes constituent les consommateurs. Les populations qui se nourrissent de matière morte sont dites réductrices, étant donné qu'elles décomposent la matière organique pour en extraire des substances chimiques plus simples.

3.34 Étude d'une communauté vivant en circuit fermé

Pour initier les élèves à l'étude des communautés naturelles, une méthode instructive consiste à installer une communauté type dans la classe. Les élèves seront invités à faire vivre plusieurs communautés constituant des systèmes entières-

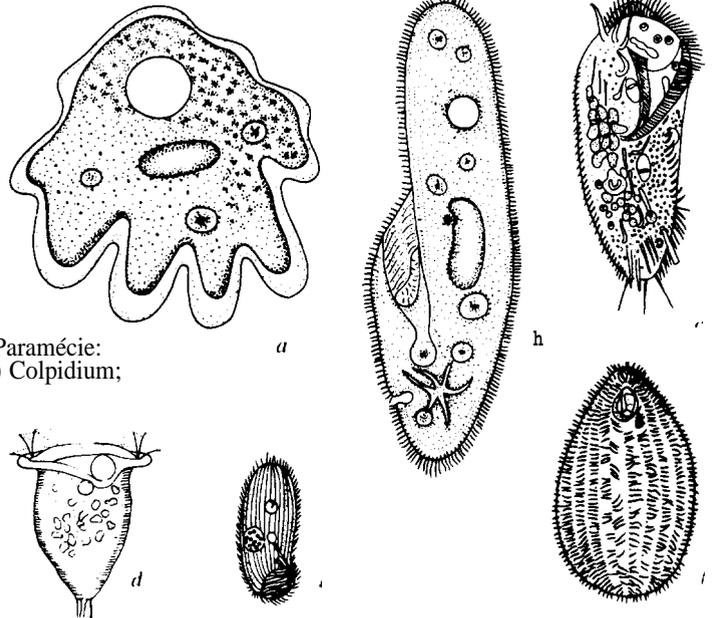


ment fermés, sauf en ce qui concerne la lumière. Chacune sera constituée par un bocal contenant de l'eau (exempte de chlore), quelques petits poissons - guppys (*Lebistes reticulatus*), par exemple - quelques plantes aquatiques et quelques escargots d'eau. On vissera le couvercle du bocal et on le scellera en faisant fondre de la paraffine ou de la cire autour du joint, puis on immergera le bocal dans un grand récipient en verre - cuve électrolytique, par exemple - rempli d'eau (voir figure). On pourra s'assurer

ainsi que le système est étanche et ne reçoit pas d'air. Cette communauté modèle sera installée sur un rebord de fenêtre où les élèves l'observeront quotidiennement. On réfléchira aux relations existant entre les organismes contenus dans le bocal. Les élèves souhaiteront peut-être essayer de faire vivre une communauté bien équilibrée permettant aux organismes qui la constituent de survivre plus longtemps.

3.35 L'évolution d'une communauté

La culture de micro-organismes est un excellent moyen de démontrer que les communautés sont dynamiques et peuvent évoluer sensiblement avec le temps. Prendre un bocal de 5 litres, le remplir à moitié d'herbe sèche et verser dessus de l'eau bouillie froide jusqu'à submersion. Couvrir avec une plaque de verre, de carton ou de contre-plaqué. Les élèves seront invités à examiner quotidiennement le contenu du bocal, d'abord à l'œil nu, puis à la loupe; des échantillons du liquide seront aussi étudiés au microscope. Les élèves verront d'abord des bactéries; des protozoaires ciliés feront ensuite leur apparition (voir figure), puis des rotifères, de petits vers ronds



3.35 Protozoaires : a) Amibe; b) Paramécie; c) Styloniche; d) Vorticelle; e) Colpidium; f) *Tetrahymena*.

(nématodes) et des crustacés apparaîtront peut-être à leur tour. On notera la disparition de certaines populations aussi bien que l'apparition de populations nouvelles et il sera intéressant de comparer les changements observables à l'œil nu et ceux qu'on ne peut détecter qu'à l'aide du microscope.

3.36 Communauté d'un tronc d'arbre pourri

A l'aide d'un déplantoir, extraire d'un tronc d'arbre pourri deux ou trois fragments, qu'on mettra dans un sac en plastique pour les placer ensuite dans le terrarium de la classe. En guise de terrarium on peut prendre un aquarium qu'on couvrira d'une toile métallique; à défaut d'aquarium, on peut assembler des plaques de verre avec du ruban adhésif fort et les placer dans un bac plat et étanche. Il n'est pas nécessaire d'y mettre de la terre (voir figure). Si le tronc se trouvait dans un lieu humide, on arrosera de temps à autre.

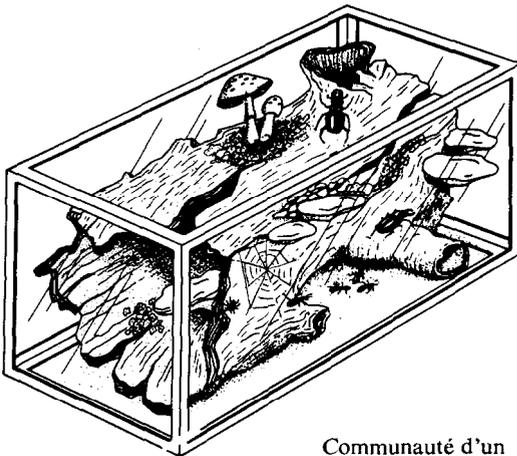
Le tronc pourri peut abriter de nombreuses bestioles parmi lesquelles des fourmis, des termites, des araignées et des capricornes. S'il contient des fourmis, il faudra leur donner quel-

supérieur d'une couche de vaseline. On observera le morceau de bois pour voir quelles sortes d'insectes ou d'autres animaux en sortent : certains pouvaient être présents à l'état d'oeufs quand on a recueilli le bois pourri et deviendront peut être adultes dans le terrarium.

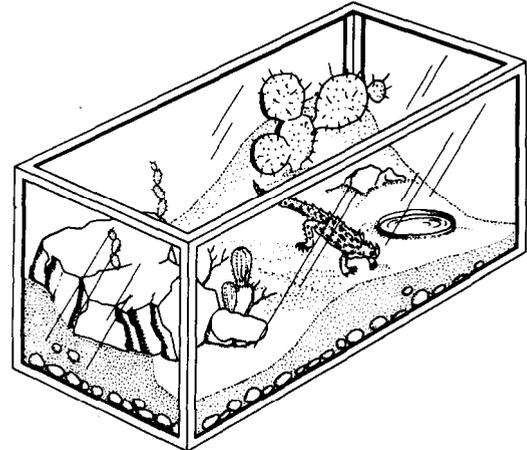
3.37 Communauté du désert

Si l'on n'habite pas à proximité d'un désert, il faudra se procurer les éléments nécessaires là où on le pourra sans aller trop loin. On trouvera du sable sur une plage, au bord d'une rivière ou dans le commerce. Certains animaux du désert, notamment des phrynosomes (iguanes), sont vendus chez les marchands d'animaux. On peut nourrir les iguanes de fourmis et de vers de farine, qu'on trouve dans les mêmes magasins.

On peut acheter de petits cactus chez les fleuristes ou dans les grands magasins. On se procurera également quelques plantes succulentes : ce sont les plantes qui retiennent l'eau dans leurs feuilles, très charnues. En même temps que les plantes, on placera dans le terrarium quelques pierres qui formeront falaise ou surplomb non loin des bords (voir figure). Mettre une soucoupe



Communauté d'un tronc d'arbre pourri



Communauté du désert

ques miettes de pain et un peu d'eau sucrée sur un fragment d'éponge. Pour empêcher les fourmis de sortir du terrarium, on enduira le rebord

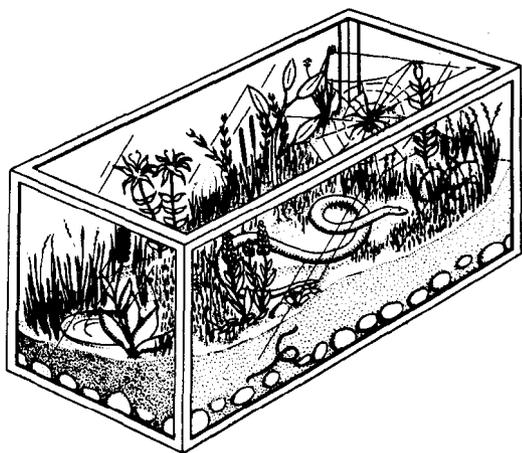
remplie d'eau dans un coin et laisser au centre du terrarium une zone de sable découverte, surtout si l'animal est un phrynosome (on ne tardera pas à

voir pourquoi). La température du terrarium recevant cette communauté du désert doit être maintenue entre 20 et 27 °C.

3.38 Communauté des prés

Dans ce cas particulier, il faut savoir se borner à quelques-unes des nombreuses sortes d'herbes, de jeunes pousses d'arbres et autres plantes qui croissent dans les prés. On a également le choix entre un grand nombre d'animaux, y compris des araignées qui tissent de magnifiques toiles rayonnantes. Ces araignées ayant besoin de beaucoup d'espace pour y faire leurs toiles, il faudra prévoir un bac d'aquarium d'une cinquantaine de litres.

On trouvera peut-être des plantes portant des



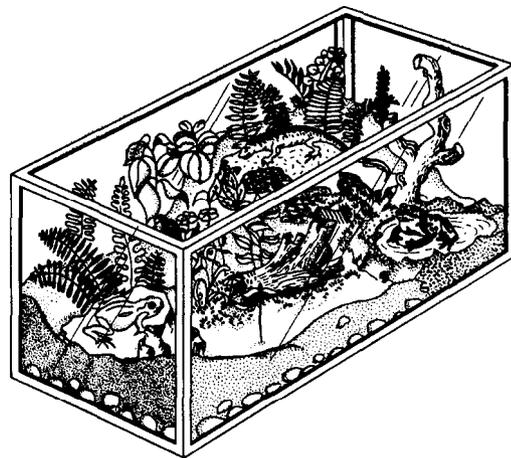
Communauté des prés

œufs ou des cocons d'insectes : on pourra alors observer ce qui en sort. Si l'on désire avoir un animal plus gros dans le terrarium, essayer de se procurer une petite couleuvre (*Thamnopsis* par exemple); elle se nourrira de vers de terre et de gros insectes. Il faudra alors prendre soin de maintenir le terrarium relativement sec, car les serpents contractent souvent des maladies de la peau si on les oblige à vivre en terrain humide (voir figure).

3.39 Communauté de sous-bois

C'est le genre de communauté qu'on réalise le plus souvent en miniature dans les terrariums. En guise de végétaux, on se procurera de petites fougères, de jeunes pousses d'arbres, des plantes à fleurs sauvages et surtout des plantes vertes (gaulthérie ou pirole par exemple). On piquera dans le sol quelques-unes de ces plantes et l'on couvrira le reste de la surface avec des mousses, de jolies pierres, voire une petite souche (voir figure).

En ce qui concerne les animaux, on cherchera à se procurer de petits crapauds, des grenouilles ou des rainettes, ainsi que des tritons rouges (qui sont de petites salamandres). Tous ces animaux ainsi que les plantes de sous-bois aiment l'humidité :



Communauté de sous-bois

dité : on devra donc arroser souvent le terrarium et l'on aménagera dans un coin une petite mare comme celles qu'on trouve dans les bois.

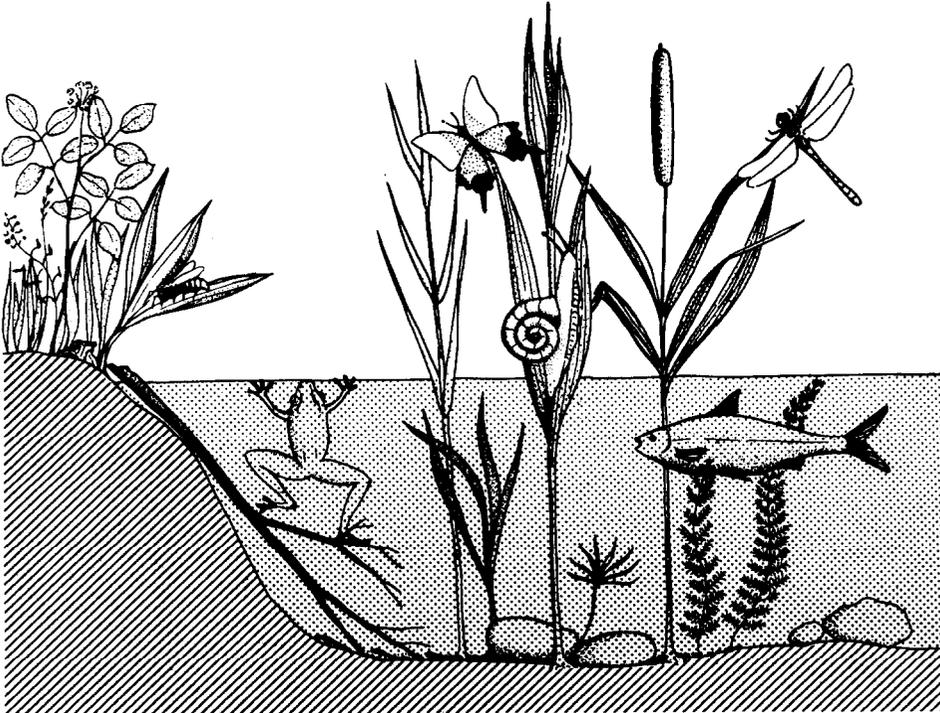
Écosystèmes

En règle générale, les biologistes s'intéressent non seulement aux êtres vivants qui constituent une communauté mais aussi aux facteurs non vivants comme la température, la quantité de lumière, la quantité d'oxygène disponibles, etc. Lorsqu'on étudie à la fois les caractères vivants et les caractères non vivants, on parle d'écosystème : un écosystème est l'ensemble de la communauté vivante et du milieu physique environnant. L'étude d'un écosystème consiste à observer et à mesurer les relations qui s'établissent entre les divers sous-systèmes qui le constituent.

3.40 Écosystème d'un étang

Un étang constitue un excellent sujet d'étude pour les élèves. La communauté d'un étang contient une grande diversité de plantes (producteurs), d'animaux (consommateurs) et de micro-organismes qui assurent la décomposition des matériaux (réducteurs) [voir figure]. En observant la manière dont plantes et animaux se nourrissent, on peut comprendre ce qui constitue la chaîne de l'écosystème considéré. Pour une étude plus quantitative, il vaut mieux toutefois disséquer les organismes et examiner le contenu de leurs estomacs; mais, bien sûr, cela oblige à détruire les organismes, et l'écosystème se trouve alors considérablement modifié. On préférera donc peut-être laisser les élèves s'attacher surtout à recueil-

Écosystème d'un étang (coupe) montrant les formes vivantes caractéristiques



lir des renseignements sur l'écosystème de telle manière que les risques de le modifier ou de le détruire en cours d'étude soient réduits au minimum. Les déductions devront alors probablement remplacer les observations directes : on prendra bien soin, dans ce cas, de ne pas considérer comme observation ce qui n'est qu'une déduction. Par exemple, la présence dans un étang d'une grenouille et d'une abeille pourrait inciter l'élève à dire qu'un des maillons de la chaîne alimentaire va de l'abeille à la grenouille : or il se peut que les grenouilles ne mangent pas d'abeilles et qu'ainsi on n'en trouve jamais dans le contenu stomacal des grenouilles.

Étude des plantes

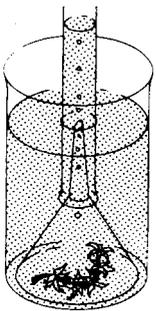
3.41 Photosynthèse

On peut démontrer l'existence de la photosynthèse chez les plantes en mettant des plantes aquatiques, comme *Elodea* (*Anacharis*), dans un entonnoir qu'on placera la tête en bas dans un grand becher rempli d'eau et sur le goulot duquel on renversera un tube à essai (voir figure). On éliminera l'air contenu dans le tube à essai en l'aspirant au moyen d'un mince tuyau ou d'une gaine isolante de fil électrique servant de chalumeau, de sorte que le tube se remplira

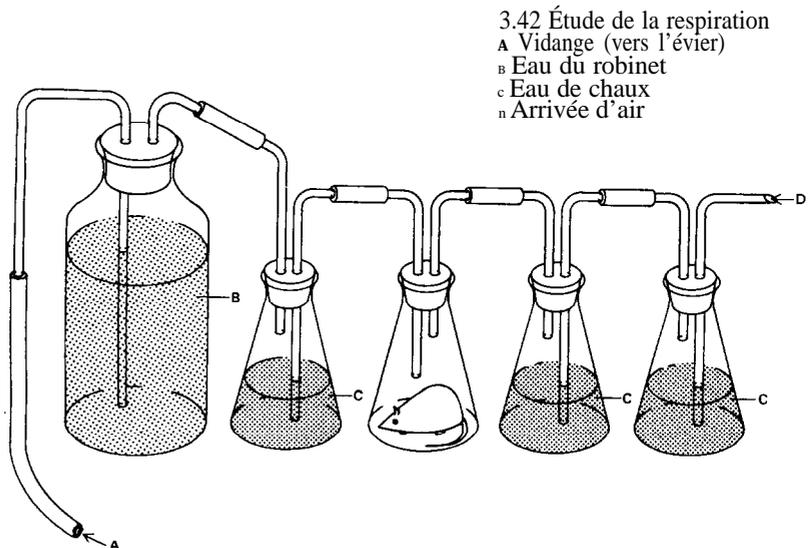
d'eau. On placera sur le pourtour de l'entonnoir quelques boulettes de mastic afin de permettre à l'eau de circuler librement entre le becher et l'entonnoir. Il convient de s'assurer que les plantes aquatiques n'ont pas été en contact avec un récipient en zinc avant d'être introduites dans l'appareil. La lumière requise pour que s'effectue la photosynthèse sera fournie par l'exposition en plein soleil ou par une lampe électrique. On peut identifier le gaz qui se dégage des plantes et s'accumule dans le tube à essai en y plongeant l'extrémité d'une allumette légèrement incandescente : elle s'enflamme. Cette expérience est la plus simple qui permette d'identifier la présence d'oxygène. (La tige d'*Elodea* étant creuse, si l'on en perce l'extrémité avec une épingle les bulles d'oxygène se dégageront plus vite et formeront un chapelet; en les comptant, on pourra quantifier les observations.)

3.42 Respiration

On peut mettre en évidence l'activité respiratoire des organismes à l'aide d'un dispositif qui fait passer de l'air sur des feuilles, des insectes ou un animal de petite taille et le fait ensuite barboter dans une solution faible d'eau de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Ce dispositif doit être isolé du gaz carbonique contenu dans l'air, comme le montre la figure.



3.41 Production d'oxygène par photosynthèse



3.42 Étude de la respiration

A Vidange (vers l'évier)

B Eau du robinet

C Eau de chaux

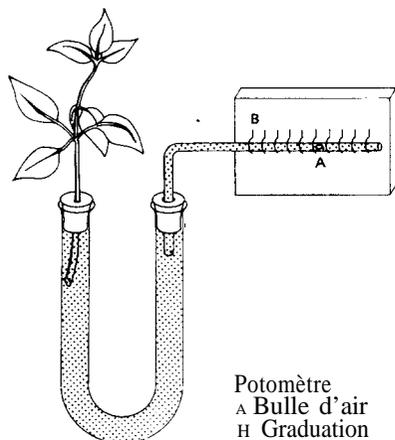
n Arrivée d'air

Monter l'appareil comme l'indique la figure mais en laissant vide la troisième bouteille; puis le faire fonctionner en aspirant au moyen d'un siphon le contenu du grand récipient (une grosse bonbonne) jusqu'à ce qu'il soit complètement vide, et noter les résultats. Renouveler la solution contenue dans toutes les bouteilles et, cette fois, introduire dans la troisième bouteille des feuilles peu tassées ou un animal. Comparer les résultats obtenus avec ceux de l'opération précédente qui sert de témoin.

L'eau de chaux se trouble en présence de gaz carbonique : on peut le montrer en soufflant au moyen d'un chalumeau dans un récipient contenant de l'eau de chaux limpide. Les élèves pourront constater que les feuilles de végétaux produisent de l'oxygène dans certaines conditions et du gaz carbonique dans d'autres, et que les feuilles dégagent le même gaz que la respiration humaine dans certaines conditions.

3.43 Transpiration

Les feuilles dégagent également de la vapeur d'eau. Pour le montrer, on utilise un potomètre (voir figure). Les élèves pourront mesurer le taux de déperdition d'eau (transpiration) dans différentes conditions d'humidité, de vent et de température. Ils pourront également rapprocher le taux de transpiration de la surface foliaire totale. On peut évaluer approximativement cette surface



en posant une feuille sur du papier millimétrique et en traçant le contour de la feuille sur celle-ci : le nombre des carreaux contenus à l'intérieur de ce contour donne la superficie de la feuille.

3.44 Produits de l'activité de la feuille

A. Dans la feuille, on peut constater la présence de sucre, qui résulte de la photosynthèse, et de grosses molécules d'amidon formées à partir de plusieurs molécules de sucre. Pour ce qui est de l'amidon, un test simple consiste à mettre en contact avec la feuille une solution faible d'eau iodée : l'apparition d'une coloration bleu-noir caractéristique révélera la présence d'amidon. On prépare l'eau iodée en faisant dissoudre 10 g d'iodure de potassium dans 100 cm³ d'eau distillée et en ajoutant 5 g d'iode. Pour démontrer le virage de la coloration on peut faire un essai sur des tubercules de pommes de terre ou sur un empois d'amidon. Pour l'application à des feuilles, il est nécessaire de ramollir les tissus foliaires en les faisant bouillir dans de l'eau pendant quelques minutes. On passera ensuite la feuille dans de l'alcool bouillant jusqu'à disparition des pigments qui masqueraient la réaction.

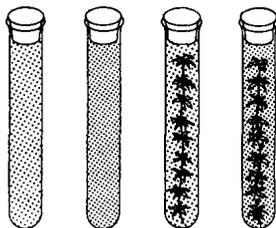
Attention : faire chauffer l'alcool sur un réchaud électrique, ou au bain-marie si l'on emploie une flamme. Il faut compter normalement 5 à 8 minutes pour éliminer la chlorophylle, mais avec des feuilles charnues il faudra peut-être prolonger l'opération ou changer l'alcool pour que les pigments soient complètement éliminés. La réaction de l'eau iodée doit se produire en moins de 15 minutes.

B. Les feuilles de certaines plantes se prêtent bien aux tests d'identification des sucres car, au lieu des grosses molécules d'amidon, elles ont emmagasiné des molécules simples de sucre : c'est le cas, en particulier, du blé, de la betterave à sucre et de l'oignon. Des bulbes d'oignons germés, cultivés dans la classe, pourront facilement fournir ce genre de feuilles. On en coupera des segments de 2 cm de long qu'on fera bouillir dans un tube à essai en Pyrex en présence de 2 cm³ environ du réactif approprié. (Le réactif des sucres se prépare comme suit : prendre 173 g

de citrate de sodium, 200g de carbonate de sodium cristallisé et 17,3 g de sulfate de cuivre cristallisé; faire dissoudre le carbonate et le citrate dans 100 cm³ d'eau [ces produits se dissolvent mieux dans l'eau chaude], puis faire dissoudre le sulfate de cuivre dans 100 cm³ d'eau et verser lentement cette dernière solution dans la solution de carbonate et de citrate; laisser refroidir et compléter en ajoutant de l'eau pour faire un litre de réactif.) Le changement de coloration peut être démontré de la manière suivante : faire dissoudre un peu de sucre de canne dans 10 cm³ d'eau contenue dans un tube à essai; ajouter de la salive : celle-ci changera le sucre de canne, double, en un sucre simple (glucose); mettre 3 cm³ de réactif et faire bouillir : lorsqu'un sucre simple est présent, il se forme un précipité jaunâtre ou rougeâtre.

3.45 Mesure de l'activité de la feuille

Pour déceler la présence de gaz carbonique, on utilise du bleu de bromothymol. Remplir aux trois quarts d'eau 4 tubes à essai; ajouter environ 25 gouttes de bleu de bromothymol dans chaque tube. Dans deux des tubes, mettre une tige d'*Elodea* ou d'une autre plante aquatique (voir figure). Au moyen d'une paille, faire des bulles dans l'un des tubes qui ne contiennent aucune plante puis dans un de ceux qui en contiennent une et observer le changement de coloration qui indique la présence de gaz carbonique. Boucher alors les 4 tubes et observer les modifications qui



3.45

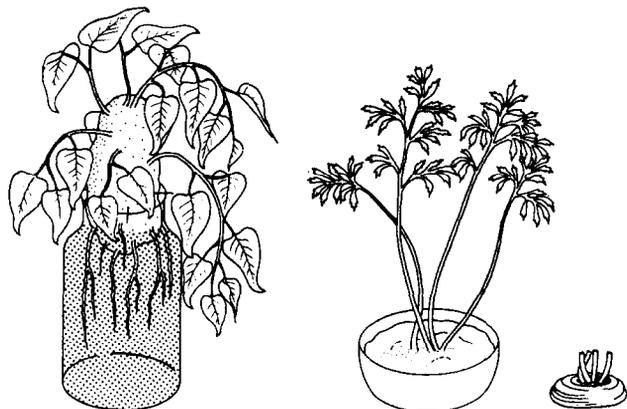
se produisent pendant une période allant de 15 minutes à 1 heure. Recommencer l'expérience mais, cette fois, en mettant les tubes dans un endroit obscur, l'intérieur d'une armoire par exemple.

3.46 Culture de plantes sans sol en classe

A. Si, dans la salle de classe, on met une patate douce dans l'eau, elle donnera un feuillage abondant. Placer la patate dans un verre ou un bocal, en dirigeant sa racine vers le bas, et mettre de l'eau de manière qu'elle la couvre à peu près au tiers : on peut maintenir la patate en place en y enfonçant 3 cure-dents ou 3 allumettes qui prendront appui sur les bords du bocal (voir figure).

B. Les racines de carottes, de betteraves et de navets contiennent une grande quantité de matières nutritives. Si on les cultive dans l'eau, elles donneront naissance à des feuilles, mais non à de nouvelles plantes. Débarrasser la racine des vieilles feuilles qui la surmontent, puis la couper de manière à n'en garder que 5 à 8 cm; placer ce tronçon dans un récipient peu profond rempli d'eau en le maintenant vertical au moyen de quelques galets.

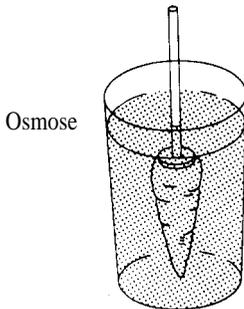
C. Couper un ananas à une distance de 3 à 5 cm au-dessous de la base des feuilles et placer ce tronçon dans un récipient peu profond rempli d'eau : les feuilles continueront à pousser pendant plusieurs semaines.



3.46 Culture de plantes en classe

3.47 Osmose

Choisir une carotte (ou une pomme de terre) assez grosse à sa partie supérieure et dépourvue de crevasses. Au moyen d'un couteau bien aiguisé ou d'un vide-pommes, faire un trou d'environ 5 cm de profondeur dans le collet de la carotte, en prenant bien soin de ne pas fendre le collet. Remplir cette cavité d'une solution concentrée de sucre. Boucher hermétiquement au moyen d'un bouchon de caoutchouc percé d'un trou portant 2 pailles serrées l'une contre l'autre ou un tuyau de verre (voir figure). Placer la carotte pendant quelques heures dans un bocal rempli d'eau. Si le trou creusé dans le collet n'est pas très rond, il faudra peut-être sceller le bouchon au moyen d'un peu de bougie fondue. Les élèves aimeront certainement jouer à qui fera monter l'eau le plus haut dans le tuyau.

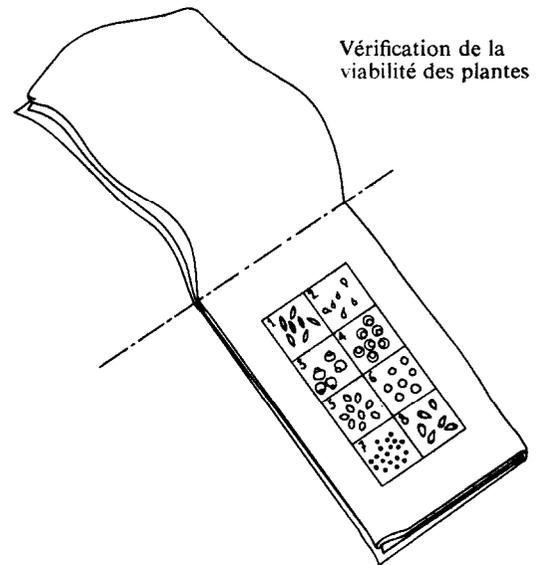


3.48 Développement de racines sur des morceaux de plantes

Se procurer une boîte remplie de sable et la mettre dans un endroit abrité des rayons du soleil. Mouiller le sable copieusement et y entretenir une humidité permanente. Dans ce sable, planter l'un ou l'autre des végétaux suivants : a) des bulbes d'espèces diverses; b) des boutures de bégonia ou de géranium; c) un bout de tige de canne à sucre dont un nœud sera enterré dans le sable; d) un bout de tige de bambou dont un nœud sera enterré dans le sable; e) des collets de carottes, de radis et de betteraves comportant chacune une petite portion de racine; f) un oignon; g) un rhizome d'iris; h) des morceaux de pomme de terre portant des yeux; i) une petite branche de saule.

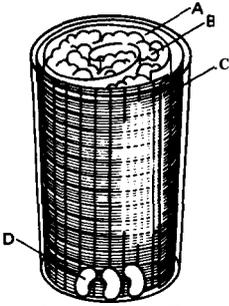
3.49 Croissance des racines à partir des graines : test du pouvoir germinatif

Plier 1 m² de mousseline deux fois sur lui-même dans le même sens. Sur une moitié du panneau du dessus, dessiner au crayon 8 ou 10 carrés d'environ 5 cm de côté (selon le nombre d'espèces de graines dont on disposera). Numéroté ces carrés et, sur chacun d'eux, disposer 10 graines prises dans un même sachet (voir figure). Noter la disposition des diverses semences. Replier l'autre moitié du tissu sur les graines. Enrouler le tout et ligaturer avec une ficelle sans serrer, puis saturer d'eau. Placer le rouleau dans un endroit assez chaud pendant plusieurs jours, en maintenant une humidité constante, puis dérouler et voir combien de graines de chaque espèce ont germé. Les élèves exprimeront le pouvoir germinatif sous forme de pourcentages ou en établissant des courbes.



3.50 Un jardin dans un verre à boire

Chaque élève fera son petit jardin dans un verre d'eau. Enrouler du papier buvard ou des serviettes en papier et les placer à l'intérieur du verre. Au centre du rouleau, mettre de la mousse de tourbière, du coton, de la sciure de bois ou



Jardin dans un verre à boire
 A Serviettes en papier
 B Coton hydrophile, etc.
 C Papier millimétrique
 D Graines

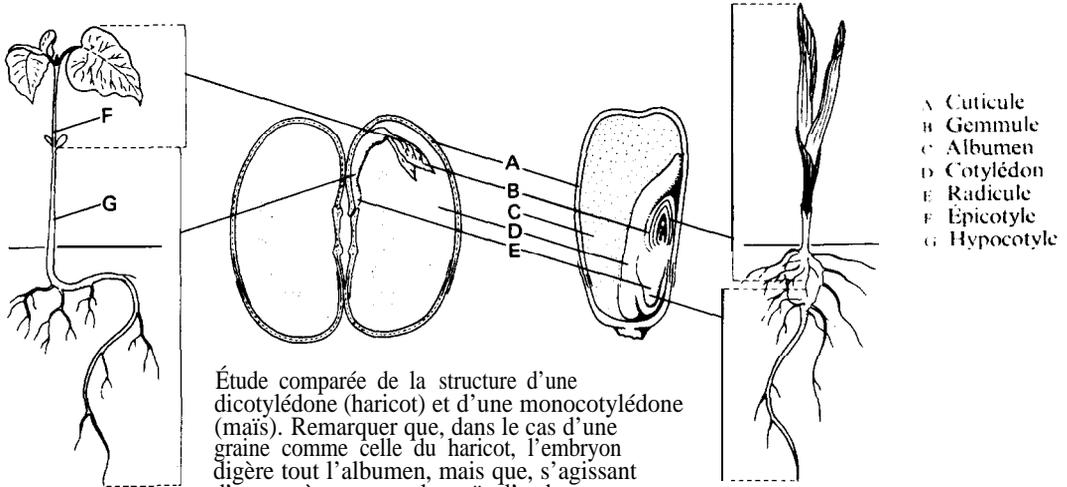
des copeaux. Entre le papier et le verre, insérer un morceau de papier millimétrique imprimé à l'encre indélébile et coupé à la dimension voulue. Introduire des graines de haricots entre ce papier millimétrique et le verre, comme indiqué sur la figure, et arroser le centre du verre. Les élèves observeront la croissance fréquemment et se serviront des lignes tracées sur le papier millimétrique comme repères. Ils pourront présenter les résultats sous forme de courbes en portant les temps en abscisse et l'allongement des tiges (en millimètres) en ordonnée.

3.51 Germination du pollen

Faire une solution concentrée de sucre et la verser dans un récipient peu profond, une soucoupe par exemple. A la surface de cette solution, secouer le pollen de diverses sortes de fleurs. Couvrir d'une plaque de verre et laisser séjourner dans un endroit chaud pendant plusieurs heures. Si l'expérience réussit, on pourra voir de petits tubes se développer sur les grains de pollen : les examiner à la loupe.

3.52 Structure des graines

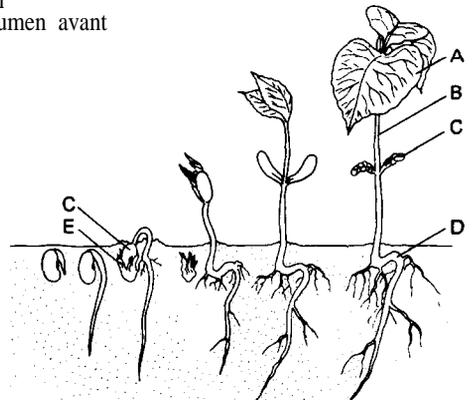
Faire tremper des graines de haricots, de petits pois, de citrouilles, de tournesols, d'arachides, de maïs et d'autres grosses graines, puis les décortiquer et les ouvrir soigneusement pour étudier les parties dont elles sont constituées. Il est sans grand intérêt d'apprendre aux élèves les désignations botaniques des divers éléments, même s'ils prennent plaisir à les retenir: il est plus utile de



Étude comparée de la structure d'une dicotylédone (haricot) et d'une monocotylédone (maïs). Remarquer que, dans le cas d'une graine comme celle du haricot, l'embryon digère tout l'albumen, mais que, s'agissant d'une espèce comme le maïs, l'embryon n'absorbe qu'une faible partie de l'albumen avant la germination

Germination et premiers stades de la croissance d'un haricot

A Feuille
 B Tige
 C Cotylédons
 D Racine primaire
 E Radicule

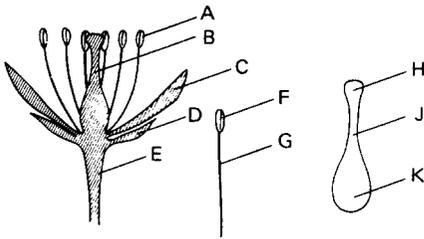


leur apprendre à reconnaître quelle est la partie de la graine qui correspond à la jeune plante et celle qui contient les réserves alimentaires (voir figures).

3.53 Différentes parties d'une fleur

Examiner des spécimens de grandes fleurs simples, tulipes ou lys par exemple. Compter les étamines et observer leur disposition autour du pistil central. Faire de grands diagrammes représentant les organes essentiels, en inscrivant le nom des différentes parties du pistil (stigmate, style et ovaire) et des différentes parties de l'étamine (filet et anthère).

La partie terminale de la tige qui supporte la fleur s'appelle le réceptacle. A la base du réceptacle, on trouve en général des sortes de feuilles qui entouraient le bouton : ce sont les sépales. Les sépales sont généralement surmontés d'une couronne de pétales de couleurs vives appelée corolle (voir figure).



Différentes parties d'une fleur

- A Étamines
- B Pistil
- C Pétales
- D Sépales
- E Réceptacle
- F Anthère
- G Filet
- H Stigmate
- J Style
- K Ovaire

3.54 Dissection de fleurs simples

A. Si l'on peut se procurer des fleurs en nombre suffisant, le mieux est de faire exécuter cet exercice individuellement par chaque élève. On choisira des fleurs simples pourvues d'une seule rangée de pétales. Prendre 5 morceaux de bristol ou de papier et inscrire sur chacun d'eux l'un des termes suivants : étamines, pistil, pétales, sépales, réceptacle. Disséquer soigneusement une fleur et en déposer délicatement les diverses parties sur les cartons correspondants. Certaines fleurs se laissent facilement disséquer mais, pour d'autres, on aura peut-être besoin d'employer un couteau ou une paire de ciseaux.

B. Prendre une des étamines et passer délicatement l'anthère sur la surface d'un morceau de papier noir : on verra normalement des traces de pollen qu'on examinera au microscope.

C. Faire une coupe transversale de l'ovaire à l'aide d'un couteau bien aiguisé et compter les ovules ou les loges contenant les graines. Essayer de voir les embryons de graines dans les ovules.

3.55 Développement du fruit

A. Récolter des spécimens de fleurs à divers stades de maturité, depuis le début de l'éclosion du bouton jusqu'à la chute des pétales. Faire une coupe de chaque ovaire et observer les modifications qui se produisent pendant la formation de la graine. La rose, la pomme et la tomate conviennent très bien pour cet exercice.

B. Dans 1 kg de petits pois, haricots verts ou autres légumineuses fraîchement cueillis, chercher des cosses qui ne sont pas complètement remplies. Les ouvrir et les comparer avec celles qui sont bien remplies. Les graines avortées sont les restes d'ovules non fertilisés par le pollen.

3.56 Monocotylédones

Se procurer plusieurs tiges de diverses plantes telles que le bambou, la canne à sucre ou le maïs. Les couper transversalement au moyen d'un couteau très bien aiguisé ou d'une lame de rasoir. Étudier les ressemblances entre les coupes. Noter en particulier que les tubes des faisceaux libéro-ligneux sont répartis jusque dans la moelle qui remplit le coeur de la tige.

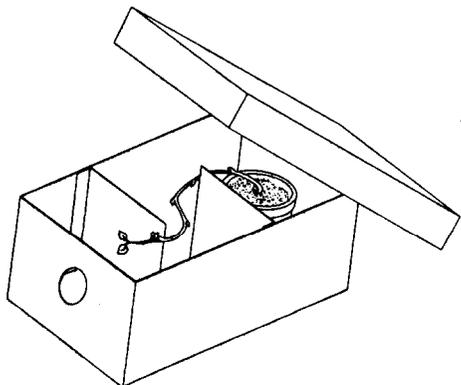
3.57 *Dicotylédones*

Se procurer des tiges de diverses plantes ou arbustes tels que le saule, le géranium, la tomate, etc. Les couper transversalement à l'aide d'un couteau bien aiguisé ou d'une lame de rasoir. On remarquera que, juste sous l'assise extérieure de la tige, se trouve une couche d'un vert vif : c'est le cambium. On notera également que les tubes des faisceaux libéro-ligneux sont disposés en cercle autour du cœur, ligneux, de la tige.

3.58 *Action de la lumière sur la croissance de la tige*

A. Dans 2 pots de fleurs, semer des graines à croissance rapide : avoine, radis, haricot ou moutarde, par exemple. Quand les pousses auront atteint environ 2,5 cm, coiffer l'un des pots d'une boîte percée d'un trou à la partie supérieure d'un de ses côtés. De temps en temps, soulever la boîte et observer l'orientation des pousses. Faire pivoter la boîte de manière que la lumière arrive d'une direction différente et observer l'effet produit au bout de quelques jours.

B. Disposer 2 écrans en chicane dans une boîte oblongue et étroite, comme l'indique la figure, et découper une ouverture circulaire à une extrémité de la boîte. Dans un petit pot pouvant loger à l'intérieur de la boîte, planter une pomme de terre germée et placer le pot derrière l'écran le plus éloigné de l'ouverture. Couvrir la boîte et la mettre auprès d'une fenêtre. Observer de temps en temps l'orientation prise par les pousses.



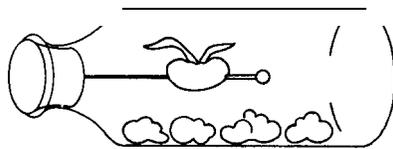
C. Planter quelques graines à croissance rapide dans 4 pots de fleurs qu'on placera à l'abri de la lumière jusqu'à ce que les pousses aient atteint environ 2,5 cm. Mettre l'un des pots sur le rebord d'une fenêtre bien ensoleillée et observer le résultat. Faire pivoter le pot pour que les plantes ne soient plus orientées vers la lumière et observer l'effet produit. Laisser quelques jours ce même pot dans un endroit abrité de la lumière directe et observer à nouveau.

D. Placer chacun des 3 autres pots dans une boîte différente. Dans chaque boîte, découper une ouverture qu'on recouvrira d'une feuille de cellophane de couleur différente pour chaque boîte (rouge, jaune et bleu par exemple). Disposer les 3 boîtes avec les pots qu'elles contiennent dans un endroit bien éclairé et de telle sorte que l'ouverture soit en pleine lumière. Observer les différences qui peuvent se manifester dans l'action de lumières de couleurs différentes sur la croissance des tiges.

3.59 *Action de la pesanteur sur la croissance des tiges et des racines*

A. Placer des graines à croissance rapide (avoine, radis ou moutarde par exemple) sur du papier buvard humide pris entre deux plaques de verre maintenues par des bracelets de caoutchouc et en position verticale. Une fois la germination effectuée, faire pivoter les plaques de 90° dans le plan vertical et les laisser dans cette position. De temps en temps, les faire pivoter à nouveau de 90°, en les laissant verticales, et observer les conséquences sur la croissance des racines.

B. On peut encore étudier l'action de la pesanteur sur la croissance des racines en procédant de la façon suivante : faire germer quelques



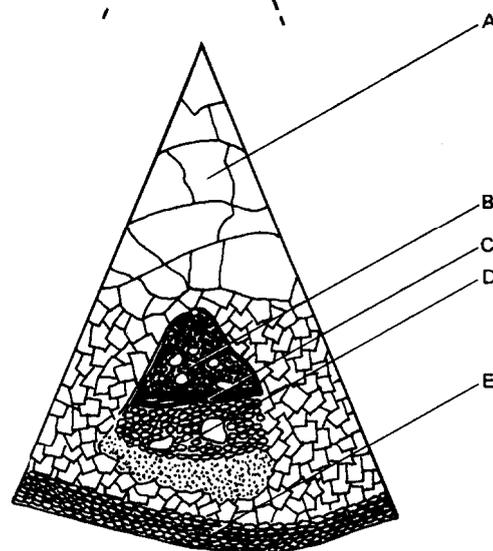
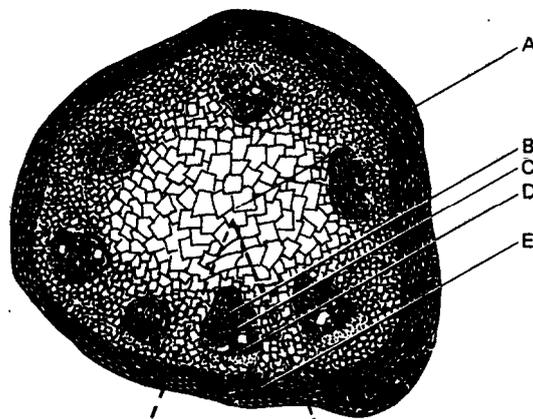
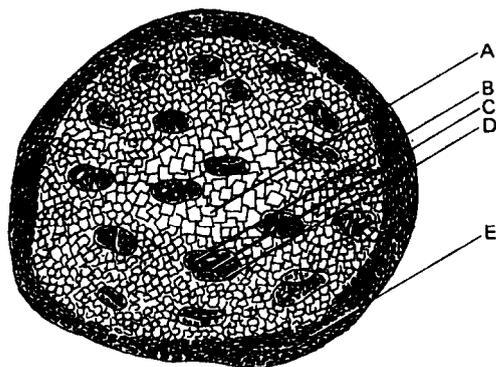
Action de la pesanteur sur les racines

graines, en choisir une à la pousse bien droite, l'empaler sur une longue épingle ou une grande aiguille et la fixer de cette manière sur un bouchon; mettre ensuite dans une bouteille un peu de coton hydrophile ou de papier buvard humide et la fermer par le bouchon portant la pousse (voir figure). La bouteille sera mise dans un placard, à l'abri de la lumière, et on l'observera toutes les 4 heures.

3.60 Étude des tissus de la tige

Les coupes transversales de tiges sont excellentes pour l'examen au micro-projecteur ou au microscope de faible puissance (voir figure). Il est facile

de les faire suffisamment minces pour les observer au microscope. La comparaison de tiges de monocotylédones et de tiges de dicotylédones constitue une intéressante introduction à l'étude des plantes vasculaires. En plaçant la tige dans un becher rempli d'eau additionnée d'encre rouge ou de colorant, on pourra faire ressortir celles des cellules qui jouent un rôle dans l'ascension de l'eau dans la tige. On peut aussi utiliser à cette fin des tiges de céleris ou de haricots. Le mouvement ascendant de l'eau dans les tiges sera facilité si la coupe est effectuée sous l'eau : on empêche ainsi la formation de bulles d'air qui entravent la montée de l'eau dans les vaisseaux.



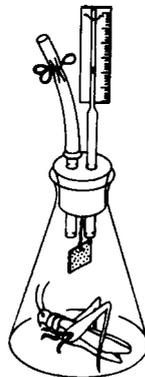
Coupe transversale d'une tige
A Moelle
B Xylène (bois)
C Cambium
D Phloème (liber)
E Épiderme

Étude des animaux

3.61 Processus d'échanges dans les organes animaux

On peut mesurer la quantité d'oxygène consommée par un petit animal grâce à l'absorption de gaz carbonique par une solution d'hydroxyde de potassium. Préparer un récipient bien bouché où l'on suspendra du papier imbibé d'une solution à 0,5 % d'hydroxyde de potassium et y introduire un cafard, un criquet ou plusieurs vers de farine. Le récipient doit être muni d'un bouchon à deux trous dont l'un portera une pipette de 0,2 ml ou un tuyau de verre de petit diamètre intérieur (voir figure). Si l'on utilise un tuyau de verre, il faudra placer derrière lui un morceau de papier millimétrique ou une règle graduée en millimètres afin de disposer de repères pour observer le mouvement d'une goutte d'eau colorée ou de teinture à l'intérieur du tuyau. On empêchera l'organisme contenu dans la bouteille d'entrer en contact avec le papier absorbant en entourant celui-ci de papier froissé ou en l'attachant à une ficelle elle-même fixée par une punaise à la partie inférieure du bouchon. On fera préparer par les élèves un flacon témoin contenant les mêmes éléments que le premier, à l'exception de l'organisme étudié. On notera à intervalles réguliers le mouvement de la goutte d'eau colorée et on comparera avec le flacon témoin. La différence constatée est due à la transformation de l'oxygène en gaz carbonique par l'organisme. Les élèves examineront cet organisme pour y découvrir les organes qui servent à l'admission de l'air, par exemple les stigmates.

Mesure de l'oxygène absorbé par un petit animal



3.62 Observation d'un cœur d'escargot

Si vous avez un aquarium abritant des escargots d'eau, vous pourrez y découvrir de minces amas gélatineux collés au verre ou aux feuilles des plantes aquatiques. À l'aide d'une lame de rasoir, on peut les détacher sans les abîmer et les placer sur une lame de microscope où l'on aura déposé quelques gouttes de l'eau contenue dans l'aquarium. En les examinant avec un micro-projecteur ou un microscope de faible grossissement, on pourra voir facilement les palpitations du cœur.

Étude des tissus

3.63 Qu'est-ce qu'un tissu?

On appelle tissu le groupement de cellules semblables d'un organisme multicellulaire qui remplissent une même fonction. L'activité d'un organisme implique souvent que des tissus différents fonctionnent de manière coordonnée. La dissection d'une patte de poulet illustrera bien les relations entre tissus différents. Les élèves pourront constater que les mouvements des os des doigts sont commandés par des tendons qu'il suffit de tirer pour mettre en évidence leur action. Pour préparer la patte de poulet, on la dépouillera et on séparera les différents tendons en les débarrassant du tissu conjonctif jusqu'au bout des doigts. On fera découvrir aux élèves quels sont les tendons (et donc, quels sont les muscles) qui font contracter les doigts et quels sont ceux qui les font s'étirer et s'ouvrir. On étudiera les fonctions des os, des tendons, des muscles, du sang, des vaisseaux sanguins et des nerfs que la dissection de la patte de poulet a permis de mettre en évidence.

3.64 Un tissu liquide

Le sang est un tissu facile à étudier. Il offre une grande variété de caractères intéressants et originaux (coagulation, présence d'anticorps, groupes sanguins, etc.), ce qui fait que son étude constitue une excellente introduction à celle des transplantations d'organes, de la génétique, de la respiration et de toute une série d'autres sujets. En règle générale, on évitera d'utiliser des échantillons de

sang prélevés sur des élèves. On prendra plutôt, comme on le fait couramment, du sang de grenouille, du sang de mammifère provenant d'un abattoir ou d'une boucherie, ou encore du sang complet périmé emprunté à un hôpital.

Attention : si l'on envisage d'utiliser du sang prélevé sur les élèves, on s'assurera d'abord que les règlements médicaux et scolaires locaux n'interdisent pas cette pratique, comme c'est souvent le cas. Si elle est autorisée, on se fera une règle absolue de ne jamais utiliser plus d'une fois une lancette pour ne pas risquer de propager une maladie contagieuse telle que l'hépatite virale par exemple. Passer la lancette à la flamme ou la plonger dans l'alcool ne suffit pas à éviter la transmission du virus.

On peut empêcher le sang de mammifère de se coaguler en l'additionnant d'une solution de citrate de sodium à 2 % à raison de 1 partie de solution de citrate pour 4 parties de sang. Les élèves seront invités à observer du sang de grenouille et du sang de mammifère au microscope afin de faire la comparaison entre les cellules sanguines à noyau et sans noyau.

3.65 Observation du flux sanguin

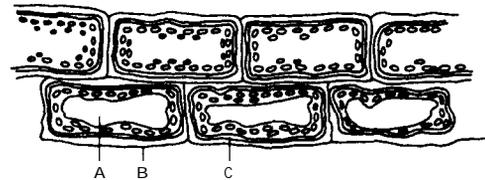
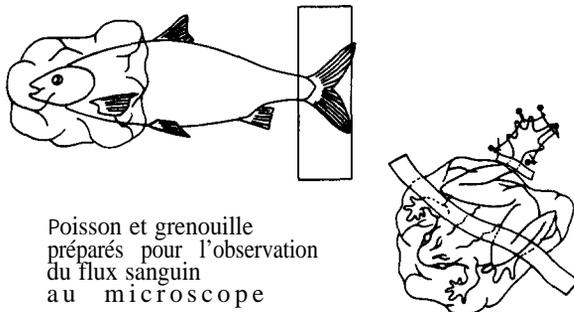
On peut observer les cellules sanguines chez certains organismes vivants tels que les poissons ou les grenouilles. Le poisson ou la grenouille sera enveloppé dans un linge mouillé et épinglé sur une planchette de bois tendre ou de liège pourvue d'une ouverture permettant l'observation au microscope. On étalera sur cette ouverture la nageoire caudale du poisson, ou la membrane

des pattes palmées de la grenouille de manière à pouvoir placer toute la préparation sur la platine d'un microscope (voir figure). On pourra alors voir les cellules sanguines se glisser dans les vaisseaux très étroits qui tapissent la fine membrane de la nageoire ou des pattes de grenouille. Le lait d'une noix de coco constitue un autre tissu liquide intéressant : on utilise souvent ce liquide très nutritif pour les cultures de tissus où il fournit les aliments nécessaires à la prolifération des tissus à partir d'une seule cellule ou d'un tout petit nombre de cellules.

Étude des cellules

3.66 Qu'est-ce qu'une cellule?

Les types de cellules qu'on peut observer en classe au microscope sont très variés. Bien qu'il en existe d'assez grosses (par exemple, l'œuf d'autruche ou les cellules de certaines algues marines) il faut le plus souvent un microscope pour une étude sérieuse. Les sources possibles de cellules sont de deux sortes. Il y a des cellules qui sont considérées comme des organismes entiers appelés protistes : c'est le cas notamment des cellules de levure, des protozoaires, des bactéries, des euglènes et d'autres organismes unicellulaires. Mais, étant donné que ces organismes unicellulaires se présentent en groupes qui forment en fait une population, il est peut-être préférable de commencer par étudier les cellules contenues dans les tissus d'organismes multicellulaires. Il est facile de faire une démonstration frappante de la

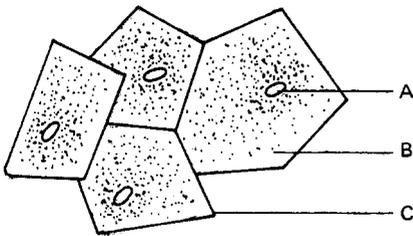


Elodée
A Noyau
B Cytoplasme
C Membrane cellulaire

différence entre cellules de tissus animaux et cellules de tissus végétaux. On trouve couramment dans les aquariums une plante qui se prête très bien à cette démonstration : c'est l'élodée (*Anacharis*) [voir figure]. On prendra de préférence les petites feuilles qui se trouvent à la base du bourgeon terminal. Mettre une seule petite feuille dans une goutte d'eau sur une lame de microscope, la recouvrir d'une lamelle et l'observer au microscope. Avec un éclairage intense, on pourra peut-être observer le mouvement interne des chloroplastes, appelé cyclose.

3.64 Différences entre cellules végétales et cellules animales

A l'aide d'un cure-dents propre, raclez délicatement la face intérieure de votre joue. Mettez la râclure blanchâtre recueillie dans une goutte d'eau sur une lame de microscope. Ajoutez une goutte de colorant, bleu de méthylène ou eau iodée, et couvrez avec une lamelle. Observez au microscope, d'abord à faible grossissement, puis à fort grossissement. Les élèves compareront la cellule animale à la cellule végétale (voir figure).



Cellules de la face interne de la joue
A Noyau
B Cytoplasme
C Membrane cellulaire

3.68 Cloisons des cellules

La préparation microscopique de feuille d'élodée (voir 3.66) peut être utilisée pour mettre en évidence la présence d'une cloison cellulaire (membrane squelettique). Mettre une goutte d'eau salée sur un des bords de la lamelle couvre-objet, puis

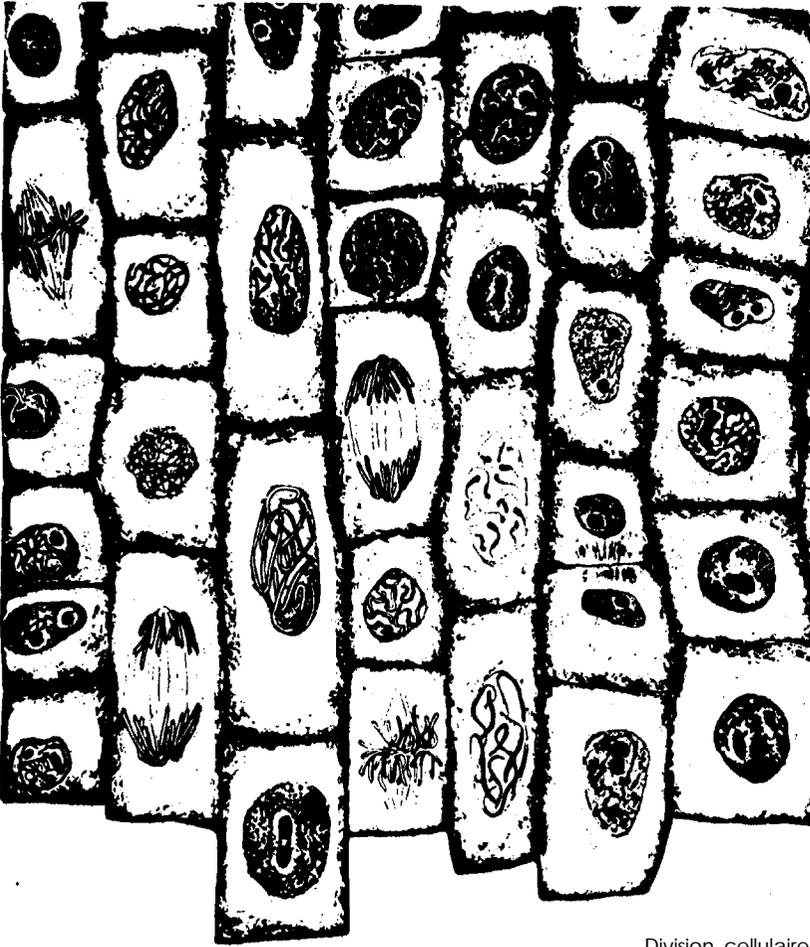


Cellules d'élodée placées dans une solution saline

attirer cette solution saline sous la lamelle en plaçant un morceau de serviette en papier ou de papier buvard sur le bord opposé de manière que le liquide déposé sur la lamelle soit absorbé par le papier. L'eau contenue dans les cellules passera par diffusion dans l'eau salée. A mesure que s'opère cette diffusion, on verra le contenu cellulaire diminuer de volume tandis que les cloisons cellulaires rigides conserveront leur structure initiale. On peut utiliser d'autres cellules végétales pour mettre en évidence ce phénomène. Les feuilles charnues pourvues d'une mince couche superficielle détachable peuvent éventuellement fournir de fines couches de cellules : c'est le cas notamment des feuilles de *Tradescantia*; de laitue ou d'épinards.

3.69 Reproduction des cellules

Pour étudier ce processus de reproduction fondamental connu sous le nom de division cellulaire, on choisira un tissu approprié à croissance rapide. La zone apicale de la racine des oignons ou d'autres plantes voisines convient parfaitement à cette fin. Si l'on place des bulbes d'oignons, des gousses d'ail ou des plants d'oignons dans un bain d'eau bien aéré, on disposera d'une grande quantité de matériaux pour cette étude. Couper la pointe des racines blanches de spécimens sains et conserver une section cylindrique de 3 mm prise à l'extrémité de la racine. La placer dans une goutte de carmin acétique sur une lame de microscope. Couper la pointe de racine d'oignon à la lame de rasoir pour obtenir des fragments aussi petits que possible. Couvrir la préparation d'une lamelle couvre-objet. Puis, avec le doigt protégé par un morceau de serviette en papier, exercer délicatement une pression sur la lamelle, pour écraser les morceaux de racine en



Division cellulaire

veillant à ce que la lamelle ne glisse pas. Examiner ensuite la préparation au microscope en utilisant l'objectif à faible puissance.

On cherchera à apercevoir des corps filiformes de coloration sombre : ce sont les chromosomes et les configurations qu'ils forment au cours de la mitose. Les élèves s'efforceront de dégager les divers types et les stades de la division auxquels ils correspondent. Puis, lorsqu'on aura bien mis au point la technique, on demandera aux élèves

de compter les divers stades et, sur la base de ces données, d'établir approximativement leur durée relative au cours de la reproduction d'une cellule.

3.70 Chromosomes des glandes salivaires

En raison de la grande dimension des chromosomes des glandes salivaires des larves de mouches, il est relativement facile d'étudier ces organites cellulaires. On peut trouver des larves de mouches bleues ou vertes sur la viande crue qu'on

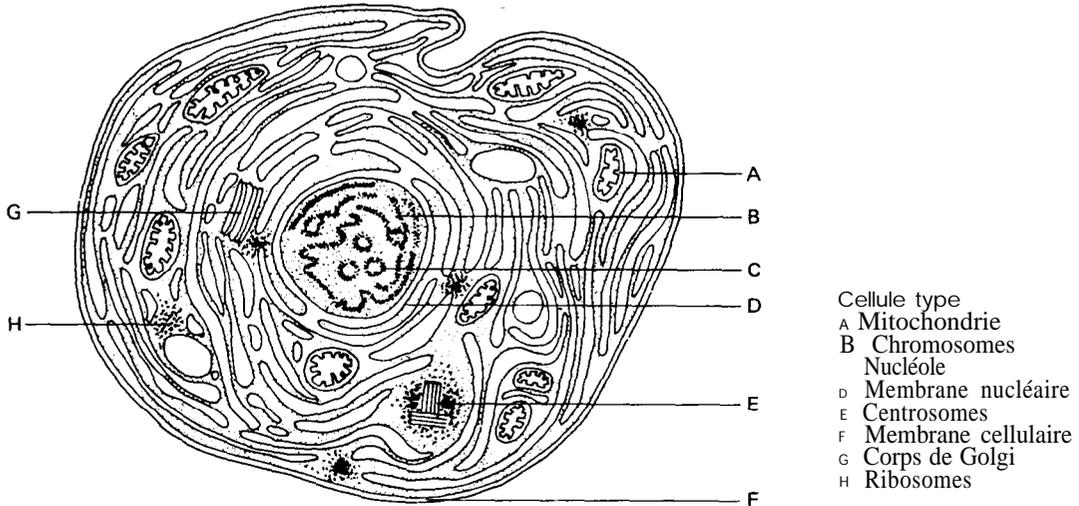
aura laissée exposée en plein air. Pour dégager les glandes salivaires, placer une larve sur une lame de microscope dans une goutte d'eau salée; prendre ensuite deux aiguilles à dissection et, en maintenant la queue de la larve avec l'une d'elles, percer la tête avec l'autre aiguille; étirer ensuite lentement la larve pour extraire la tête, les pièces buccales, le tube digestif et les glandes salivaires. Détacher les cellules grasses, le tube digestif et la tête des glandes salivaires elles-mêmes. En plaçant sous un microscope des cellules de glandes écrasées et colorées à l'orcéine acétique on doit normalement voir apparaître de grands chromosomes en forme de rubans.

3.71 Observation des organites

Les progrès accomplis depuis la mise au point du microscope électronique font qu'on connaît mieux maintenant la structure de la cellule et les éléments qui la composent. Ces éléments sont

appelés organites. Bien qu'il soit en général impossible de faire voir aux élèves un microscope électronique, il faut qu'ils en connaissent l'importance pour l'approfondissement des connaissances du biologiste aux niveaux d'organisation inférieurs à celui de la cellule.

On peut se procurer facilement des photographies de microscopes électroniques auprès des fabricants de ces appareils. Certains d'entre eux, ainsi que certaines firmes de produits pharmaceutiques, fournissent aussi gratuitement des spécimens de photos prises au microscope électronique. Ces photos, qui seront examinées en classe, apprendront aux élèves à reconnaître et à observer les éléments et les points qui, dans les cellules, sont le lieu de telle ou telle activité donnée (voir figure). Le processus de la respiration, par exemple, devient moins mystérieux pour l'élève s'il a vu des photos des organites appelés mitochondries, qui en sont le siège à l'intérieur de la cellule.



Chapitre quatre

Sciences de la terre et de l'espace

Introduction

Les sciences de la terre ont toujours intéressé les enfants, soit qu'ils s'émerveillent de la beauté d'une « jolie » roche, soit qu'ils posent des questions du genre : « Qu'est-il arrivé aux dinosaures? » L'évolution récente des sciences de l'espace suscite un égal intérêt. Point n'est besoin d'être géologue ou astronaute pour enseigner ces sciences dans les classes élemen-

taires. Le maître n'est aucunement tenu de pouvoir répondre à toutes les questions. On peut apprendre bien des choses concernant les sciences de la terre sans recourir à un vocabulaire difficile ou à des concepts compliqués. Les pages qui suivent ont pour but non pas de former de jeunes géologues, mais d'éveiller chez les enfants un intérêt pour ces sciences.

Roches et minéraux

Les premiers pas

4.1 Par où commencer

A Matériel essentiel pour recueillir, identifier et monter des échantillons de roches et de minéraux

Spécimens de roches ignées, métamorphiques et sédimentaires.

Sac ou sac à dos, papier, crayons et bracelets de caoutchouc.

Loupe (**X** 10).

Marteau.

Compte-gouttes et vinaigre et/ou HCl dilué.

Vernis à ongles pour écrire les noms ou les numéros sur les échantillons.

Colle pour monter les échantillons sur des cartons.

Supports de tubes à essai et tubes à essai.

Ciseaux.

Pièce de monnaie en bronze.

Lime.

Plaque de touche en porcelaine ou céramique.

Petite balance.

Aimant.

Lampe à alcool.

Boîtes pour répartir les échantillons en groupes.

Cartes de 7,5 x 12,5 cm pour y inscrire les observations.

Papier millimétré.

Petits bocaux de verre.

Plaque de verre.

Brucelles.

B Observation des roches et des minéraux

Demander à chaque élève d'apporter un ou plusieurs échantillons de roche qui pour une

raison ou une autre lui ont paru intéressants.

Plusieurs questions peuvent se poser au sujet

de cette roche. Par exemple, quel est son âge?

Comment est-elle venue là, où elle a été trouvée?

A-t-elle de la valeur? A quoi peut-elle servir?

Toute science commence par l'observation.

Demander aux élèves de décrire leur(s) roche(s)

en utilisant tous leurs sens. Quelle est sa couleur? Comparer son poids avec un objet connu de dimension analogue. Est-elle relativement dure ou tendre? Se casse-t-elle facilement? Placer deux roches différentes l'une à côté de l'autre. Décrire les similitudes et les différences. Mettre en tas toutes les roches apportées par les élèves. Demander à la classe de les séparer en groupes distincts, d'après leurs similitudes et leurs différences. On parvient ainsi à une identification simple des roches et minéraux.

4.2 Comment observer une roche

En règle générale, les élèves n'apportent pas d'échantillons minéraux exotiques achetés dans le commerce. La plupart du temps, ils apportent des échantillons rocheux qu'ils trouvent en se promenant. Bien souvent, ces échantillons ont subi l'effet des intempéries. Demander aux élèves d'apporter des spécimens ayant des surfaces fraîches. Il faudra peut-être enlever quelques éclats, mais cette méthode elle-même n'est pas absolument sûre, car les roches vont se fracturer le long de fissures préexistantes et elles ont peut-être déjà subi une certaine altération. Frapper la roche avec un marteau assez fortement pour mettre en évidence des surfaces non altérées. Avec un peu d'expérience, cette opération n'est pas trop difficile. Pour casser les fragments sans danger, les entourer d'un morceau d'étoffe, les placer sur une grosse pierre et frapper fort avec le marteau. Le tissu empêchera la projection de petits éclats. Comparez l'aspect des parties récemment mises à nu et celles des surfaces extérieures ayant subi l'effet des intempéries.

4.3 Différence entre une roche et un minéral

Un *minéral* est une substance inorganique qui peut avoir une forme caractéristique et dont la composition chimique est constante en tout point. Une *roche* se compose de plusieurs minéraux, de sorte que, si la roche est brisée, les fragments peuvent se composer de différents minéraux.

4.4 Les huit éléments les plus abondants de la croûte terrestre sont les suivants :

Pourcentage en poids	Élément	Symbole chimique
46,60	Oxygène	O
27,72	Silicium	Si
8,13	Aluminium	Al
5,00	Fer	Fe
3,63	Calcium	Ca
2,83	Sodium	Na
2,59	Potassium	K
2,09	Magnésium	Mg

Ces éléments forment des composés qui sont appelés aussi minéraux. Les géologues ont découvert, nommé et classé plus de 2 000 minéraux. Toutefois, seul un petit nombre d'entre eux entrent dans la composition de la majeure partie de la croûte terrestre.

Propriétés physiques des minéraux

Un minéralogiste dispose de nombreuses techniques permettant d'identifier plus de 2 000 minéraux; nous nous intéresserons essentiellement ici aux minéraux qui constituent les roches et qui sont indispensables pour l'identification de celles-ci. Nous allons donc nous limiter aux techniques d'essai et de description ci-après, qui nous aideront à identifier un certain nombre des minéraux de base qui constituent les roches :

Éclat	Transparence
Dureté	Structure cristalline
Trace	Autres caractéristiques
Couleur	particulières telles
Densité	que goût, odeur, ma-
Rupture (clivage et frac-	gnétisme et structure.
ture)	

Les définitions de ces différentes propriétés sont indiquées ci-dessous.

4.5 Éclat

L'éclat est l'aspect que revêt la surface d'un minéral en lumière réfléchi. Les minéraux se divisent en deux grands groupes selon leur éclat.

Le premier groupe comprend les minéraux opaques ayant un éclat métallique analogue à celui d'un métal. L'autre groupe comprend des minéraux qui peuvent être opaques ou transparents, mais qui n'ont pas d'éclat métallique.

4.6 Dureté

La dureté est la propriété que possède un minéral de résister aux rayures. Les roches sont classées selon une échelle des duretés qui varie de 1 à 10, le chiffre 1 étant attribué aux minéraux très tendres et le chiffre 10 aux minéraux extrêmement durs. Pour déterminer la dureté d'un échantillon, prenez une parcelle du minéral avec des brucelles et essayez de rayer votre ongle. Si l'ongle n'est pas rayé, c'est que le minéral est moins dur que l'ongle. La dureté de l'ongle étant de 2,5, celle du minéral est donc inférieure. Faire la même opération avec un autre minéral et un morceau de cuivre (dureté : 3). Si le spécimen raye le cuivre, c'est qu'il est plus dur et que sa dureté est supérieure à 3. Dans quelle mesure est-elle supérieure à 3, nous ne le savons pas. Nous devons continuer jusqu'à ce que nous trouvions une substance qui ne sera pas rayée. Une lame de couteau en acier a une dureté de 5,5 et le verre à vitre de 5,5 à 6,0. Le diamant a une dureté de 10,0. Le diamant est le plus dur de tous les minéraux. Si l'on utilise du verre pour les essais de dureté, il faut s'assurer que l'élève ne le tient pas dans la main lorsqu'il procède à l'essai de rayage. A titre de précaution, placer le verre sur une surface plane avant de l'utiliser.

On peut déterminer la dureté relative d'un minéral en comparant le spécimen à une série de minéraux pris comme étalons. L'échelle de dureté type est la suivante : 1. Talc; 2. Gypse; 3. Calcite; 4. Fluorite; 5. Apatite; 6. Orthose; 7. Quartz; 8. Topaze; 9. Corindon; 10. Diamant.

4.7 Trace

La trace est la couleur du minéral broyé ou réduit en poudre. On peut l'obtenir en frottant le minéral sur une plaque de touche en céramique ou en le broyant pour en observer ensuite la couleur. La couleur de la trace peut être semblable à celle du minerai brut ou elle peut être

entièrement différente. La couleur de la trace d'un minéral déterminé est généralement constante alors que la couleur du minéral peut être très variable. On peut fabriquer ou improviser des plaques de touche à partir de vieux carreaux de céramique ou de morceaux (ou éclats) de porcelaine non vernie.

4.8 Couleur

La couleur est la propriété physique d'un minéral la plus évidente. Pourtant, à cause de sa variabilité, elle n'est pas considérée comme une propriété permettant une identification sûre.

4.9 Densité

La densité d'un minéral est le nombre qui exprime le rapport entre sa masse et la masse d'un égal volume d'eau à 4 °C. Si un minéral a une densité de 2, cela signifie qu'un spécimen donné de ce minéral a deux fois la masse du même volume d'eau.

La plupart des minéraux communs ont une densité de 2,5 à 3,0. Les minéraux dont la densité est inférieure à 2,5 paraissent « légers » et ceux dont la densité est supérieure à 3,0 paraissent « lourds » par rapport à leur dimension.

La densité d'un minéral de composition fixe est constante et sa détermination aide fréquemment à identifier le minéral (voir aussi expérience 2.14).

Plusieurs conditions doivent être observées si l'on veut déterminer avec précision la densité d'un minéral. Premièrement, le minéral doit être pur - condition qui est rarement satisfaite. Il doit également être compact et ne présenter aucune fissure ou cavité à l'intérieur desquelles des bulles ou des pellicules d'air pourraient être emprisonnées.

La balance à fléau est un appareil très pratique et très précis pour déterminer la densité. En raison de sa simplicité, on peut la réaliser à la maison facilement et à peu de frais (voir chapitre premier).

4.10 Rupture (clivage et fracture)

Une rupture dans laquelle le minéral a tendance à se fendre selon des plans parallèles aux faces

des cristaux et présente des surfaces lisses le long de ces plans s'appelle clivage. Certains minéraux n'ont qu'une direction de clivage, d'autres peuvent en avoir deux, trois ou plus. Toute cassure autre qu'un clivage est appelée une fracture.

4.11 *Transparence*

La transparence est la faculté que possèdent certains minéraux de transmettre la lumière. Les minéraux transparents laissent entièrement passer la lumière, comme une vitre. Les minéraux translucides laissent passer la lumière, mais non les images. Les minéraux opaques ne laissent pas passer la lumière.

4.12 *Structure cristalline*

La structure cristalline est la forme extérieure d'un minéral qui traduit l'arrangement interne des atomes. La plupart des minéraux sont cristallins et à la structure atomique interne correspond une forme externe précise. Un certain nombre de minéraux sont amorphes (non cristallins).

4.13 *Autres propriétés*

En plus des propriétés physiques susmentionnées, celles qui sont indiquées ci-après sont utiles pour faire un diagnostic.

Magnétisme. La réaction du spécimen à un aimant est intéressante. Le spécimen est-il attiré ou non?

Essai à l'acide chlorhydrique. L'acide chlorhydrique dilué provoque-t-il une réaction? Y a-t-il formation de bulles ou effervescence?

Principaux minéraux constitutifs des roches

Très peu de roches sont des éléments simples, comme l'or ou l'argent pur. La plupart des roches sont des combinaisons d'éléments. Par exemple, le quartz est une combinaison des éléments silicium et oxygène. On l'appelle donc un minéral. En règle générale, les roches sont constituées de minéraux plutôt que d'éléments.

4.14 *Quartz*

Le quartz est un minéral translucide ou transpa-

rent sans clivage. Il ressemble à des morceaux de verre et il peut être blanc, laiteux, fumé, rose, clair, pourpre ou, rarement, vert ou brun. Il résiste aux intempéries, a une dureté d'environ 7 (densité : 2,65) et se trouve dans les roches de couleur claire. En raison de sa résistance aux intempéries, le quartz est l'un des principaux constituants des roches altérées, telles que les grès et les limons. Il se distingue de la calcite, autre minéral constitutif des roches, par sa dureté et l'absence de réaction effervescente au contact de l'acide chlorhydrique dilué froid.

4.15 *Feldspaths*

Les feldspaths sont roses, blancs, gris, bleuâtres ou rouges. Lorsqu'on les trouve dans les roches, la lumière se réfléchit sur les petites faces de clivage. Celles-ci distinguent nettement les feldspaths du quartz, qui n'est pas susceptible de clivage. Les feldspaths se clivent selon deux directions à peu près perpendiculaires l'une par rapport à l'autre. L'une des faces de clivage des *plagioclases*, qui sont en général blancs, gris ou bleuâtres, porte de fines lignes (striures) représentant les plans de séparation entre cristaux doubles, tabulaires ou plats. L'observation des stries permet d'identifier facilement le plagioclase. *L'orthose*, qui est généralement rose, rouge ou blanche, n'a pas de cannelures. Les feldspaths ont une dureté de 6,0 et une densité de 2,4 à 2,7.

4.16 *Micas*

Les micas font partie d'un groupe de minéraux dont les plus importants sont la *muscovite* et la *biotite*. Les micas sont faciles à classer selon leur couleur. La muscovite est claire et incolore, la biotite brune ou noire. Le mica peut être débité en très minces feuilles. Il est élastique et, si on le plie, il retrouve sa forme et sa dimension initiales. Sa dureté est comprise entre 2.0 et 2.5. Densité : 2,7 à 3,0.

4.17 *Pyroxènes et amphiboles*

Ce sont deux groupes de minéraux constitutifs des roches. Ils se distinguent par le clivage et la structure cristalline, mais sont difficiles à reconnaître pour le novice. La plupart de ces minéraux

sont de couleur sombre, variant généralement du vert foncé au noir. La hornblende est la plus importante des amphiboles.

4.18 Olivine

L'olivine a une couleur variant du vert au brun verdâtre; elle s'altère facilement en produisant des taches brunes d'oxyde de fer. On la trouve à l'état pur dans les agrégats minéraux à texture saccharoïde. Les petits grains brillent comme le quartz; cependant, le quartz et l'olivine se rencontrent rarement ensemble dans les roches ignées qui résultent du refroidissement de la roche en fusion (voir expérience 4.21). Ils peuvent se trouver ensemble dans les roches sédimentaires (voir expérience 4.22). L'olivine se rencontre à l'état natif dans les roches foncées qui sont très pauvres en silicium. La dureté de l'olivine est de 6,5 à 7,0. Densité : 3,2 à 3,6.

4.19 Calcite

La calcite est un minéral très commun, qui appartient au groupe des carbonates. Son éclat va du vitreux au mat. Sa dureté est de 3,0. La calcite est généralement incolore ou blanche et sa trace est incolore. Elle a un clivage caractéristique, qui se fait selon trois directions non perpendiculaires et se traduit par la formation de petits rhomboèdres. Sa densité est de 2,72. Elle entre vivement en effervescence sous l'action de l'acide chlorhydrique froid dilué.

4.20 Notes pour l'identification

Voici quelques notes qui devraient, en général, faciliter l'identification :

Quartz. Transparent à translucide, éclat vitreux, raye le verre, surfaces de fracture courbes ou lisses.

Mica, Paillettes brillantes, tendres (probablement noires..., biotite).

Feldspath. De blanc à gris ou rose, presque opaque, moins dur que le quartz, surface mate, sauf sous certains angles d'incidence de la lumière.

Hornblende. Grain long, noir et dur.

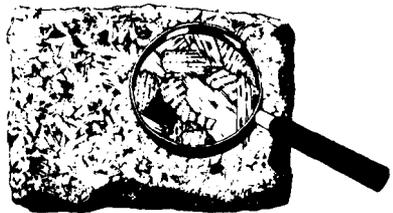
Calcite. Effervescence au contact d'un acide dilué.

Grands groupes de roches

Il existe trois grands groupes de roches : les roches ignées, sédimentaires et métamorphiques.

4.21 Roches ignées

Les roches ignées (formées par le feu) ont pour origine la solidification d'une masse en fusion - généralement appelée magma - qui s'est « glissée » dans les couches profondes (roches intrusives) ou qui a été « éjectée » à la surface de la terre (roches extrusives). Il s'agit donc d'un magma ou fluide en fusion qui a une certaine composition chimique et qui s'est installé à la place de roches préexistantes ou a été expulsé. Dans les deux cas, la composition chimique fondamentale est semblable et la seule différence significative est la texture, terme désignant la dimension des cristaux. Les roches intrusives ont une texture grenue, les roches extrusives un grain fin (texture microgrenue). La texture d'une roche est fonction de la vitesse de refroidissement: plus la masse en fusion se refroidit rapidement plus la texture est fine. Si le refroidissement est rapide par suite de l'exposition à l'air, comme c'est le cas pour les roches extrusives, la texture est fine. Dans le cas des roches intrusives, qui se sont refroidies lentement et en profondeur, les cristaux sont plus gros et donnent une texture grenue.



Texture des roches ignées

Les roches ignées peuvent être divisées en deux groupes : les roches de couleur claire (riches en silicium et en aluminium) et les roches de couleur foncée (riches en fer, magnésium et calcium). Il existe huit constituants principaux de ces roches et, pour pouvoir classer celles-ci, il

faut savoir reconnaître ces minéraux. Ce sont :

1. *Roches claires* (silicium et aluminium) : a) quartz; b) orthose; c) plagioclase; d) muscovite.
2. *Roches foncée, basiques* (riches en fer, magnésium et calcium) : a) biotite; b) amphibole (hornblende); c) pyroxène; d) olivine.

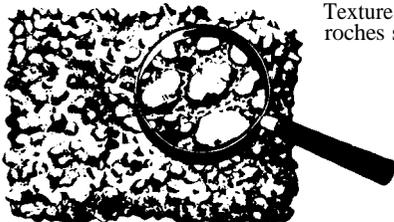
La plupart des roches ignées sont dures, résistantes, constituées de grains enchevêtrés de silicates.

La texture d'une roche est la configuration déterminée par la dimension, la forme et l'arrangement des grains qui la composent. Les roches ignées se caractérisent par l'uniformité de leur texture (voir figure), à l'exception des porphyres qui présentent de gros cristaux noyés dans une masse à grains fins. Certaines roches ignées ont une texture nettement granulaire; d'autres, dans lesquelles la structure est si fine qu'aucun grain n'est visible, sont appelées denses; d'autres encore ont une texture vitreuse ou amorphe.

En général, les grains des roches ignées sont angulaires et très irréguliers parce que, pendant leur formation, les particules minérales se sont trouvées comprimées et se sont enchevêtrées.

4.22 Roches sédimentaires

Les roches sédimentaires sont constituées de matériaux provenant de roches préexistantes. Les minéraux qu'on trouve dans une roche sédimentaire peuvent comprendre tous ceux qui proviennent des roches métamorphiques, ignées, et d'autres roches sédimentaires. Certains d'entre eux sont incorporés dans des roches sédimentaires sans modification ou presque de leurs caractères physiques ou chimiques. D'autres,



Texture des roches sédimentaires

en revanche, subissent une profonde altération mécanique avant d'être incorporés dans une roche sédimentaire (voir figure). L'altération due aux intempéries peut détruire complètement certains minéraux et, avec les substances chimiques qui en résultent, en former de nouveaux. Les élèves doivent pouvoir identifier certaines des roches sédimentaires communes, tels les conglomérats, le grès, le schiste, le calcaire et le chert. La calcite est un minéral important qu'on trouve dans les roches sédimentaires et métamorphiques (mais non dans les roches ignées).

Les roches sédimentaires résultent de la fragmentation de roches existantes par des processus mécaniques et chimiques; les fragments sont ensuite transportés, triés et déposés, puis soumis à un tassement ou à une cimentation. La dureté dépend de la solidité des liaisons entre les grains. Ces roches sont en général moins compactes que les roches ignées et, si l'on souffle dessus, l'humidité de l'haléine leur donne une odeur de terre. Elles peuvent être friables.

Les sédiments constitués par des fragments arrachés à la roche mère sont appelés *clastiques* ou *détritiques*; c'est le cas des grès. La dimension de ces fragments est variable : limon (0,004 à 0,06 mm), grain de sable (0,06 à 2 mm), galet (2 à 64 mm), moellon, gros bloc. L'agent de cimentation peut être très divers : silice, carbonate de calcium et oxyde de fer. Les minéraux les plus courants dans les roches détritiques sont le quartz, le feldspath et les argiles.

Certaines roches pré-existantes peuvent être transformées en roches sédimentaires sans qu'il y ait trace de particules clastiques ou détritiques, car elles ont été absorbées dans des solutions, puis entraînées par le ruissellement et ont ensuite formé des précipités (exemple : le calcaire).

4.23 Roches métamorphiques

Les minéraux qu'on trouve dans les roches métamorphiques ressemblent beaucoup à ceux qu'on trouve dans les roches ignées et sédimentaires, à l'exception de quelques-uns, résultant d'une recristallisation, d'un remplacement ou de l'action de hautes températures.

Les roches métamorphiques sont des roches

qui ont été transformées à partir d'une roche m-é-existante (ignée, sédimentaire ou métamorphique) en une nouvelle roche. Elles résultent de l'effet de la chaleur et de la pression appliquées à ces formations (et de l'action des fluides qui les ont imprégnées). La texture d'une roche métamorphique caractéristique est représentée sur la figure.



Texture des roches métamorphiques

L'alignement des grains plats d'un minéral dans un seul plan, qui donne à la roche une tendance à se fendre dans cette direction, est appelé foliation, et l'on dit que la roche est feuilletée. Comme les roches ignées, les roches métamorphiques sont dures et résistantes et les grains des minéraux qu'elles contiennent sont enchevêtrés; elles en diffèrent par leur structure feuilletée. Bien que la foliation soit la caractéristique essentielle des roches métamorphiques, un petit nombre d'entre elles, par exemple le marbre et le quartzite, ne sont pas feuilletées. Les

trois principales variétés de foliation sont les suivantes :

1. *Structure zonée (gneiss)*. Foliation imparfaite ou grossière dans laquelle les feuillets sont constitués par des bandes distinctes de différents minéraux. Les bandes les plus épaisses sont généralement composées de feldspaths.
2. *Schistosité ou foliation régulière*. Foliation provoquée par la disposition parallèle de minéraux en plaques tels que les micas.
3. *Fissilité (clivage)*. Tendance d'une roche à se fendre en feuilles minces régulières comme l'ardoise. Les minéraux sont si petits qu'ils ne peuvent être observés à l'œil nu et pourtant le clivage résulte de l'arrangement en plans parallèles de nombreux grains minéraux microscopiques.

les roches métamorphiques sont classées en deux grands groupes selon la présence ou l'absence de foliation. Celles qui ont une structure feuilletée sont subdivisées selon le type de foliation; les autres le sont d'après le minéral prédominant.

En résumé, l'élève devrait retenir qu'en général des grains cimentés séparés indiquent que l'on est en présence de roches sédimentaires, une structure feuilletée est caractéristique des roches métamorphiques, des grains nets à arêtes vives dans une masse à texture fine dénotent une roche volcanique, et des cristaux de silicate enchevêtrés sont l'indice de roches ignées ou métamorphiques.

Classification des roches métamorphiques

Structure feuilletée (en bandes ou en plaques)

- | | |
|--|---------|
| 1. A bandes grossières (d'épaisseur irrégulière) | Gneiss |
| 2. Schisteuse (bandes régulières d'épaisseur moyenne et plaques) | Schiste |
| 3. Fissile (bandes fines régulières et plaques) | Ardoise |

Structure non feuilletée (massive ou granulaire)

- | | |
|--|------------------------|
| 1. Principalement calcite ou dolomite | Marbre |
| 2. Principalement quartz | Quartzite |
| 3. Principalement serpentine et/ou talc | Serpentine ou talc |
| 4. Principalement organique (gris ou noir) | Graphite et anthracite |
-

Comment fabriquer des roches artificielles

4.24 Roches ignées

La cristallisation de solutions d'alun, qu'on peut démontrer rapidement, est dans une certaine mesure analogue à la formation de roches ignées à gros grains et à grains fins. Remplir au quart de la hauteur un grand tube à essai d'alun en poudre qu'on couvrira d'eau bouillante. Faire bouillir le mélange doucement au-dessus d'une flamme. Ajouter lentement juste assez d'eau bouillante pour dissoudre l'alun. Verser la moitié de la solution dans une tasse peu profonde. Y faire tremper l'extrémité d'une ficelle. Agiter la solution pour accélérer le refroidissement ou la placer dans le réfrigérateur. Introduire un autre morceau de ficelle dans le tube à essai de façon qu'il descende jusqu'au fond. Placer le tube dans un endroit où il se refroidira lentement. Examiner les résultats le lendemain. S'il ne s'est rien passé, prolonger l'expérience. (On obtiendra probablement de meilleurs résultats en plaçant un cristal dans la solution pour amorcer le processus.)

Pour cette étude des roches ignées, il serait intéressant que plusieurs élèves procèdent à l'expérience de cristallisation, par exemple avec du chlorure de sodium, du sucre, etc. (voir aussi expériences 2.45 à 2.51).

4.25 Roches sédimentaires

Cette expérience peut être réalisée de plusieurs façons.

A. Se procurer une série de roches sédimentaires de couleurs différentes (la couleur donne un effet plus spectaculaire); les réduire en poudre séparément par couleur (en les frottant contre une roche plus dure ou en les pulvérisant au marteau, ce qui donne un bon exemple de la rupture mécanique). Recueillir les poudres de diverses couleurs et les verser dans un bocal de verre en couches superposées. Ajouter de l'eau lentement en la laissant tomber goutte à goutte le long du bocal afin de ne pas perturber l'ordre des couches; remplir le bocal peu à peu jusqu'à ce que les sédiments soient recouverts de 1 cm d'eau. Placer le bocal au soleil ou près d'une source

de chaleur et faire évaporer l'eau. Quand toute l'eau est évaporée, briser le bocal (pour éviter tout danger, entourer le bocal d'un torchon ou d'un sac en papier et frapper en plusieurs endroits avec un marteau).

On peut faire refaire l'expérience par le même élève ou diviser la classe en plusieurs groupes qui utiliseront la même technique. Essayer de mettre du sel dans l'eau (faire remarquer que dans ce cas il y a addition d'un solide dissous et que c'est là un exemple de la décomposition chimique des solides en solution) et laisser le sel agir comme agent de cimentation.

B. Se procurer un petit sac de ciment de Portland. Demander aux élèves de le mélanger à de l'eau et de verser le mélange dans des couvercles de boîtes à conserves, des gobelets ou de petites boîtes de carton et attendre que le matériau ait durci. Étudier alors son aspect et ses propriétés. Briser un morceau de ciment et l'observer. Mélanger au ciment sec une quantité double de sable ou de gravier: on obtiendra ainsi du béton. Après avoir ajouté de l'eau et mélangé le tout avec soin, verser dans des moules. Laisser durcir pendant plusieurs jours. Étudier ensuite l'aspect et les caractéristiques du matériau obtenu (voir aussi expérience 2.66).

C. Se procurer du plâtre de Paris et en mélanger une petite quantité avec de l'eau. Il faut procéder rapidement pour que la pâte ne durcisse pas pendant qu'on opère le mélange. Verser le tout dans des moules et laisser prendre jusqu'à ce que le matériau soit très dur. Étudier alors son aspect et ses propriétés (voir aussi expérience 2.66).

4.26 Roches métamorphiques

On arrive très bien à cuire un morceau d'argile modelé et préalablement séché en le plaçant sur de petits fragments de poterie dans un grand creuset ou un pot de fleurs que l'on chauffe au-dessus d'un bec Bunsen. Si l'on dispose d'un four les résultats seront bien meilleurs.

Activités dirigées

4.27 Constitution d'une collection de spécimens de roches

On peut constituer une collection des roches communes dans les environs en demandant à chaque élève d'en apporter un spécimen. Expliquer aux enfants qu'il n'est pas nécessaire de savoir le nom de toutes ces roches. Réunir sur une table les spécimens analogues. Les grouper selon leurs différences de forme ou de couleur, etc. Essayer de les répartir en catégories aussi nombreuses que possible.

4.28 Constitution de collections individuelles

Il faut encourager les élèves à constituer leurs propres collections de roches. Ils pourront les conserver dans de petites boîtes en carton ou dans des boîtes à cigares. On peut séparer les spécimens en cloisonnant l'intérieur des boîtes. À mesure que l'élève détermine la nature des roches de sa collection, il doit fixer sur chaque spécimen un petit morceau de papier ordinaire ou de papier collant, y inscrire un numéro, puis coller une légende sur le couvercle de la boîte. Ces collections ne doivent pas être trop importantes. On peut encourager les élèves à compléter leurs collections en procédant à des échanges avec leurs camarades.

4.29 Étude d'une roche

Choisir un fragment de roche et essayer d'en apprendre le plus possible à son sujet au moyen d'observations minutieuses. S'il est plat, il provient sans doute d'une strate de formation sédimentaire. Ces roches ont été formées par le durcissement de sédiments déposés il y a des millions d'années. Si la roche est constituée par de petits grains de sable agglomérés, il s'agit probablement de grès. Si elle est composée de graviers assez gros agglomérés, c'est probablement une autre roche sédimentaire appelée conglomérat. Si le spécimen est arrondi, il a sans doute été poli par l'action d'un cours d'eau. Examiner la roche à la loupe. Si elle contient de fines particules et des cristaux, c'est une roche granitique qui a sans doute émergé des profondeurs du sol il y a bien

longtemps. En observant ainsi avec soin plusieurs roches, les élèves s'intéresseront à leurs collections et à leurs études.

4.30 Étude du sable à l'aide d'une loupe

Examiner une petite quantité de sable à la loupe ou sous l'objectif d'un microscope à faible grossissement. Les cristaux presque incolores sont du quartz, qui est le minéral le plus répandu. Le sable contient souvent des cristaux d'autres minéraux, qu'on s'efforcera de découvrir.

4.31 Moyen de reconnaître du calcaire

On peut reconnaître le calcaire en versant sur des spécimens rocheux du jus de citron, du vinaigre ou quelque autre acide dilué. Si l'on est en présence de calcaire, l'acide provoquera une effervescence ou un bouillonnement. Ce phénomène est causé par le dégagement de gaz carbonique au contact de l'acide. Ce test vaut également pour le marbre, roche métamorphique formée à partir du calcaire.

4.32 Tri des sédiments

On peut démontrer expérimentalement le phénomène de tri des sédiments dans la formation des roches sédimentaires en mélangeant soigneusement, par parties égales, du gravier, du sable grossier et des particules d'argile. Placer ce mélange dans un bocal en verre (ne pas dépasser la moitié); remplir le bocal d'eau, placer un couvercle sur le bocal et secouer vigoureusement. Laisser décanter. Les éléments se classeront en ordre, les particules plus lourdes allant au fond, les particules d'argile à la surface.

4.33 Piézoélectricité

Une expérience intéressante, qui plaît aux élèves, a trait aux propriétés piézoélectriques ou pyroélectriques inhérentes à certains minéraux, notamment à la tourmaline et au quartz. Des changements de température ou de pression déterminent l'apparition, dans ces minéraux, d'une charge électrique (pôles négatif et positif) lorsqu'ils sont chauffés, refroidis ou comprimés. On peut démontrer ce phénomène en saupoudrant le cristal refroidi ou chauffé d'un mélange de

minium et de soufre que l'on fait passer au travers d'un tamis en soie ou en nylon.

On peut utiliser pour cela un pulvérisateur nasal (ou un flacon de désodorisant) en matière plastique dont on aura agrandi l'ouverture pour augmenter le débit. On y introduit un mélange de deux parties de minium pour une partie de soufre; on fixe, par un bracelet de caoutchouc, un petit morceau de bas de soie ou de nylon sur l'ouverture. Les particules du mélange reçoivent une charge électrique en passant au travers du tamis formé par le bas et elles se déposent sur l'extrémité du cristal qui les attire : le minium acquiert une charge positive et est attiré par le pôle négatif du cristal; le soufre acquiert une charge négative et se dépose sur le pôle positif du cristal.

La démonstration est facile à faire et elle est très spectaculaire. Saupoudrer avant et après le chauffage ou la compression: discuter du phénomène observé avec les élèves.

4.34 *Qu'est-ce qu'un fossile et comment s'est-il formé?*

Un fossile est le reste ou l'empreinte d'un organisme qui a vécu à une certaine époque. La plupart des fossiles se trouvent dans des strates de roche sédimentaire. Les fossiles qui se sont formés par enfouissement sont généralement mis au jour lorsque la roche sédimentaire qui les contient est fracturée.

Enduire de vaseline une feuille d'arbre et la plaquer sur une vitre ou sur tout autre surface plane. Faire un moule en forme d'anneau d'environ 2 cm de hauteur et le placer autour de la pâte. Le maintenir en place en pressant de la pâte à modeler à l'extérieur. Gâcher un peu de plâtre de Paris et verser la pâte sur la feuille. Lorsque le plâtre a durci, retirer la feuille. dont on obtient ainsi une excellente empreinte. Telle est l'origine de certains fossiles : ils ont été recouverts d'un limon qui a durci par la suite pour former des roches sédimentaires. Répéter l'opération en prenant l'empreinte d'une coquille d'huître ou de palourde préalablement enduite d'une matière grasse.

Si l'on se trouve dans une région où les fossiles

sont abondants il sera intéressant de demander aux élèves d'en recueillir des spécimens pour le musée de l'école.

4.35 *Où trouver des fossiles*

Dans certaines régions, on peut trouver des fossiles dans des carrières de pierre, ou sur des affleurement rocheux. On s'efforcera de se renseigner auprès d'un habitant du lieu connaissant les fossiles, puis on organisera une excursion avec les élèves pour recueillir des spécimens. S'il n'existe pas de fossiles dans le voisinage de l'école, il faudra peut-être s'adresser à un musée de province ou à un musée national pour en obtenir quelques-uns.

Sols

4.36 *Différents types de sols*

Se procurer des spécimens de sols provenant du plus grand nombre possible d'endroits différents et les placer dans des bocaux de verre. Essayer de trouver des spécimens de sols de marais, de coteaux, de bois, de prairies, de dunes, de lits de rivière, etc. On aura ainsi des spécimens de sols sablonneux, glaiseux, argileux et d'humus (sol contenant une grande quantité de matières en décomposition). Donner les spécimens à étudier aux élèves, lesquels devront examiner à la loupe des parcelles de chacun d'entre eux.

4.37 *Transformation des roches en sol sous l'action de la chaleur*

Porter des roches à haute température en les plaçant dans le feu, puis les asperger d'eau froide. Elles se briseront souvent sous l'effet tant de la chaleur que du froid. La fragmentation des roches par suite de différences de température représente précisément l'un des stades de la formation des sols.

4.38 *Transformation des roches en sol par action mécanique*

Chercher, dans le voisinage, des spécimens de roche tendre, comme du schiste ou du calcaire

ayant subi l'action des intempéries. Les apporter en classe et les faire écraser et broyer en fines particules par les élèves. Faire étudier par les élèves les différents modes de fragmentation des roches dans la nature.

4.39 Influence de la nature du sol sur la croissance des végétaux

Se procurer des spécimens de sols pris dans un jardin ou un potager, de sols prélevés dans un bois, dans un endroit où l'on creuse des fondations, dans un terrain sablonneux, sur une pente argileuse, etc. Placer chacun des spécimens dans un pot à fleurs ou un bocal de verre. Planter des graines dans chaque type de sol et les arroser de manière égale. Noter dans quel type de sol les graines lèvent d'abord. Lorsque les plantes ont commencé à pousser, noter dans quel sol elles prospèrent le mieux. Noter la vitesse à laquelle elles se développent dans les différents sols.

4.40 Le sol et la nutrition des plantes

La vitesse de croissance des plantes traduit leur aptitude à extraire les éléments nutritifs des roches. Broyer des spécimens des roches suivantes : quartzite, schiste, basalte, calcaire; les placer dans des bocaux de verre différents. Planter des graines de radis dans chaque bocal, arroser au besoin et noter les vitesses de croissance des plantes. Les élèves doivent trouver la composition chimique des roches, soit en consultant un manuel, soit en faisant des essais, et ils doivent expliquer les différences constatées dans la vitesse de croissance des plantes.

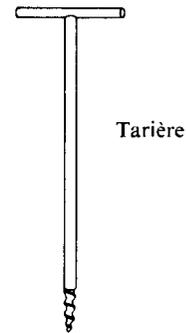
4.41 Différences entre les particules de terre

Prendre un bocal de verre d'une contenance d'environ 2 litres. Y mettre plusieurs poignées de terre. Remplir d'eau, secouer énergiquement, puis laisser reposer pendant plusieurs heures. Les dimensions, la sphéricité et la densité des particules de terre déterminent l'ordre dans lequel elles se déposeront. Les particules les plus grosses, les plus lourdes et les plus anguleuses se déposeront les premières et tomberont au fond. Les dimensions, l'angulosité et la densité

des particules des différentes couches iront décroissant de bas en haut. Examiner ensuite à la loupe un spécimen prélevé dans chaque couche.

4.42 Modifications du sol en fonction de la profondeur

On peut construire une bonne tarière avec une mèche à bois que l'on soude à une tige d'acier de 2 cm de diamètre et de 50 cm de longueur environ. Une poignée soudée au sommet de la tige permet de faire tourner la tarière en l'enfonçant dans le sol (voir figure).



En tournant simplement la tarière pour la faire pénétrer dans la terre et en la retirant de temps à autre, on peut prélever des spécimens de terre à diverses profondeurs. On peut faire un quadrillage sur une partie déterminée du terrain et comparer les échantillons pris à diverses profondeurs. On obtient ainsi une « image » des conditions du sous-sol dans cette zone. On peut ensuite monter chaque spécimen de sol comme modèle, ou enregistrer les observations simples qu'il a suscitées.

4.43 Les sols contiennent-ils de l'air?

Mettre de la terre dans un bocal ou une bouteille de verre et verser lentement de l'eau. Observer les bulles d'air qui se dégagent de la terre à travers l'eau.

4.44 *Différences de fertilité entre le sol superficiel et le sous-sol*

Se procurer un peu de terre de la couche superficielle provenant d'un jardin ou d'un potager fertile. Prélever un autre échantillon à une profondeur de 50 cm environ. Mettre ces deux échantillons dans deux pots à fleurs différents et y planter des graines. Donner la même quantité d'eau et maintenir la même température et le même éclairage dans les deux cas. Observer lequel des deux échantillons donne les plants les plus robustes.

Le sol et l'eau

4.45 *Le sol peut contenir de l'eau*

Mettre de la terre dans un récipient de verre mince et faire chauffer lentement au-dessus d'une flamme modérée. Couvrir avec un bocal renversé et l'on constatera que des gouttes d'eau se condensent sur les parois froides.

4.46 *Comparaison du pouvoir d'absorption de différents spécimens de sol*

Prélever des échantillons de sol en divers endroits. Utiliser comme récipients des boîtes à conserves vides qui seront pesées, avant le prélèvement. Placer des quantités égales de terre dans chaque boîte. Chauffer le tout dans un four à une température de 105-120 °C jusqu'à ce que toute la terre soit sèche. Comparer les poids de chaque spécimen avant et après séchage. Comparer les spécimens entre eux. Comparer des spécimens de terre abritée de la pluie avec des spécimens de terre non abritée. Établir une corrélation entre la quantité d'eau absorbée par les échantillons et la quantité de pluie tombée en une journée. Dans quelle mesure, par exemple, une chute de pluie de 25 mm modifie-t-elle la quantité d'eau absorbée par un sol exposé, par rapport à un spécimen de sol non exposé?

4.47 *Sols acides et sols basiques*

Prélever des échantillons de terre en divers endroits. Les placer dans de petits bocaux à raison d'une cuillerée à soupe par bocal. Ajouter

une quantité égale d'eau dans chaque bocal, suffisamment pour recouvrir la terre. Attendre quelques minutes. Secouer énergiquement, puis filtrer ou laisser décanter. Tester le liquide recueilli avec du papier de tournesol. Le papier de tournesol rougit lorsqu'il est plongé dans une solution acide. Il redevient bleu lorsqu'il est plongé dans une solution basique. Une solution neutre ne donnera aucune réaction ni sur le papier rouge ni sur le papier bleu, (Voir expérience 2.44.)

4.48 *Comment l'eau s'élève dans les différents types de sol*

Remplir au moyen de différents échantillons de sol, sur une hauteur de 15 cm environ, une série de verres de lampe dont on aura fermé le bas à l'aide d'un morceau d'étoffe. On peut utiliser du sable, de la glaise, du gravillon, de l'argile, etc. Placer ensuite les verres de lampe dans un récipient contenant environ 3 cm d'eau. Observer dans quel type de sol l'eau s'élève, le plus haut par capillarité. On peut aussi utiliser pour cette expérience des chalumeaux en matière plastique transparente.

4.49 *Quels types de sol retiennent le mieux l'eau?*

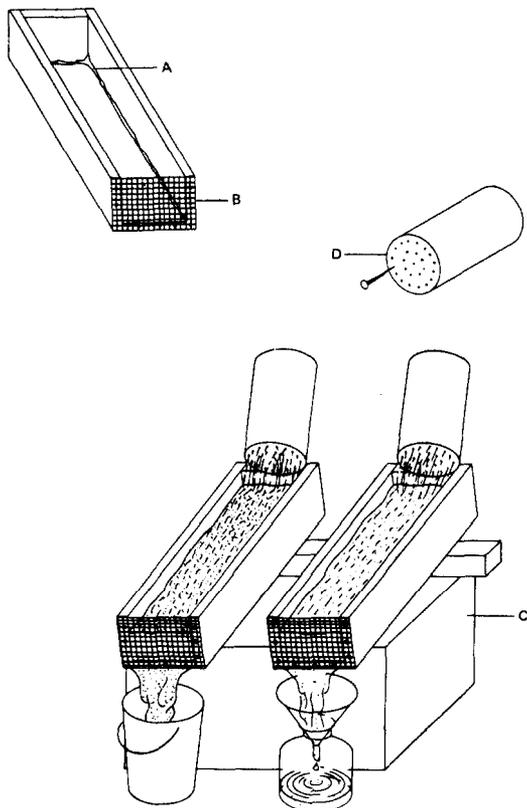
Fermer d'un morceau de tissu l'extrémité inférieure de plusieurs verres de lampe et remplir chacun d'eux, jusqu'à 8 cm environ de l'extrémité supérieure, d'un échantillon de sol de type différent (sable, argile, glaise et humus) prélevé dans les bois. Poser chaque verre sur une assiette. Verser ensuite dans chacun d'eux des quantités d'eau mesurées jusqu'à ce que l'eau commence à filtrer à l'extrémité inférieure. Observer dans quel type de sol on peut verser le plus d'eau sans que celle-ci traverse la couche de terre.

4.50 *Action des eaux courantes sur le sol*

A. Après une grosse averse, demander aux élèves de prélever des échantillons d'eau courante boueuse dans des bocaux de verre. Laisser reposer pendant quelques heures jusqu'à ce que les sédiments tombent au fond du bocal où les élèves pourront les observer.

B. Fabriquer deux caissettes analogues à celles qui sont représentées sur la figure. Assurer l'étanchéité avec du mastic. On pourra se servir de seaux ou de bocaux de verre munis d'un entonnoir pour recueillir l'eau d'écoulement.

1. Remplir l'une des caissettes de terre meuble et l'autre de terre fortement tassée. Incliner légèrement les deux récipients et, à l'aide d'un arrosoir, verser la même quantité d'eau sur chacun. Observer quelle sorte de terre est entraînée le plus rapidement, ainsi que la nature des eaux d'écoulement.



Caissettes pour l'étude de l'érosion et de l'écoulement
A Mastic assurant l'étanchéité
B Treillage fixé par des punaises
c Boîte ou caisse
d Arrosoir

2. Remplir les deux caissettes de terre, mais couvrir l'une d'elles de mottes de gazon. Arroser également, comme précédemment, et observer à la fois l'érosion et les eaux d'écoulement.
3. Remplir les deux caissettes de terre, mais incliner l'une plus que l'autre. Arroser et observer comme précédemment.

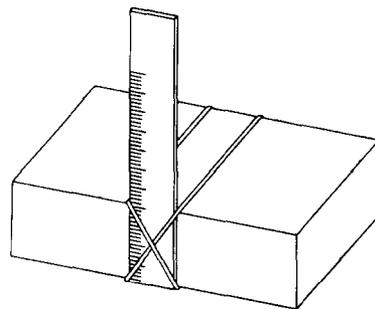
4.51 Facteurs qui modifient l'action des gouttes de pluie sur le sol

Fixer une feuille de papier blanc sur du carton dur à l'aide de trombones. Poser le tout à plat sur le plancher. Avec un compte-gouttes, faire tomber sur le papier de l'eau colorée. Noter les dimensions et la forme des éclaboussures. Recommencer l'opération en surélevant l'une des extrémités du carton. Étudier les effets qu'ont sur les éclaboussures les modifications de la hauteur d'où on laisse tomber l'eau, du degré d'inclinaison du carton et de la dimension des gouttes d'eau.

Combiner ces variables de différentes façons. On peut enregistrer les résultats en employant chaque fois une feuille de papier blanc et de l'eau diversement teintée.

4.52 Mesure des éclaboussures

Faire peindre en blanc par les élèves plusieurs planchettes de 1 mètre de long (les taches de boue seront ainsi bien visibles); placer ces planchettes à l'extérieur en divers endroits. Maintenir



La planchette doit être maintenue verticalement

chacune d'elles verticalement au moyen d'une brique et d'un élastique, comme indiqué sur la figure. Après une grosse averse, demander aux élèves de noter la hauteur à laquelle la boue a été projetée sur chaque planchette. Faire un diagramme indiquant la hauteur à laquelle la boue a été projetée sur différentes planchettes placées sur un sol gazonné, un sol sablonneux, dans un jardin ou sur tout autre sol.

Toutes les grosses averses produisent-elles le même effet au même endroit? Faire répéter l'expérience pendant des averses successives ou utiliser un tuyau d'arrosage dont on fait varier le débit.

4.53 *Érosion et conservation des sols*

A. Conduire les élèves dans un endroit où les eaux courantes ont causé des dommages en creusant des ravines. Les élèves doivent noter les dégâts et réfléchir aux moyens de les empêcher. Que s'est-il passé? Comment aurait-on pu les éviter? Qu'est-il encore possible de faire?

B. Les élèves devraient faire, en laboratoire, des travaux pratiques sur la mise au point des méthodes de lutte contre l'érosion. Étudier en particulier les labours selon les courbes de niveau, la culture en terrasse et la rotation des cultures. Les méthodes suivantes peuvent notamment être utilisées :

1. Remplir les caissettes décrites à propos de l'expérience 4.50B avec de la terre meuble et leur donner le même degré d'inclinaison. À l'aide d'un bâton, tracer des sillons parallèlement à la pente dans l'une des caissettes et transversalement dans l'autre. Arroser les deux caissettes avec la même quantité d'eau. Observer dans chaque cas l'érosion et les eaux d'écoulement.
2. Remplir de nouveau les caissettes de terre meuble et les arroser jusqu'à ce que l'eau courante ait creusé de petites ravines bien dessinées. Obstruer ensuite les sillons de place en place à l'aide de brindilles et de cailloux. Arroser de nouveau et observer les effets de cette obstruction.

C. Dans presque toutes les cours d'école, il existe des endroits où l'eau courante a causé des dommages. Inciter les élèves à concevoir un moyen d'empêcher l'érosion, puis le leur faire appliquer.

4.54 *Perméabilité du sol*

Se procurer trois boîtes à conserves de dimension identique et enlever le fond et le dessus. En guise de fond, fixer à chaque boîte un treillage fin à l'aide d'un fil de fer enroulé près du rebord. Placer un morceau de papier filtre sur le treillage, à l'intérieur de la boîte, pour éviter que les particules fines de terre ne passent au travers.

Se procurer trois échantillons de terre (à particules grosses, moyennes et fines). Les chauffer dans un four à la température de 105-120 °C jusqu'à ce qu'ils soient complètement secs. Placer une quantité égale de terre dans les trois boîtes, disposées de telle sorte qu'on puisse y verser de l'eau et la recueillir en dessous. Verser une quantité égale d'eau dans chaque boîte. Noter dans chaque cas le temps que met l'eau pour traverser la couche de terre. Comparer les quantités d'eau recueillies.

4.55 *Minéraux en solution*

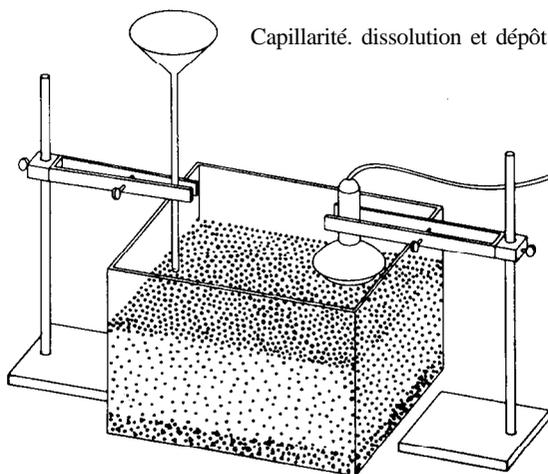
C'est par le calcul que la présence des minéraux en solution peut le mieux être démontrée. Les élèves peuvent s'adresser au service de distribution d'eau de la localité pour connaître la quantité totale de substances minérales dissoutes par unité de volume dans l'eau potable non traitée; leur faire calculer le poids de substances minérales dans la quantité totale d'eau consommée par les habitants de la localité en un an.

Pour démontrer la dissolution du calcaire par des acides faibles, écraser un petit morceau de calcaire que l'on place dans un petit becher et que l'on recouvre bien d'acide chlorhydrique dilué (4 parties d'eau pour une partie d'acide concentré); laisser reposer jusqu'à dissolution du minéral. Noter le résidu de matière insoluble, composé en grande partie d'argile et de quartz.

4.56 *Capillarité, dissolution et dépôt*

Placer un mélange de sel de table et de sable

fin et sec dans le fond d'un petit aquarium sur une épaisseur de 2 à 5 cm. Couvrir cette couche d'environ 5 cm de sable propre (sans sel). Dans un coin de l'aquarium, planter dans le sable et maintenir par une pince un tube de verre surmonté d'un entonnoir. S'assurer que le tube atteint la couche de sel. Fixer une lampe sur un support de telle sorte qu'elle éclaire la surface du sable de l'autre côté de l'aquarium.

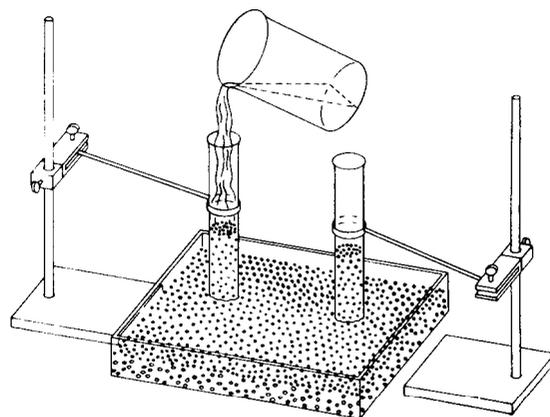


Verser de l'eau dans l'entonnoir (il faudra peut-être secouer légèrement le tube pour que l'eau descende). Observer la paroi de l'aquarium; on peut voir l'eau pénétrer dans le sable. Verser une quantité d'eau suffisante pour humidifier une couche de 2 cm d'épaisseur dans le fond de l'aquarium.

Allumer la lampe pendant quelques heures. Au voisinage de la lampe l'eau s'élèvera à travers le sable par capillarité, entraînant avec elle le sel en solution. La chaleur provoquera l'évaporation de l'eau et le sel se déposera à la surface du sable ou près de la surface. Goûter le sable qui se trouve près de la lampe pour voir s'il est salé. Dans la nature, le soleil a le même effet que la lampe utilisée dans cette expérience.

4.57 Infiltration et capillarité dans les eaux du sol

Remplir à moitié deux tubes de verre sans fond (de 2 cm de diamètre et 30 cm de long environ) avec du sable fin et sec. Maintenir les tubes verticalement par des pinces, la partie inférieure reposant sur une couche de sable étalée au fond d'une cuvette ou d'un aquarium (voir figure). Verser de l'eau dans un tube. L'eau s'infiltrera dans les



Infiltration et capillarité

pores du sable, arrivera dans la cuvette et montera en partie dans l'autre tube par capillarité.

4.58 Oxydation

Pour démontrer l'oxydation, placer un petit morceau de laine d'acier dans une petite boîte contenant du sable propre et le mouiller chaque jour. Noter l'effet de l'eau sur la laine d'acier et les taches qui apparaissent dans le sable. Demander aux élèves de réduire en poudre un petit morceau de pyrite, de le placer sur un verre de montre et de le mouiller chaque jour. Au bout de quelques semaines noter l'apparition d'une substance cristalline blanche : c'est du sulfate de fer. L'oxydation des minéraux contenant du fer est généralement accompagnée par un chan-

gement de couleur de à la présence d'oxydes et hydroxydes jaunes, bruns ou rouges. (Voir expériences 2.42 et 2.318.)

4.59 *Un effet de la congélation de l'eau*

Remplir une bouteille d'eau et la fermer soigneusement. Envelopper la bouteille dans un linge (pour retenir les morceaux de verre). Placer la bouteille dans le congélateur du réfrigérateur. Au bout de 24 heures, retirer la bouteille et l'examiner. Que peut-on observer? Pourquoi la bouteille est-elle brisée? Quelle est l'origine de la pression? Pourquoi la glace a-t-elle exercé une force? (Voir expérience 2.129.)

Autres activités

4.60 *Crevasse de la boue*

Recueillir dans des cuvettes plusieurs échantillons de différents type d'argile et de limon. Remplir les cuvettes aux trois quarts. Ajouter une quantité d'eau suffisante pour recouvrir le matériau.

Exposer les cuvettes au soleil. Observer la formation des crevasses. Comparer le nombre de crevasses d'une cuvette à l'autre. Quels angles se forment au moment où la crevasse apparaît? Sont-ils tous identiques?

4.61 *Horizons du sol*

Les sols évolués ont en général un profil bien caractérisé, composé de trois couches principales, ou horizons, désignés par les lettres A, B et C. Ces horizons diffèrent par leur couleur, leur texture, leur structure et leur épaisseur.

L'horizon A est appelé sol superficiel. Les matériaux solubles ont disparu. En général, le sol superficiel abonde en matière organique et en organismes. L'horizon B est appelé sous-sol. Cet horizon accumule l'argile enlevée du sol superficiel par les pluies. Il contient généralement des minéraux ferreux qui, la plupart du temps, sont oxydés. L'horizon C est la roche mère non consolidée et désagrégée.

Réaliser des modèles d'horizons du sol prélevés en différents endroits et comparer les pro-

fondeurs des horizons A et B. Le mieux est d'observer les horizons dans des fossés qui viennent d'être ouverts le long d'une route ou dans des ravines. Avec une bêche, faire une coupe verticale nette pour faire apparaître les divers horizons. Laisser sécher. Se procurer une planche ou tout autre matériau rigide dont on enduira un côté de colle. Presser ce côté contre la coupe de telle sorte que de nombreuses particules provenant de chaque horizon y adhèrent. Retirer la planche et combler les vides avec des fragments retirés de la coupe. Laisser durcir le modèle. Comparer les différents profils en notant la profondeur des horizons de chaque modèle ainsi que la composition du matériau dans chacun d'eux.

4.62 *Action des plantes sur l'érosion*

A. Il faudrait faire observer aux élèves une zone dans laquelle le sol a subi une érosion à cause de l'absence de couverture végétale. Commenter leurs observations; leur demander d'expliquer pourquoi la zone présente cet aspect. Comment peut-on empêcher l'érosion du sol par le vent ou la pluie? Les élèves peuvent-ils démontrer leurs idées?

B. Faire semer par les élèves du gazon sur un sol sablonneux ou dans des caissettes (disposées comme dans l'expérience 4.50). Faire ruisseler de l'eau à la surface lorsque le gazon s'est enraciné. Les racines retiennent-elles le sol? Arracher quelques plants et modifier la quantité d'eau de ruissellement. Quels sont les effets de l'érosion?

4.63 *Étude des organismes vivant dans le sol*

Un sol, acide ou alcalin, peut aussi être le siège d'une vie animale aux aspects divers. Le type et l'ampleur de la vie végétale et animale varient selon les sols. L'important est que cette vie est souvent un facteur qui peut changer la composition du sol.

Demander aux élèves d'examiner la surface de 1 m² de sol. Noter les tortillons laissés par les vers de terre, les fourmilières ou tout autre indice d'activité animale. Retirer avec précaution les végétaux superficiels et examiner le sol pour y

déceler éventuellement d'autres signes d'une vie animale. Comment les vers de terre contribuent-ils à aérer le sol? Comment l'ameublissent-ils? Le fait qu'ils ingèrent des particules du sol change-t-il la composition de celui-ci? Leurs déjections et leurs cadavres modifient-ils la composition du sol?

4.64 *Dépôts éoliens*

Se procurer trois grands récipients peu profonds (moules à tartes, par exemple); en remplir un avec un litre de sable humide, un deuxième avec du sable sec et le troisième avec de la farine. Les élèves doivent alors placer les récipients à 7 mètres devant un ventilateur électrique. Où la force du vent est-elle la plus forte? Approcher chaque récipient du ventilateur jusqu'à ce que l'on constate un léger déplacement du matériau.

Représenter sur un croquis les trois récipients et la distance à laquelle un mouvement s'est

manifesté dans chacun d'eux par suite du « vent ». Quel est celui où le mouvement se produit à la plus courte distance? Celui où il se produit à la plus grande distance? Pourquoi? Les élèves remarquent-ils une régularité dans la manière dont les matériaux ont été soufflés? Les plus légers sont les plus éloignés et les plus lourds les plus proches. De nombreux mélanges de particules sont séparés de cette manière. Expliquer que ce phénomène s'appelle tri (ou triage) et qu'il se produit fréquemment dans la nature.

Les élèves peuvent essayer de créer des dunes de sable en utilisant le ventilateur et du sable sec. Peuvent-ils créer n'importe quel genre de crête dans le sable? Qu'est-ce qui provoque les dunes de sable dans la nature? S'il existe dans le voisinage une région sablonneuse, les élèves souhaiteront sans doute l'étudier pour voir comment le vent a provoqué la formation de cordons de dunes.

Astronomie et sciences de l'espace

Les astres et l'espace intéressent toujours les élèves qui suivent des cours de sciences; mais il arrive souvent que les notions élémentaires d'astronomie soient enseignées par la méthode descriptive, c'est-à-dire que les enfants doivent se contenter de ce qu'ils lisent dans leurs livres. Les nombreuses expériences proposées dans cette section permettront aux maîtres d'éclairer ces notions par l'expérimentation et l'observation.

On n'a pas tenté de graduer ces expériences, préférant laisser aux maîtres le soin de choisir celles qui leur paraîtront le mieux répondre au sujet traité en classe.

Instruments d'observation astronomique

4.65 *Lunette astronomique rudimentaire*

Pour construire une petite lunette astronomique,

on aura besoin de deux tubes de carton, dont l'un glissera exactement à l'intérieur de l'autre.

Il est impossible de construire une lunette astronomique convenable si l'on ne dispose pas de bonnes lentilles. (Les premiers expérimentateurs s'en sont vite aperçus.)



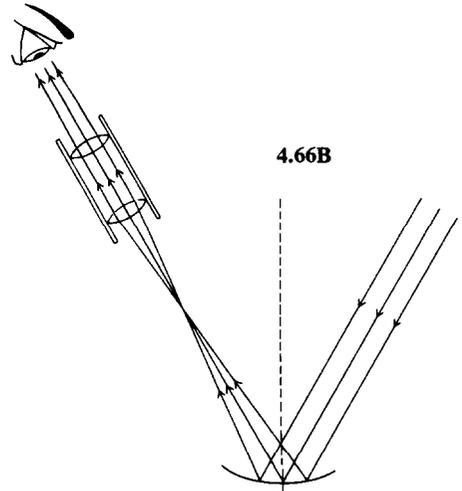
Dans un compte-fils (ou une loupe de philatéliste), il y a des lentilles achromatiques, c'est-à-dire corrigées de façon à empêcher l'irisation. Une fois fixée dans un bouchon percé d'un trou, une lentille de ce genre, d'une distance focale de 2 à 3 cm, constituera un oculaire convenable.

Il est également indispensable, si l'on veut obtenir de bons résultats, que l'objectif soit achromatique. Si l'on dispose d'une telle lentille, d'une distance focale de 25 à 30 cm, on la fixera avec de la pâte à modeler ou un adhésif à l'extrémité du tube de carton le plus gros. De légères corrections seront probablement nécessaires pour placer les deux lentilles sur le même axe géométrique. Lorsqu'on y sera parvenu, il suffira d'enfoncer plus ou moins profondément l'un des tubes dans l'autre pour procéder à la mise au point. On disposera alors d'un instrument plus perfectionné que celui avec lequel Galilée a fait toutes ses découvertes. (Voir aussi expérience 2.219.)

On distinguera facilement les satellites de Jupiter, mais non les anneaux de Saturne.

4.66 Un télescope rudimentaire

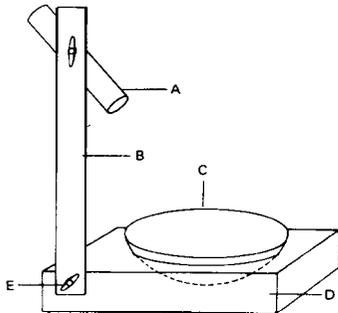
On pourra utiliser pour cela un miroir concave (par exemple, un miroir à barbe). Le miroir est placé dans une caissette de taille convenable de telle sorte qu'on puisse l'incliner à des angles variés (voir figure 4.66A). Un montant de bois est fixé sur la caissette de manière qu'on puisse aussi en faire varier l'inclinaison. Deux lentilles à faible distance focale fixées dans des bouchons percés à



l'intérieur d'un petit tube de carton constitueront l'oculaire. Fixer ce tube sur le support de bois et procéder aux corrections nécessaires (voir figure 4.66B).

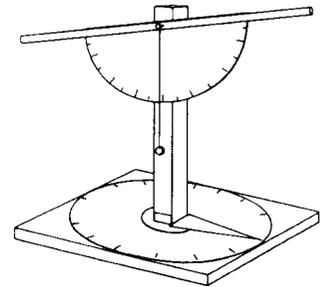
4.67 Un théodolite ou un astrolabe rudimentaire

On peut fabriquer un théodolite ou un astrolabe rudimentaire en fixant à l'aide de cire à cacheter



4.66A Télescope rudimentaire

- A Tube de carton muni de lentilles
- B Montant de bois
- C Miroir
- D Caissette
- E Pivot



ou de coller un chalumeau (paille pour boire) le long de la base d'un rapporteur.

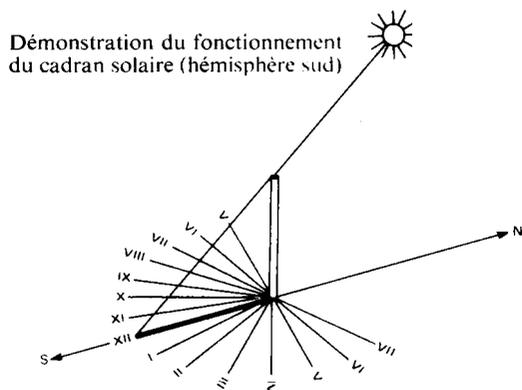
Un fil à plomb suspendu à la tête d'une vis permettra de s'assurer que le montant qui supporte ce dispositif est parfaitement vertical et servira en même temps à mesurer la hauteur angulaire d'une étoile ou de tout autre objet.

On obtiendra un modèle plus perfectionné permettant de trouver la hauteur et l'orientation d'une étoile en fixant le montant à un plateau à l'aide d'une vis et de deux rondelles de façon qu'il puisse tourner librement. Une flèche découpée dans une feuille de fer-blanc, fixée au montant et tournant avec lui, indiquera sur un cadran horizontal gradué l'angle de rotation (voir figure). C'est avec des appareils aussi rudimentaires que les pionniers de l'astronomie firent beaucoup de leurs découvertes.

Cadran solaire

4.68 Cadran solaire de démonstration

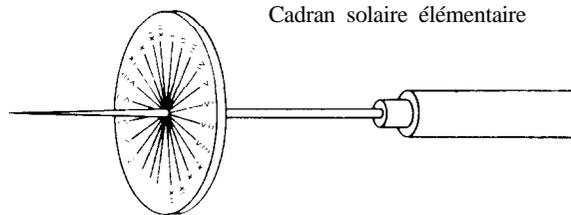
A. On peut faire une démonstration simple du fonctionnement d'un cadran solaire en plaçant verticalement un bâton dans le sol de telle sorte



qu'il soit bien exposé au soleil. La position de l'ombre du sommet du bâton peut être marquée sur le sol à des intervalles d'une heure (voir figure). (Voir aussi expérience 4.89B.)

B. Un cadran solaire très simple peut être fabriqué à partir d'une plaque de métal circulaire divisée en 24 arcs égaux. Une aiguille à tricoter est enfoncée au centre de la plaque perpendiculairement à celle-ci (voir figure).

La plaque est disposée de telle sorte que le gnomon (c'est-à-dire l'aiguille) soit dirigé vers le pôle céleste et que l'ombre du gnomon tombe à



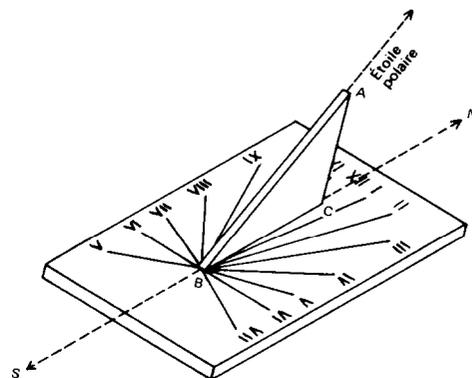
Cadran solaire élémentaire

midi sur la marque XII. L'ombre tombera alors sur les autres marques à peu près à l'heure exacte. (La plaque doit être marquée des deux côtés, car l'ombre du gnomon se déplacera d'un côté à l'autre au fur et à mesure que la déclinaison du Soleil changera.)

4.69 Un cadran solaire pour la maison

La base doit être constituée par une pièce rectangulaire de bois, de métal ou de polystyrène. Le gnomon ABC se compose d'une pièce triangulaire de métal mince ou de plastique, dont l'angle ABC est égal à la latitude du lieu où l'appareil est installé et dont l'angle ACB est égal à 90° (voir figure).

Le socle doit être horizontal (vérifier avec un niveau à eau) et sa ligne médiane doit être orientée avec précision parallèlement à la direction nord-sud. c'est-à-dire au méridien. Le gnomon est



Cadran solaire pour la maison (hémisphère nord)

ce que le globe peut vous apprendre, vous serez peut-être tenté de le tourner à une vitesse plus grande que celle de la rotation de la Terre. Mais il faudra un an pour que le Soleil vous apprenne tout ce qu'il peut vous apprendre avant de répéter son histoire.

Lorsque vous observez le globe correctement orienté - « corrigé » et immobile - vous constatez bien entendu qu'une moitié est éclairée par le Soleil et que l'autre moitié se trouve dans l'ombre. Ce sont exactement les moitiés de la Terre qui se trouvent éclairées ou obscures à ce moment-là. Une heure plus tard, le cercle séparant la lumière de l'ombre s'est déplacé vers l'ouest, son intersection avec l'équateur s'étant déplacée de 15° vers l'ouest. Sur la partie du cercle qui est à l'ouest du lieu d'observation, le Soleil se lève, sur la partie qui est à l'est, il se couche. On peut « compter les heures » le long de l'équateur entre le méridien du lieu d'observation et la ligne du soleil couchant et estimer avec précision combien d'heures de soleil il reste pour cette journée. On peut aussi choisir un pays qui se trouve à l'ouest et voir dans combien de temps le Soleil se lèvera dans ce pays. En observant le globe jour après jour, on constatera que le cercle se déplace lentement vers le nord ou vers le sud, selon l'époque de l'année (voir aussi expérience 4.98).

B. Il n'est pas facile de se rendre compte du fait que les rayons du Soleil sont parallèles lorsqu'ils atteignent la Terre. Une expérience simple peut être utile à cet égard. Un matin où le temps est clair, prendre un morceau de tuyau ou un tube de carton et le diriger vers le Soleil afin qu'il projette une petite ombre en forme d'anneau. *Attention* : ne pas observer le Soleil au travers du tube, car les rayons solaires peuvent détruire la rétine. Si, au même moment, une personne se trouvant à 120° degrés à l'est par rapport à vous - un tiers de la distance autour du monde - faisait la même expérience, elle orienterait le tube à l'ouest, en direction du Soleil de l'après-midi. Pourtant, son tube et le vôtre seraient nécessairement parallèles, à une faible fraction de degré près. Si vous dirigez le tube vers le Soleil au cours de

l'après-midi, et si une autre personne se trouvant à une grande distance à l'ouest fait en même temps la même expérience (pour elle ce sera le matin), le tube qu'elle utilisera sera aussi automatiquement parallèle au vôtre. Cette expérience permettra d'expliquer pourquoi, lorsque les globes sont convenablement orientés, les personnes qui, dans le monde entier, se trouvent dans des régions éclairées par le Soleil verront ces globes éclairés exactement de la même manière.

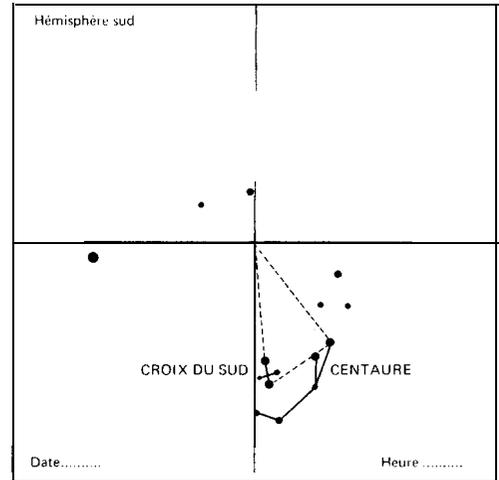
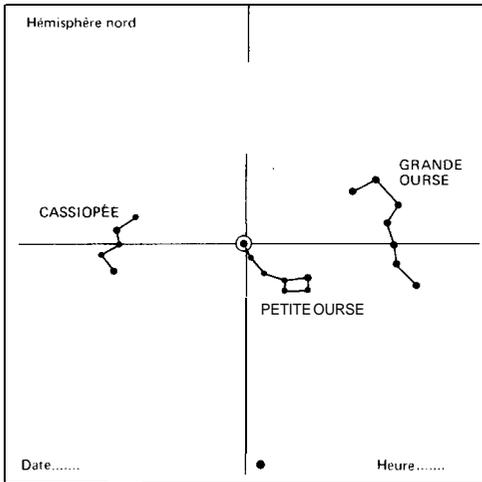
C. Il est facile, avec un cadran solaire universel, de connaître le nombre exact des heures d'ensoleillement à une certaine latitude (y compris la vôtre) au cours d'un jour déterminé. Il suffit de compter le nombre de divisions espacées de 15° en longitude qui se trouvent à l'intérieur du cercle éclairé à la latitude désirée. Ainsi, à 40° de latitude nord en été, le cercle peut couvrir 225° de longitude le long du 40° parallèle, ce qui représente 15 divisions ou 15 heures d'ensoleillement. Mais, en hiver, le cercle ne peut couvrir que 135° , représentant 9 divisions ou 9 heures. Dès que le cercle éclairé passe au-delà d'un des deux pôles, ce pôle a 24 heures d'ensoleillement par jour et le pôle opposé est dans l'obscurité.

Comment se familiariser avec les étoiles et les planètes

4.71 *Comment reconnaître les principales constellations¹ et établir une carte du ciel*

On peut aisément le faire à la maison et l'époque la plus propice est celle de la nouvelle lune, car la lumière de la Lune n'empêche pas, alors, de distinguer convenablement les étoiles. On se munira d'un morceau de papier d'emballage percé de trous d'épingle reproduisant la forme d'un certain nombre de constellations. Lorsqu'on tend ce morceau de papier vers de la lumière, les trous deviennent visibles et l'on peut tourner la feuille jusqu'à ce qu'on reconnaisse dans le ciel la

1. On trouvera à l'annexe 10 les appellations latines - en usage dans de nombreux pays - des principales constellations, avec leurs équivalents en français.



constellation figurée sur le papier. C'est particulièrement facile à faire dans l'hémisphère nord, où l'Étoile polaire sera au centre, très proche du pôle nord céleste (voir figure ci-dessus, à gauche).

Dans l'hémisphère sud, la méthode la plus simple consiste à commencer par la Croix du sud, qui se compose de quatre étoiles dont trois sont très brillantes. Elles sont indiquées sur la figure ci-dessus, à droite, qui montre également comment on peut repérer approximativement le pôle céleste sud (voir aussi expérience 4.78).

Quand on aura appris ainsi à reconnaître quelques constellations, il sera intéressant de dresser une carte du ciel au début de la soirée et une autre au moment de se coucher.

Notre planète, la Terre, tourne sur son axe d'ouest en est en même temps qu'elle tourne autour du Soleil. Le Soleil est notre étoile, l'une des cent mille millions d'étoiles de notre galaxie, appelée la « voie lactée ». Celle-ci n'est qu'une galaxie parmi au moins mille millions d'autres galaxies. Dans notre galaxie, l'étoile la plus proche du Soleil se trouve à 43 millions de millions de kilomètres. Ces chiffres donnent une idée de l'immensité de l'espace.

Dans l'hémisphère nord, il y a une étoile autour de laquelle toutes les autres semblent

tourner. On l'appelle Polaris, ou l'étoile polaire, ou la Polaire (dans certains pays, on l'appelle aussi l'Étoile du nord). A votre avis, pourquoi la Polaire est-elle désignée sous ces différents noms?

Si vous vivez au sud de l'équateur vous remarquerez aussi que les étoiles paraissent tourner autour d'un point du ciel, bien que ce point ne corresponde à aucune étoile.

La voûte céleste paraît accomplir une révolution toutes les 24 heures et, de même, en un an. Cela explique que les diverses constellations (groupes d'étoiles) ne sont pas vues dans la même position à différentes heures de la nuit et à différentes époques de l'année. (Une explication sur la manière de fixer la position d'une étoile sur la sphère céleste est donnée à propos de l'expérience 4.74.)

4.72 Localisation de constellations par un observateur situé au nord de l'équateur

Dans l'hémisphère nord, l'Étoile polaire est le repère essentiel permettant de situer et d'identifier les constellations et les étoiles. Les indications qui suivent aideront à reconnaître un certain nombre de constellations. La plus facile à trouver est Ursa Major, communément appelée la Grande Ourse ou le Grand Chariot.

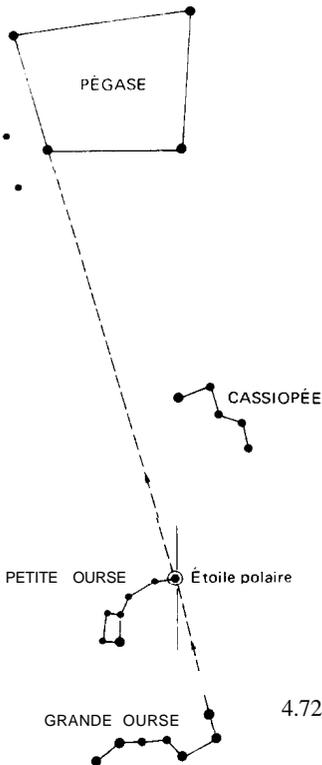
Cette constellation bien connue est très utile, notamment pour localiser l'Étoile polaire. Il suffit de prolonger la ligne droite réunissant les roues arrière du « chariot » sur une distance à peu près égale à cinq fois l'écartement de ces deux roues. On trouvera ainsi l'Étoile polaire, plus brillante que celles qui l'entourent. La Polaire marque l'extrémité avant du timon d'un autre « chariot », constellation plus petite et moins brillante, appelée aussi la Petite Ourse (Ursa Minor).

On cherchera ensuite Pégase, le cheval ailé de la mythologie. Sur la figure 4.72A, qui correspond au mois d'octobre, on constatera que quatre étoiles forment le « carré de Pégase ». L'étoile

nord-est appartient aussi à Andromède. On trouve Pégase en prolongeant bien au-delà de la Polaire la ligne droite réunissant les deux étoiles qui représentent les roues arrière du Grand Chariot.

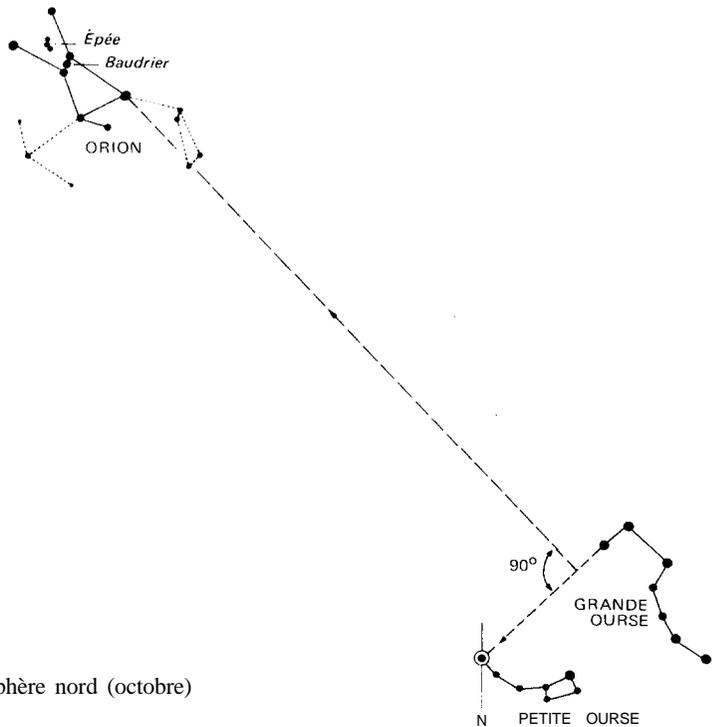
La constellation Cassiopée, qui forme la lettre W, est facile à trouver, à l'opposé de la Petite Ourse, au-delà de l'Étoile polaire.

Orion (appelé aussi « le Chasseur » dans les pays de langue anglaise) est une constellation familière et facile à reconnaître. Elle se distingue notamment par trois étoiles brillantes, proches l'une de l'autre et alignées, qu'on appelle « le Baudrier d'Orion ». En dessous, trois étoiles moins brillantes et moins distinctes forment « l'Épée » (voir figure 4.72B).



4.72A Hémisphère nord (octobre)

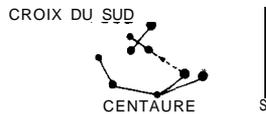
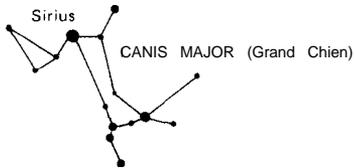
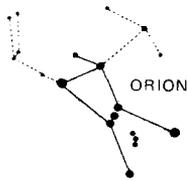
N



4.72B Comment trouver Orion (février)

4.73 Localisation de constellations par un observateur situé au sud de l'équateur

Le principal repère est la constellation de la Croix du sud (Crux). Au début de décembre, on peut l'apercevoir assez bas sur l'horizon sud à minuit. Après avoir trouvé la Croix du sud, il est facile de repérer deux étoiles brillantes du Centaure. Elles se trouvent presque sur la même ligne que les deux étoiles inférieures de la Croix du sud vers le sud-ouest. Ces deux étoiles du Centaure sont également appelées les « Gardes de la



Hémisphère sud (décembre)

Croix du sud ». Celle qui se trouve à la plus grande distance de la Croix du sud est très proche de la Terre à l'échelle astronomique. Pendant longtemps, on a cru que cette étoile était la plus proche de la Terre. Pourtant la lumière qui en émane met plus de quatre ans à atteindre la Terre, bien que la lumière se propage à la vitesse considérable de 300 000 km par seconde. Pour mesurer une grande distance, les astronomes indiquent le temps que met la lumière pour la parcourir. Dans le cas de cette étoile, ils disent qu'elle est à plus de 4 années-lumière.

De la Croix du sud, on peut suivre la voie lactée vers le nord et trouver Canis Major, appelée aussi le « Grand Chien ». Cette constellation est particulièrement intéressante, car elle contient Sirius, qu'on appelle quelquefois la « Canicule »; c'est la plus brillante de toutes les étoiles. Il existe très peu d'étoiles plus proches de nous que Sirius, qui se trouve à 8,5 années-lumière.

Non loin du Grand Chien, on trouvera Orion, visible aussi au nord de l'équateur.

4.74 Localisation de constellations par un observateur situé dans la zone intertropicale

Pour permettre leur identification, on peut imaginer que les étoiles sont situées à l'intérieur d'une sphère, la sphère céleste, dont la Terre occupe le centre. L'Étoile polaire, qui est située approximativement au pôle nord de la sphère céleste, est presque directement au-dessus du pôle nord de la Terre et l'équateur céleste entoure la sphère céleste exactement au-dessus de l'équateur terrestre.

A la surface de la Terre, un point peut être identifié par sa latitude et sa longitude. La longitude correspond au méridien, qui est la ligne réunissant le pôle nord et le pôle sud en passant par ce point; par exemple, la longitude zéro, ou le méridien de Greenwich passe par le pôle nord, la ville anglaise de Greenwich, et le pôle sud. De même, la position d'une étoile sur la sphère céleste est déterminée par sa déclinaison (qui correspond à la latitude et qui est repérée « nord » ou « sud » à partir de l'équateur céleste) et par son ascension droite (qui correspond à la longitude).

Le point de la sphère céleste situé exactement au-dessus d'un observateur placé sur la Terre s'appelle le zénith de l'observateur. Ainsi, l'Étoile polaire serait au zénith d'un observateur placé au pôle nord de la Terre et le 15 mai, vers midi, le Soleil serait au zénith d'un observateur se trouvant en un point de latitude 20° N.

La carte du ciel qui se trouve à la fin de ce livre représente la partie de la sphère céleste qui est vue par un observateur situé sur l'équateur terrestre. Elle s'étend de 35° N à 30° S; elle ne présente donc pas, pour ces déclinaisons, la distorsion des constellations qu'on trouve en général sur les cartes des hémisphères célestes nord ou sud. Cette carte est spécialement intéressante pour les personnes qui vivent dans la zone intertropicale, où les conditions atmosphériques limitent souvent les observations à 45° du zénith; Le Baudrier d'Orion, lorsqu'il est visible, donne une idée de la direction est-ouest et le prolongement des grands côtés du quadrilatère de cette même constellation est utile pour trouver la direction nord-sud.

Les distances sont mesurées en degrés angulaires et l'équateur est divisé approximativement en mois. Chaque date correspond à l'aspect du ciel à minuit pour un observateur situé à l'équateur, c'est-à-dire dont le zénith est à l'équateur. Pour les autres lieux, le zénith à minuit est donné par l'intersection du parallèle (repéré par sa latitude) de l'observateur et du méridien coupant l'équateur à une date déterminée; par exemple Rigel est au zénith à minuit le 7 décembre pour les lieux situés à la latitude 8° S.

Les étoiles visibles sur le méridien de l'observateur à 23 heures au cours d'une nuit quelconque seront celles qu'on voit sur le méridien à minuit 15 jours plus tôt. Par exemple, Bételgeuse, qui est à peu près au zénith à minuit le 17 décembre, occupera la même position à 23 heures, 15 jours plus tard, c'est-à-dire le 1^{er} janvier.

La courbe en gros pointillé permet à un observateur de déterminer approximativement la latitude à laquelle le Soleil sera exactement au-dessus de lui à midi un jour quelconque, il suffit de noter l'intersection de la courbe avec les parallèles; par exemple le Soleil est au zénith à midi au point situé à la latitude 20° S le 25 janvier.

Note. La courbe permettant de déterminer la position du Soleil chaque jour ne doit pas être confondue avec l'écliptique qui lui est symétrique. Cela explique l'erreur apparente de 12 heures dans l'ascension droite des étoiles figurant sur la carte.

4.75 La rotation diurne apparente du ciel

Se procurer : une carte du ciel, un fil à plomb (ficelle et poids), un crayon, du papier et une montre ou une pendule.

A. Choisir un emplacement où l'on a une vue dégagée de la partie nord du ciel (ou de la partie sud si on est au sud de l'équateur), y compris les parties proches de l'horizon. Localiser aussi exactement que possible le pôle céleste et fixer le fil à plomb de telle sorte qu'il semble passer par le pôle (l'Étoile polaire pour un observateur placé au nord de l'équateur). Repérer soigneusement, par rapport aux étoiles, la position apparente de l'extrémité inférieure du fil à plomb. Tracer une droite sur la carte du ciel pour représenter la position du fil à plomb et noter l'heure à une minute près. Répéter cette observation 2 ou 3 heures plus tard, tracer une droite sur la carte et noter l'heure. Inscrire également la date. Dans quelle direction le ciel semble-t-il tourner (dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens opposé)? Faire un rapprochement entre ce phénomène et la rotation de la Terre : pour un observateur situé dans l'espace au-dessus du pôle nord (ou sud) de la Terre, comment la Terre aurait-elle semblé tourner (dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens opposé)?

Avec un rapporteur, mesurer l'angle que font les deux droites. Combien de degrés? Calculer le mouvement accompli en degrés par heure. En déduire le temps nécessaire pour une rotation complète (3600). Quelles conclusions peut-on tirer de ce résultat? Quelle est la précision de l'observation? Cette observation peut être complétée par la photographie des trajectoires des étoiles (voir aussi expérience 4.90).

B. Se placer en un point précis, pouvant être retrouvé exactement plus tard. Dans l'hémisphère

nord, identifier l'une des constellations les plus importantes de la partie sud du ciel (par exemple Orion) et indiquer sa position par rapport à des repères bien visibles (bâtements, arbres, etc.). Dans l'hémisphère sud, identifier une constellation du ciel nord. Noter l'heure. Deux ou trois heures plus tard, exactement au même lieu, observer la même constellation. indiquer sa position et noter l'heure. Dans quelle mesure le changement de position de cette constellation correspond-il aux changements observés dans l'expérience A ci-dessus? Sa période pour une rotation complète différerait-elle de celle qui a été trouvée ci-dessus?

C. Observer une constellation qui semble basse dans l'est du ciel et l'observer 2 heures plus tard. Expliquer les changements.

D. Observer une constellation qui se trouve à peu près à mi-hauteur dans l'ouest du ciel et l'observer à nouveau 2 heures plus tard. Expliquer les changements.

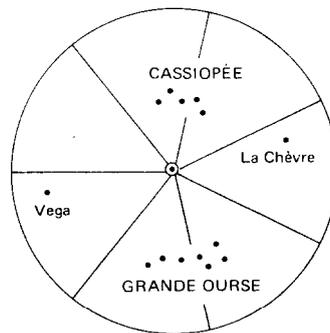
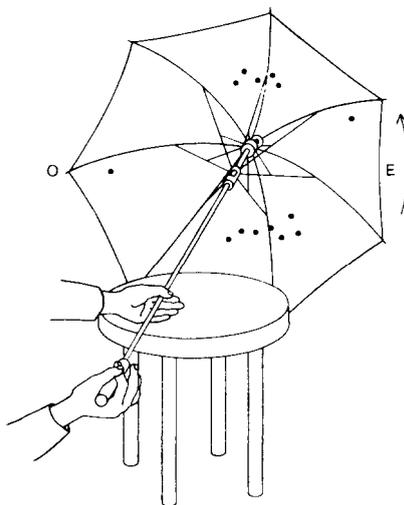
4.76 comment construire un constellarium

Un constellarium est un petit appareil qui sert à enseigner aux élèves la forme des différentes constellations.

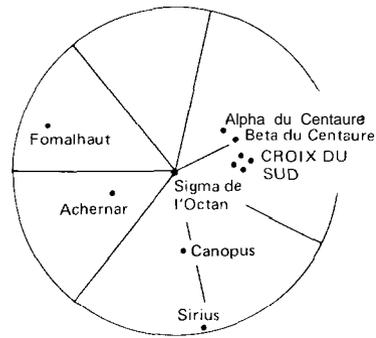
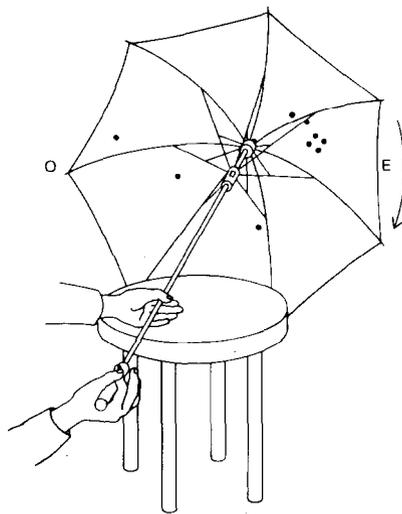
A. On se procurera une boîte de carton ou une caissette, dont on supprimera l'une des extrémités. D'autre part, on dessinera les formes des différentes constellations sur des morceaux de carton de couleur sombre, suffisamment grands pour recouvrir l'extrémité de la boîte. Percer dans les dessins des différentes constellations des trous correspondant à l'emplacement des étoiles. Introduire une lampe électrique à l'intérieur de la boîte. En allumant cette lampe et en plaçant les cartons l'un après l'autre à l'extrémité de la boîte, on verra clairement les différentes constellations.

On peut aussi se procurer un certain nombre de boîtes en fer-blanc assez grandes pour qu'il soit possible d'y introduire une ampoule électrique. Des trous pratiqués dans le fond de ces boîtes représenteront les étoiles de différentes constellations. lorsque l'ampoule est placée dans la boîte et allumée. les trous deviennent lumineux et l'on peut observer la forme des constellations. On peut peindre ces boîtes pour les empêcher de rouiller et les conserver d'une année à l'autre.

B. Comme un parapluie a la forme d'une face interne de sphère. on peut en faire un constella-



Hémisphère nord



Hémisphère sud

rium pour décrire les différentes sections du ciel et leurs mouvements. On utilisera un vieux parapluie d'une taille suffisante.

L'hémisphère nord. Avec de la craie, on marquera la place de l'Étoile polaire à l'intérieur du parapluie près du sommet de la calotte. Consulter une carte du ciel et marquer par des croix la position des étoiles de différentes constellations. Quand on aura indiqué ainsi toutes les constellations polaires, on pourra coller sur les croix des étoiles blanches découpées dans des étiquettes gommées ou encore peindre les étoiles à la peinture blanche. On pourra ensuite tracer à la peinture blanche ou à la craie des lignes pointillées réunissant les étoiles d'une même constellation. En faisant tourner le manche du parapluie dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre, on voit comment les diverses étoiles forment une trajectoire circulaire autour de l'étoile polaire.

L'hémisphère sud. Au sud de l'équateur, le parapluie doit être orienté vers le pôle céleste sud; il faudra donc le tourner dans le sens des aiguilles d'une montre. Comme dans l'hémisphère nord, les étoiles se lèveront à l'est et se coucheront à l'ouest. La figure montre quelques-unes des étoiles et des constellations les plus importantes marquées sur le parapluie.

4.77 Évolution saisonnière du ciel

Au fur et à mesure que la Terre parcourt son orbite autour du Soleil, les constellations semblent se déplacer dans le ciel. Pour observer cette évolution, il faut une carte du ciel et un fil à plomb.

Procéder aux observations comme il est indiqué au point 4.75, mais ne faire qu'une série d'observations en enregistrant l'heure.

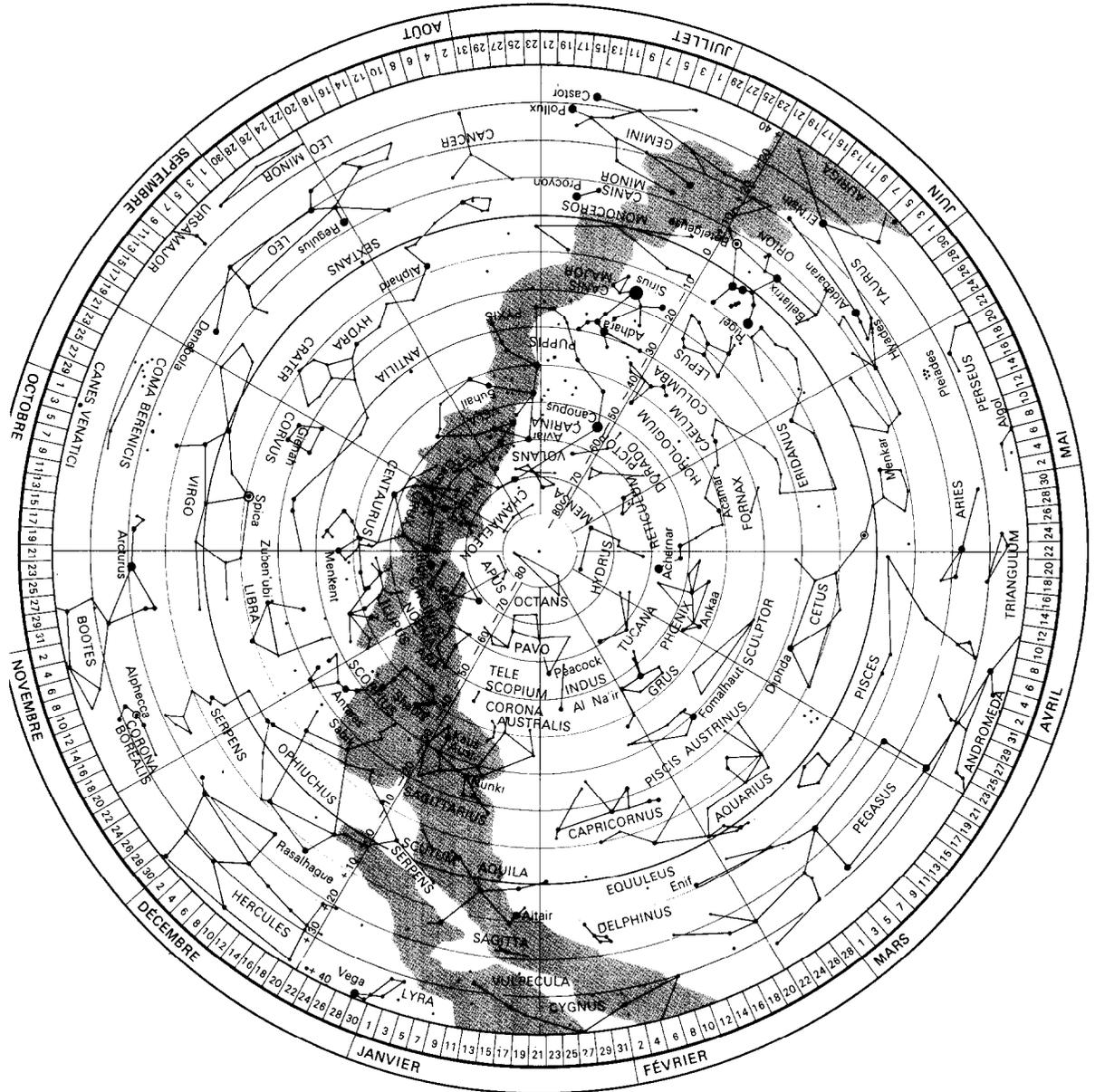
Un mois plus tard au moins répéter les mêmes observations de la même manière et autant que possible à la même heure de la nuit. Si l'on compare les deux observations faites à la même heure quels changements constate-t-on en un mois (ou davantage)? Quelle sera l'importance du changement en un an s'il se poursuit au même rythme? Que signifie-t-il si l'on se rappelle que nous mesurons le temps au moyen du Soleil? Existera-t-il une époque de l'année où il sera absolument impossible de voir Orion (par exemple)? Pourquoi? Répondre aux mêmes questions pour la Grande Ourse et l'Étoile polaire, si vous êtes au nord de l'équateur. Qu'en est-il de la Croix du sud, si vous êtes dans l'hémisphère sud?

4.78 Les étoiles indiquent l'heure et la date

Comme les étoiles semblent accomplir une révolution complète en 24 heures, elles peuvent servir

ponde à ce qu'on observe dans le ciel. Si l'on se trouve au nord de l'équateur et si l'on doit tourner la carte de 15° dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la position de minuit, il est une heure du matin; si l'on doit tourner la carte de 30° dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre, il est 22 heures. Au sud de

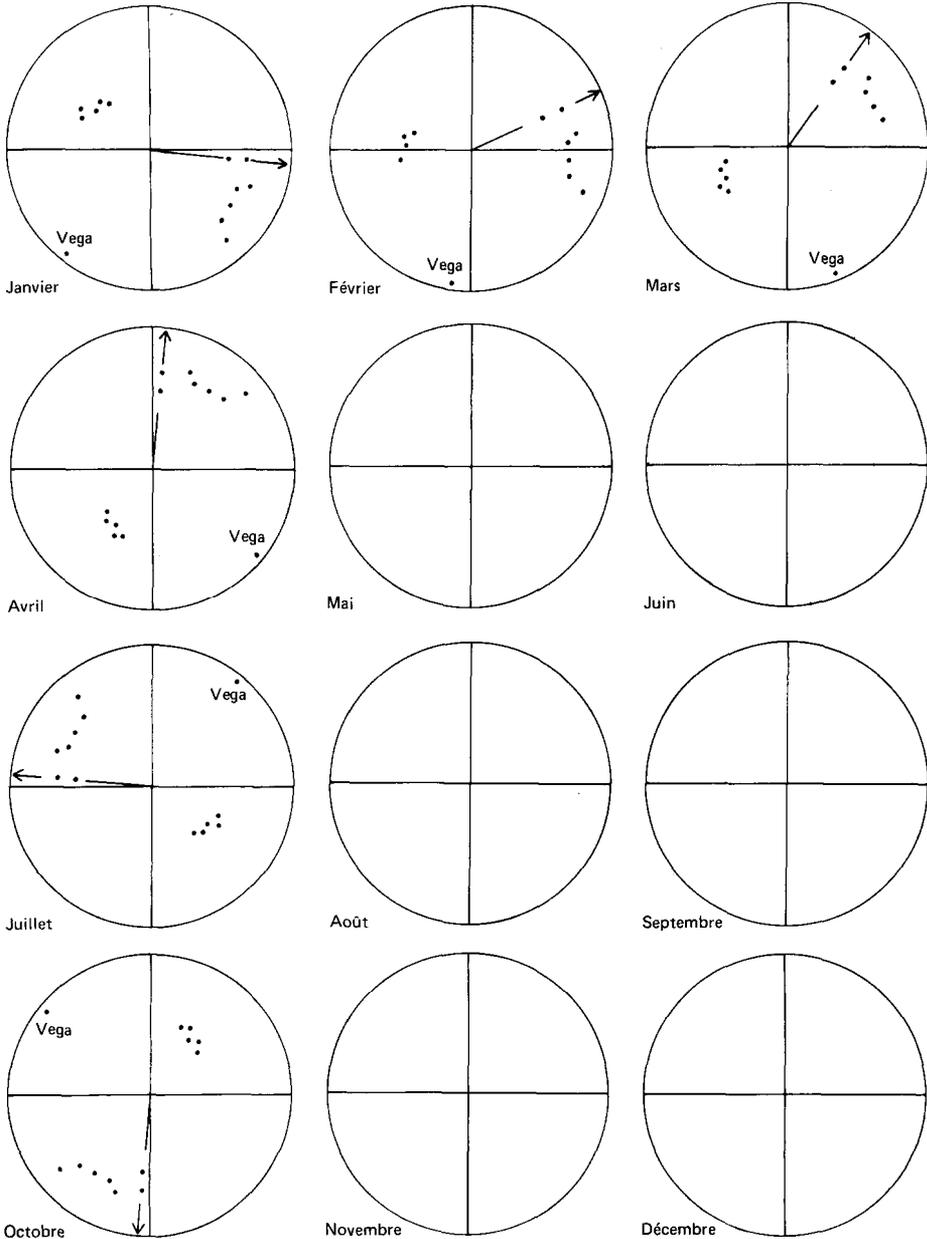
l'équateur, c'est l'inverse puisqu'on fait face au sud. Si l'on doit tourner la carte de 15° dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la position de minuit, cela signifie qu'il est 23 heures. Les heures déterminées de cette façon correspondent au temps solaire et elles peuvent différer de l'heure locale.



B. *L'horloge stellaire.* On trouvera ci-après deux séries de figures pour l'hémisphère nord et l'hémisphère sud, à raison d'une « horloge » pour chaque mois. La position 9 heures de l'aiguille

de l'horloge stellaire est marquée au milieu de certains mois.

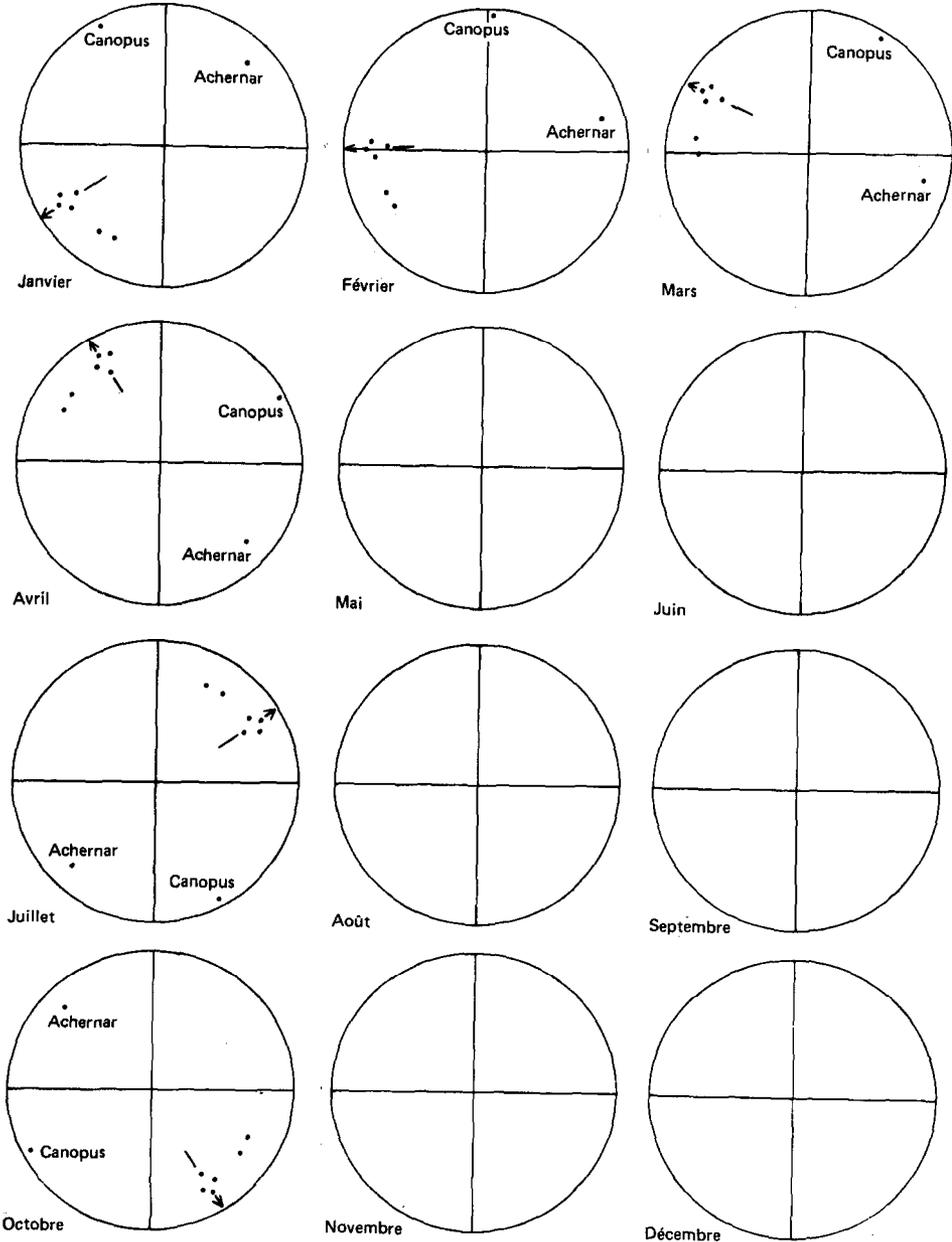
Indiquer les positions 9 heures pour mai, août et novembre. Essayer d'indiquer les posi-



L'horloge stellaire (hémisphère nord)

tions minuit pour juin, septembre et décembre.
Dans l'hémisphère sud, indiquer approximativement le pôle céleste sud (voir expérience 4.71).

L'horloge stellaire (hémisphère sud)



4.79 Comment représenter le système solaire

On pourra montrer quelles sont les dimensions relatives des planètes et les distances relatives qui les séparent du Soleil en faisant construire par les élèves des modèles représentant le système solaire. Pour des raisons d'ordre pratique, il est nécessaire de réaliser deux modèles, l'un montrant les dimensions relatives des planètes et l'autre, les distances relatives qui les séparent du Soleil. On y parviendra : *a*) en utilisant des ballons, des balles et des billes de différentes dimensions qui représenteront le Soleil et les planètes; *b*) en faisant fabriquer par les élèves des boules en terre glaise ou en pâte à modeler au moyen de gabarits en matière plastique; ou *c*) simplement en découpant des cercles de carton ayant les dimensions voulues. Ces objets peuvent être disposés soit sur un mur, soit sur le sol ou encore sur le tableau noir où l'on indiquera à la craie les orbites des planètes. Le tableau ci-dessous indique les rapports à respecter. Les chiffres entre parenthèses donnent une échelle des distances, les unités étant la distance moyenne de la Terre au Soleil et le diamètre de la Terre.

Corps célestes	Distance moyenne du Soleil (en millions de km)	Diamètre (en km)
Soleil		1400000(110)
Mercure	58 (0,4)	4 800(0,4)
Vénus	108 (0,7)	12000(1,0)
Terre	150 (0,1)	13 000 (1,0)
Mars	228 (1,5)	6 800 (0,5)
Jupiter	778 (5,2)	140 000 (11,2)
Saturne	1 420 (9,5)	120 000 (9,5)
Uranus	2 870 (19,2)	50 000 (3,7)
Neptune	4 490 (30,1)	53 000 (4,1)
Pluton	5 900 (39,5)	(1,0?)

4.80 L'étoile du « matin » et l'étoile du « soir »

Observer Vénus et noter le moment où elle se lève ou se couche par rapport au lever ou au coucher du Soleil.

4.81 Comment démontrer le mouvement des planètes

Se procurer un bocal haut et étroit, de l'eau, de l'huile pour moteur de voiture SAE 30, de l'alcool

à 90° et un crayon. Remplir à moitié le bocal avec de l'eau, verser lentement l'alcool sur l'eau; ne pas agiter pour ne pas perturber les surfaces en contact. Plonger un crayon dans l'huile et laisser tomber quelques gouttes d'huile dans le récipient. Faire tourner doucement le récipient pour que les « planètes », c'est-à-dire les gouttes d'huile, tournent. Moins dense, l'alcool flotte sur l'eau. L'huile s'enfonce dans l'alcool mais reste au-dessus de l'eau; les gouttes d'huile forment ainsi des sphères qui restent à la surface de contact entre les deux liquides incolores.

Observation des phénomènes célestes

4.82 Observation des phases de la Lune

Pendant toute la durée d'une lunaison, les enfants observeront la Lune chaque soir et en feront des croquis. Commencer à la nouvelle lune et continuer jusqu'à la fin de la quatrième phase.

4.83 Comment déterminer le rapport entre les phases de la Lune et sa position apparente dans le ciel

Toutes les observations de cette série doivent être répétées pendant deux semaines au moins. Commencer les observations environ une heure après le coucher du Soleil et faire les observations chaque nuit lorsque le ciel est clair, à la même heure, l'observateur se plaçant toujours au même endroit. L'observation doit commencer à la date où le croissant de lune est tout juste visible le soir, deux ou trois jours après une nouvelle phase (consulter un almanach).

La première nuit, noter la position de la Lune par rapport à des repères bien visibles et faire un croquis exact. (Par exemple, elle est juste au-dessus du clocher d'une église ou elle est juste au-dessus d'un point situé à mi-distance du clocher et d'un bâtiment.) Déterminer aussi exactement que possible la hauteur au-dessus de l'horizon en degrés en utilisant le poing ou les doigts de la main. (Bras tendu, le poing équivaut à environ 10°, la distance entre le pouce et le petit doigt équivaut à environ 20°, etc.). Porter ces indications sur le croquis. Noter aussi le plus exactement possible la direction des pointes du croissant et la forme de celui-ci. Répéter à nouveau les obser-

vations deux heures plus tard et noter l'heure.

Renouveler les observations de la même manière tous les soirs pendant deux semaines. Rédiger un rapport sur ces observations. Y indiquer plus spécialement comment la zone éclairée de la Lune change de forme d'une nuit à une autre, comment sa position apparente se modifie, comment les pointes ou le bord du croissant sont orientés par rapport à la position du Soleil, qui est en dessous de l'horizon ouest, comment la Lune change de position au cours d'une nuit, les raisons de ce changement ainsi que les raisons du changement d'une nuit à l'autre, etc. A un certain moment, à l'époque du dernier quartier de la Lune (voir un almanach), faire des observations de bonne heure le matin en procédant comme ci-dessus. Dans quelle mesure ces observations concordent-elles avec celles du soir?

4.84 Observation d'une éclipse de soleil

Expliquer aux élèves qu'en observant les éclipses, l'intervalle de temps au cours duquel elles se produisent, et l'ombre qu'elles provoquent, les astronomes ont pu recueillir des renseignements sur la forme, les dimensions et les mouvements du Soleil, de la Lune et de la Terre (voir figure).

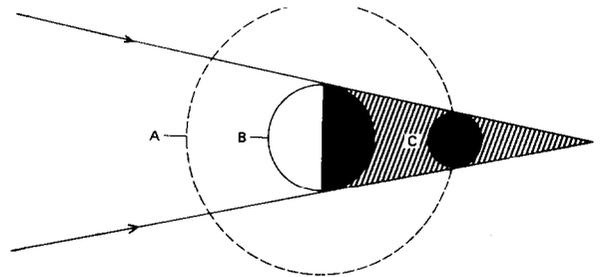
Demander aux élèves s'ils connaissent une méthode ayant permis de déterminer la forme de la Terre. Leur demander de rechercher dans les journaux ou dans un almanach la date des éclipses. Prévoir une sortie de la classe si une éclipse se produit dans la région.

Attention. Ne pas laisser les élèves regarder directement l'éclipse, car leurs yeux pourraient

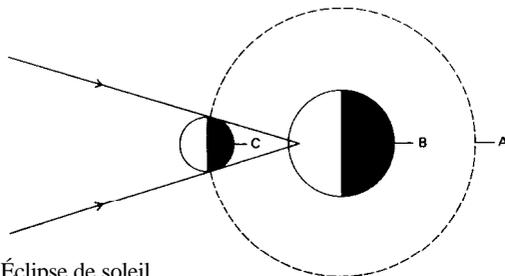
en souffrir. Même l'emploi d'un verre fumé ou de plusieurs épaisseurs de pellicule photographique exposée n'offrent pas une entière sécurité. Un moyen sûr consiste à faire une observation indirecte. Demander aux élèves de percer un trou dans un morceau de carton. Leur demander ensuite de se placer le dos au Soleil et de tenir le carton au-dessus d'une épaule pour que l'image du Soleil se projette à travers le trou sur un deuxième morceau de carton ou sur un papier qu'ils tiennent devant eux. Il faut les empêcher de regarder le Soleil par le trou pratiqué dans le carton (voir aussi expérience 4.96).

4.85 Observation d'une éclipse de lune

L'observation directe n'offre aucun danger. Demander aux élèves de noter la forme de l'ombre de la Terre au moment où son bord traverse la Lune - c'est une preuve que la Terre



Éclipse de lune
A Orbite de la Lune
B Terre
C Lune



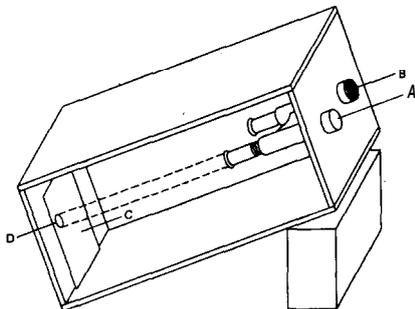
Éclipse de soleil
A Orbite de la Lune
B Terre
C Lune

est ronde, encore que l'effet serait le même si la Terre avait la forme d'un disque (voir figure). (Voir aussi expérience 4.95.)

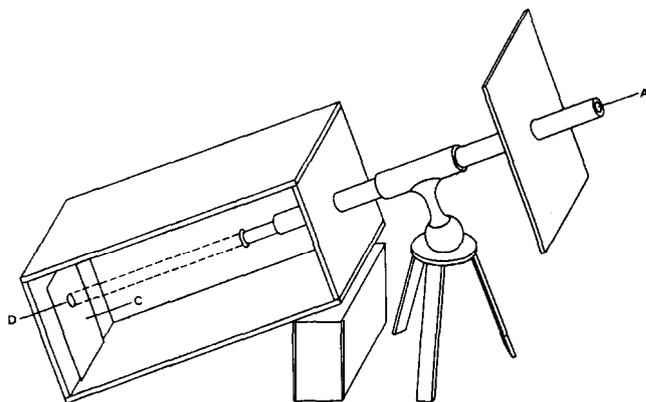
4.86 Période de rotation du Soleil

Déterminer la période de rotation du Soleil et la direction de son axe en observant les changements de position des taches solaires. Le matériel nécessaire est le suivant : un petit télescope ou des jumelles (grossissement minimal 6), une grande boîte, une planchette, du papier et un crayon.

Attention. Ne pas observer directement le Soleil au moyen de l'instrument. Si l'on emploie des jumelles, les fixer solidement à une extrémité de la boîte (voir figure *a*); mais, si l'on se sert d'un télescope, il faut y ajouter un pare-soleil, comme en *b*. Un des grands côtés de la boîte doit être ouvert pour permettre l'observation. Incliner la boîte de telle sorte que les petits côtés soient perpendiculaires à la direction des rayons solaires.



a. Emploi de jumelles



b. Emploi d'un télescope

4.86 Observation des changements de position des taches solaires

A Vers le Soleil

B Cache sur la deuxième lunette

C Planchette

D Image du Soleil

La planchette recouverte d'une feuille de papier est placée dans la boîte contre la partie postérieure et l'image du Soleil est projetée sur le papier. La mise au point de l'oculaire doit être légèrement différente de la mise au point utilisée pour l'observation directe (faire des essais). Quand la dimension de l'image du Soleil a été déterminée, toutes les observations peuvent être faites pour une image de cette dimension et le papier peut être préparé à l'avance en traçant un cercle de la dimension appropriée. Noter qu'avec une jumelle de grossissement 6, une image du Soleil de 5 cm est obtenue à 1 mètre derrière l'oculaire. Un grossissement supérieur donne des images proportionnellement plus grandes. La dimension de l'image est aussi proportionnelle à la distance par rapport à l'oculaire.

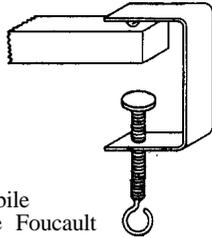
Procéder à des observations chaque jour, de préférence à midi. Maintenir toujours le papier orienté de la même façon. Dans le cercle, marquer rapidement au crayon l'emplacement des taches solaires. Essayer ensuite de montrer leurs dimensions relatives et leur forme approximative. Il faudra déplacer le papier pendant cette opération. D'un jour à l'autre la position des taches se modifiera avec la rotation du Soleil. En mesurant les différences constatées entre plusieurs croquis, on pourra déterminer la vitesse du mouvement et, si les observations se poursuivent pendant un mois ou davantage, on pourra distinguer un groupe de taches qui reviendra une deuxième fois. D'autre part, une grande tache peut disparaître et de nouvelles apparaître dans l'intervalle.

Comment observer l'effet de la rotation de la Terre

4.87 Un pendule de Foucault

Un serre-joint en forme de G, avec une bille de roulement soudée à l'intérieur du bras supérieur, constitue un support commode pour un pendule de Foucault qui permet de démontrer la rotation de la Terre. On le suspendra de préférence à l'intérieur d'une salle, la bille reposant sur une forte lame de rasoir ou sur une surface dure (voir

figure). Pour donner au point d'attache le maximum de mobilité, on ne serrera pas la vis du serre-joint. Suspendre la boule du pendule, par exemple une balle de caoutchouc dur, à un fil de nylon non torsadé. La longueur du fil a peu d'importance et peut varier de 3 à 30 mètre.



Point d'attache mobile pour le pendule de Foucault

Quand un tel pendule est mis en mouvement, son plan d'oscillation semble, après quelques heures, avoir varié par rapport à celui qu'indique une marque tracée sur le sol au début de l'expérience. C'est naturellement la rotation de la Terre sous le pendule qui produit cet effet.

Il faudra veiller à ce que l'index (une petite aiguille à tricoter enfoncée dans la balle) soit bien dans le prolongement du fil. Sur un morceau de carton blanc fixé au sol par des punaises, on pourra tracer une droite de référence qui devra être placée exactement sous l'index, la balle étant au repos.

Pour mettre le pendule en mouvement, attacher un long fil de coton à un clou de tapissier enfoncé dans la balle; tendre ce fil le long de la ligne de référence, puis le brûler à proximité du clou.

Il n'est pas facile, sans quelques raffinements, d'obtenir des résultats quantitatifs, mais on peut sans difficulté observer l'effet de la rotation de la Terre.

4.88 Un pendule de Foucault en miniature

Suspendre un petit pendule de Foucault à un support installé sur un plateau tournant ou un fauteuil de bureau. Demander aux enfants d'observer le comportement du pendule lorsqu'on fait tourner lentement le plateau.

4.89 Les changements de position du Soleil selon les saisons

A. A partir d'un emplacement déterminé et bien dégagé, noter avec précision le point où le Soleil disparaît derrière des repères lorsqu'il se couche. Répéter les observations à des intervalles d'une semaine pendant au moins 4 semaines et déterminer la vitesse du changement en degrés par jour (rappelons que, le poing fermé, bras étendu, équivaut à environ 10°).

B. Tracer sur le sol ou sur un des murs de la pièce une ligne indiquant la limite du soleil et de l'ombre. Noter exactement le mois, le jour et l'heure. A la fin de chaque semaine, et toujours exactement à la même heure, tracer une nouvelle ligne limite. Si on répète cette opération pendant toute l'année, on pourra faire des observations intéressantes. Les changements de position de cette ligne de semaine en semaine et de mois en mois sont dus à la rotation de la Terre autour du Soleil.

C. Dans un endroit bien dégagé, enfoncer dans le sol un bâton de 1,50 mètre et demander aux enfants de mesurer la longueur de l'ombre portée de ce bâton. Mesurer l'ombre portée deux ou trois fois par jour à différentes saisons de l'année. Les enfants devront noter l'emplacement exact de l'ombre aux mêmes heures chaque jour, en marquant la longueur et la position de l'ombre. Leur demander de comparer la position et la longueur de l'ombre au début de l'année scolaire, au cours de l'hiver, au printemps et à la fin de l'année scolaire. (Voir aussi expérience 4.68.)

D. Rédiger un rapport expliquant la signification des changements observés en fonction des mouvements de la Terre.

4.90 Comment photographier la trajectoire des étoiles

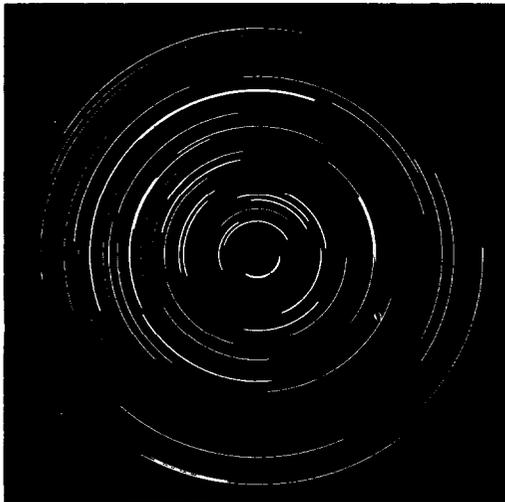
Les élèves qui possèdent un appareil photographique prendront intérêt à photographier la trajectoire des étoiles à mesure que la Terre accomplit sa révolution. Attendre une belle nuit sans lune et choisir un endroit d'où l'on découvre

tout l'horizon. Cet endroit devra être à l'abri de toute lumière non céleste, par exemple celle des phares d'automobiles, etc.

Diriger l'appareil aussi exactement que possible vers le pôle céleste (l'Étoile polaire si vous êtes au nord de l'équateur) et le fixer solidement soit sur un pied, soit avec des cales en bois. Mettre au point sur l'infini, ouvrir le diaphragme au maximum, régler pour la pose et ouvrir l'obturateur. Ne pas toucher à l'appareil pendant deux heures au moins, puis fermer l'obturateur pendant une ou deux minutes en prenant soin de ne pas déplacer l'appareil. Rouvrir l'obturateur pendant une minute et enfin le fermer. Cette dernière et brève exposition précise la fin de l'exposition. Noter l'heure du début et de la fin de l'expérience.

Lorsque la pellicule sera développée, la trajectoire des étoiles sera visible sous la forme d'arcs concentriques dont le centre est au pôle céleste. On peut mesurer les arcs les plus longs pour déterminer la rotation en degrés et en déduire la période de rotation complète.

On peut prendre d'autres photographies en orientant l'appareil dans différentes directions.



Trajectoires des étoiles autour du pôle nord céleste

Étudier les trajectoires et examiner comment elles indiquent une rotation de l'ensemble du ciel comme s'il s'agissait d'une sphère solide sur laquelle seraient fixées les étoiles, l'ensemble tournant autour d'un axe passant par les pôles célestes.

La trajectoire apparente de la Lune peut être mise en évidence au moyen d'expositions d'une ou deux secondes à des intervalles de dix ou de quinze minutes pendant deux heures environ ou jusqu'à ce que la Lune sorte du champ de l'appareil. Il faut prendre de grandes précautions pour éviter de déplacer l'appareil.

Le jour, la trajectoire du Soleil peut être enregistrée de la même manière. Attention. Il ne faut jamais regarder le Soleil au travers du viseur. Réduire l'ouverture pour éviter une surexposition. (Voir aussi expérience 4.75.)

4.91 Photographies en couleur de la trajectoire des étoiles

Les étoiles sont aussi colorées que les objets terrestres, mais en général on ne le sait pas parce que nos yeux, adaptés à l'obscurité, ont une faible sensibilité à la couleur. Un appareil ayant un objectif d'au moins $f : 3,5$, avec une pellicule couleur à haute rapidité, permettra de photographier Bételgeuse, étoile rouge de la constellation d'Orion, la Chèvre (Capella), dans la constellation du Cocher (Auriga), et l'étoile dorée Albireo, dans la constellation du Cygne. La constellation de Cassiopée contient deux étoiles bleues, une blanche, une dorée et une verte. Il suffit d'avoir un bon appareil photographique pouvant être réglé sur la pose, un pied rigide et une pellicule à émulsion rapide. Les cartes élémentaires qui figurent dans ce livre permettront d'identifier les constellations. La bibliothèque publique locale possède peut-être des ouvrages d'astronomie contenant des cartes analogues ou plus détaillées. Il existe également, dans certains pays, des indicateurs à cadran qui montrent, quand le cadran est réglé pour le mois, le jour et l'heure, toutes les constellations qui sont au-dessus de l'observateur.

La Terre tourne sur elle-même de 15° par heure, soit 1° en quatre minutes. Pour nous, sur la Terre, il est plus facile d'évaluer ce mouve-

ment en imaginant que ce sont les étoiles qui se déplacent. Par ailleurs, les étoiles semblent accomplir une rotation autour du pôle céleste de l'hémisphère. Chaque étoile qui se trouve au voisinage du pôle décrit un cercle de faible rayon et, au fur et à mesure que la distance par rapport au pôle augmente, le rayon de courbure augmente aussi, jusqu'à ce que les étoiles situées au-dessus de l'équateur paraissent se déplacer sur une droite.

Une étoile est une vraie source ponctuelle de lumière et aucun déplacement de l'appareil photographique ne peut être toléré, sinon les images des étoiles auront des formes torsadées. Pour éviter toute difficulté, procéder de la manière suivante : fixer l'appareil sur un pied rigide, placer un carton devant l'objectif, utiliser un long câble souple de déclenchement ou une poire, attendre environ 3 secondes que l'appareil soit immobile, puis retirer le carton. A la fin de l'exposition, replacer le carton devant l'objectif avant de fermer l'obturateur.

Note. Il est probable que les laboratoires de développement ne reconnaîtront pas les images des étoiles sur vos clichés et, si vous ne les avez pas prévenus, ils vous renverront vos négatifs sans avoir fait de tirages sur papier.

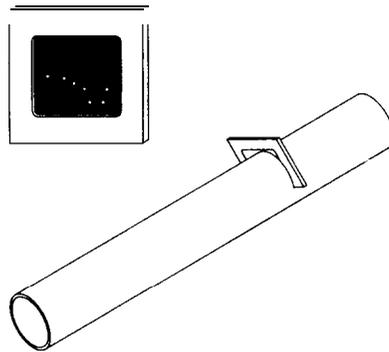
4.92 Comment photographier des constellations

A. La photographie de constellations ajoute un intérêt esthétique à la photographie des trajectoires d'étoiles. On obtient de belles photographies ou diapositives en noir et blanc et en couleur qui constituent un moyen d'enseignement très efficace.

Parmi les nombreuses techniques qui permettent de photographier les constellations, l'une des plus appréciées est la suivante : choisir une constellation; installer l'appareil photographique et exposer pendant 30 minutes avec un film noir et blanc très rapide (400 ASA) et une ouverture de $f: 11$; masquer l'objectif pendant 2 minutes; ouvrir à $f: 4$, déréglé légèrement la mise au point; enfin, découvrir l'objectif pendant 3 minutes. Au lieu de déréglé légèrement la mise au point, on peut placer un écran diffusant sur l'objectif pour la dernière exposition. On obtient

l'image d'une constellation qui semble se précipiter dans l'espace, chaque étoile étant prolongée par une queue.

B. On peut utiliser des diapositives de 35 mm sous-exposées et mises au rebut que l'on perfore avec la pointe d'une aiguille pour représenter diverses constellations. Ces diapositives peuvent être projetées sur un écran ou examinées dans une visionneuse et les élèves peuvent essayer d'identifier les constellations. On peut aussi insérer les diapositives dans une entaille pratiquée dans un tube de carton tenu face à la lumière (voir figure ci-dessous).



4.93 Comment photographier des satellites

Il est très amusant de photographier des satellites. Utiliser le même montage que pour les trajectoires d'étoiles (voir ci-dessus). Le film Kodak Tri-X Pan donne d'excellents résultats. Utiliser le révélateur Kodak HC-110 (1 partie pour 15 parties d'eau) à 24 °C pendant 4 minutes. Le principal problème est de savoir à l'avance comment orienter l'appareil. Il existe plusieurs sources de renseignements : certains journaux donnent chaque jour l'heure, la hauteur au-dessus de l'horizon ouest ou est et la trajectoire de tous les satellites visibles. En outre, les observatoires astronomiques locaux et les clubs d'astronomes amateurs peuvent donner les renseignements nécessaires. Ce genre de photographie est particulièrement intéressant quand la trajectoire du satellite traverse une constellation connue: ou

bien, avec beaucoup de chance, il peut arriver que deux satellites se rencontrent sur la même photographie. C'est cette inconnue qui stimule l'intérêt du photographe astronome, amateur ou professionnel.

4.94 Comment trouver la direction nord-sud à partir du Soleil

A. Si l'on dispose d'une montre, la régler sur le temps moyen local (solaire) et procéder comme suit :

Au nord de l'équateur. Diriger l'aiguille des heures vers le Soleil. La direction du sud est donnée par la bissectrice de l'angle que forme l'aiguille des heures avec la direction « 12 heures » de la montre.

Au sud de l'équateur. Orienter la direction « 12 heures » de la montre vers le Soleil. La direction nord-sud est obtenue comme ci-dessus.

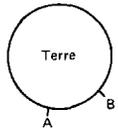
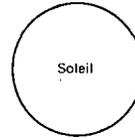
B. A défaut d'une montre, on peut utiliser l'ombre portée d'un bâton enfoncé verticalement dans le sol. A mesure que le Soleil traverse le ciel, au cours de la journée, l'ombre du bâton va tourner. Elle va aussi se raccourcir le matin et s'allonger l'après-midi. Lorsque l'ombre est la plus courte (vers midi), son extrémité sera dirigée vers le nord ou vers le sud, selon que vous trouvez au nord ou au sud de l'équateur.

Montages et démonstrations d'astronomie

4.95 Les phases de la Lune et les éclipses de lune

Se procurer une lampe torche à foyer réglable, une balle blanche, un support pour la tenir et un globe terrestre. Opérer dans une salle obscure.

A. La lampe torche étant fixée de telle façon que la balle soit en pleine lumière, demander aux élèves de regarder la balle sous différents angles pour observer les diverses phases de la Lune : nouvelle lune, premier quartier, pleine lune, dernier quartier. Les inviter à rédiger un compte rendu établissant un lien entre les aspects que prend la balle et les différentes phases d'éclairément de la Lune elle-même.



Vue du point A, la Lune est haute dans le ciel. Vue de B, au même moment, elle est plus proche de l'horizon

Faire tourner le globe pour montrer comment les heures du lever et du coucher de la Lune sont étroitement liées à la phase. Par exemple, dans le premier quartier, la Lune se lève vers midi, atteint la hauteur maximale dans le ciel au coucher du Soleil et se couche vers minuit.

Si votre ligne de visée passe par le point du globe correspondant à votre ville, vous pouvez simuler les positions relatives de la Lune et de l'horizon au lever et au coucher de la Lune (voir figure).

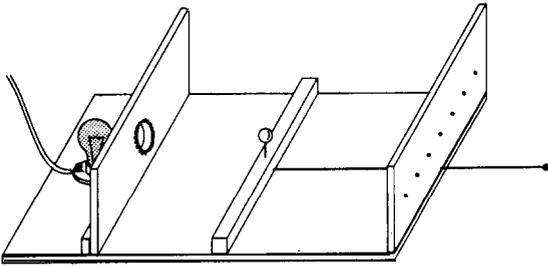
B. On peut expliquer les éclipses de lune avec le même dispositif. En plaçant la Lune dans l'ombre que projette le globe terrestre, on simule une éclipse de lune partielle ou totale. Si on place la Lune entre la lampe et le globe terrestre, son ombre sera projetée sur la Terre. En procédant ainsi, montrer qu'une éclipse de soleil n'est pas visible sur une aussi grande surface qu'une éclipse de lune (qu'on peut observer sur toute la moitié de la Terre qui est tournée vers la Lune). (Voir aussi les figures 4.84 et 4.85.)

Cette expérience peut donner lieu à des travaux pratiques. Tous les élèves pourront construire des maquettes en terre glaise de la Terre et de la Lune et les éclairer avec des lampes de poche.

4.96 Représentation des éclipses de soleil

Le Soleil est représenté par une ampoule électrique en verre satiné qui brille à travers un trou circulaire de 5 cm de diamètre pratiqué dans un morceau de carton noir. La couronne solaire est indiquée au crayon rouge autour de ce trou. La Lune est figurée par une bille de bois de 2,5 cm

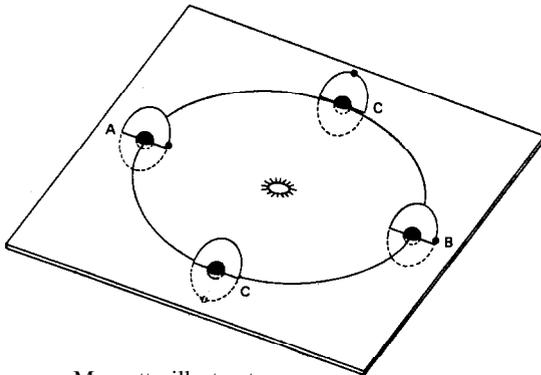
de diamètre, montée sur une aiguille à tricoter. On peut observer l'éclipse par l'un quelconque des trous percés avec une épingle dans un écran fixé devant l'appareil (voir figure). La couronne solaire ne devient visible que dans la position d'éclipse totale. On pourra régler la position de la Lune au moyen d'un gros fil de fer (rayon de bicyclette traversant le devant de l'appareil). (Voir aussi expérience 4.84.)



Représentation des éclipses de soleil

4.97 Pourquoi une éclipse ne se produit pas à chaque nouvelle lune et à chaque pleine lune

Construire le dispositif représenté ci-dessous en utilisant des disques de carton, des billes à jouer ou de roulements ou des boules en pâte à modeler

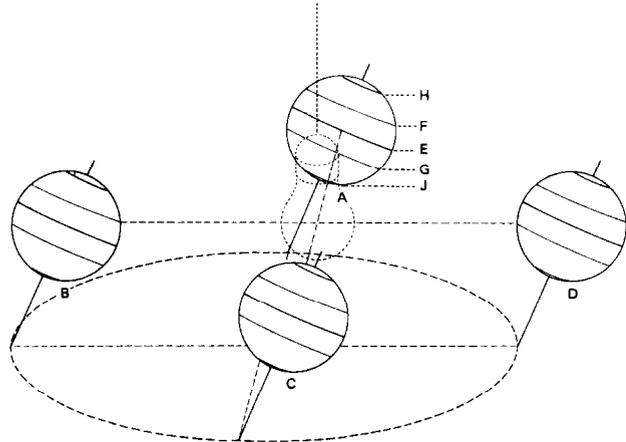


Maquette illustrant phénomène des éclipses
 a Éclipse de soleil
 b Éclipse de lune
 c Pas d'éclipse

pour représenter le Soleil, la Terre et la Lune. L'orbite de la Lune est suffisamment inclinée pour que la Lune passe en général plus haut ou plus bas que l'ombre de la Terre ou que la région comprise entre la Terre et le Soleil. Tous les demi-disques représentant l'orbite de la Lune sont inclinés dans la même direction. Il faudra sans doute exagérer l'inclinaison pour montrer clairement le phénomène. La feuille de carton qui représente le plan de l'orbite terrestre peut être munie de fentes dans lesquelles on place des disques complets représentant l'orbite de la Lune de façon qu'elle apparaisse au-dessus et au-dessous du plan.

4.98 L'origine des saisons

Prendre une balle de caoutchouc creuse, par exemple une balle de tennis, qui représentera la Terre. Faire passer à travers cette balle un fil



L'hiver et l'été

- A 20 mars
- B 21 juin
- C 23 septembre
- D 21 décembre
- E Équateur

- F Tropic du Cancer
- G Tropic du Capricorne
- H Cercle arctique
- J Cercle antarctique

de fer ou une aiguille à tricoter de 15 cm de long qui représentera l'axe de la Terre. Tracer sur une feuille de carton un cercle de 40 cm de diamètre qui représentera l'orbite terrestre.

Suspendre une lampe électrique à 15 cm environ au-dessus du centre de cette feuille pour représenter le Soleil. On peut utiliser également une bougie allumée. Placer successivement la balle représentant la Terre aux quatre points indiqués sur la figure, l'axe de la Terre faisant un angle de $23^{\circ} 5'$ environ avec la verticale. On observera quelle est la partie de la balle qui demeure toujours éclairée, quelles sont les parties qui reçoivent perpendiculairement les rayons du soleil, quel est, pour chacune des quatre positions, l'hémisphère où ces rayons tombent obliquement.

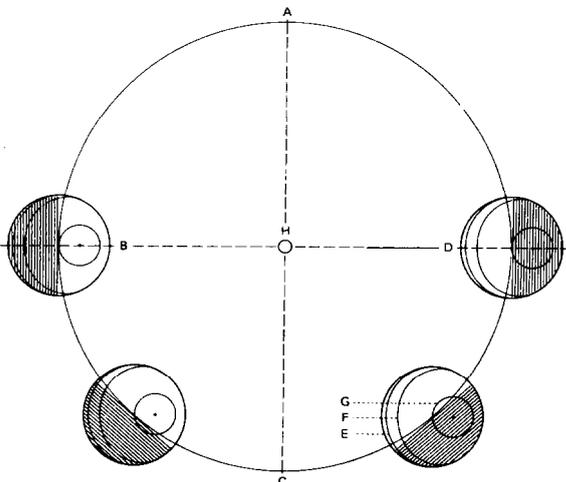
Répéter l'expérience en plaçant l'aiguille à tricoter perpendiculairement à la table, en chacun des quatre points, et observer ce qui se passerait si l'axe de la Terre n'était pas incliné. (Voir aussi expérience 4.70A.)

4.99 Pourquoi le jour et la nuit n'ont pas partout la même durée

Tracer un grand cercle qui représentera l'orbite terrestre. Tracer deux droites orthogonales passant par le centre. Au point d'intersection avec le cercle, inscrire, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, les lettres A; B, C et D correspondant respectivement au 20 mars, au 21 juin, au 23 septembre et au 21 décembre. Ce sont les

Différences de durée entre le jour et la nuit

A 20 mars	E Equateur
B 21 juin	F Tropicque du Cancer
C 23 septembre	G Cercle arctique
D 21 décembre	H Soleil



positions de la Terre par rapport au Soleil à ces dates. Tracer un petit cercle représentant la position de la Terre le 21 juin. Le pôle nord sera décentré d'environ un tiers de rayon vers le Soleil. Pour toute autre date ou position orbitale (qui peut être déterminée au moyen d'un rapporteur) le cercle représentant la Terre et le pôle auront la même orientation (voir figure). On peut indiquer le cercle arctique, le tropique du Cancer et l'équateur. Une droite passant par le centre de la Terre et perpendiculaire à la ligne Terre-Soleil marquera la limite entre le jour et l'obscurité.

A l'aide de cette figure, on peut estimer la durée de l'ensoleillement à différentes latitudes, à n'importe quelle date (par exemple, le 1^{er} août au cercle arctique, l'ensoleillement peut être estimé à environ 18 heures, mais à 6 heures seulement le 1^{er} novembre).

4.100 Influence de l'angle d'incidence des rayons solaires sur la quantité de chaleur et de lumière reçue par la Terre

Plier un morceau de carton de manière à obtenir un tube de section carrée de $2 \times 2 \times 35$ cm. Découper dans une feuille de carton très rigide une bande de 25 cm de long sur 2 cm de large. Coller cette bande sur un des côtés du tube en la faisant dépasser de 15 cm. Poser l'extrémité de la bande sur une table et donner au tube une inclinaison de 25° environ. Tenir une lampe électrique ou une bougie allumée à l'extrémité supérieure du tube et marquer sur la table le contour de la partie qui est éclairée à travers le tube. Répéter l'expérience avec le tube incliné à 15° environ, puis avec le tube dressé à la verticale. Comparer la dimension des trois taches lumineuses et calculer la surface de chacune d'elles. Montrer l'analogie entre cette expérience et la manière dont les rayons solaires tombent sur la surface de la Terre. La quantité de chaleur et de lumière reçue par unité de surface est-elle plus grande lorsque les rayons solaires sont obliques ou lorsqu'ils sont perpendiculaires?

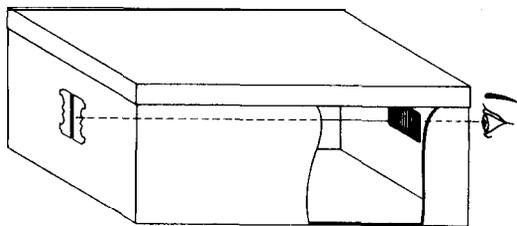
4.101 Comment construire un spectroscope pour l'analyse de la matière

En utilisant un instrument sensible, appelé

spectroscopie, les savants peuvent souvent analyser la composition de la matière située à grande distance. Le spectroscopie a été utilisé pour déterminer la composition du Soleil et d'autres étoiles, et l'atmosphère d'un grand nombre de planètes. Les astronautes de l'avenir utiliseront ce genre d'appareil pour analyser la composition chimique de leur environnement immédiat.

La lumière pénétrant dans un spectroscopie est décomposée par un réseau de diffraction pour former des bandes colorées qui constituent un spectre. Comme le spectre de chaque élément chimique contient certaines raies brillantes caractéristiques, le matériau peut ainsi être facilement identifié.

Pour fabriquer un spectroscopie, il faut une boîte à chaussures, un réseau de diffraction (voir les catalogues de fournitures scientifiques), un peu de ruban adhésif et une lame de rasoir à deux tranchants cassée en deux. Découper un trou d'environ 2 cm de diamètre au milieu d'un des petits côtés de la boîte. Avec de l'adhésif, fixer un morceau du réseau sur le trou à l'intérieur de la boîte. Découper une fente de 2,5 x 0,5 cm parallèle aux lignes du réseau au milieu de l'autre extrémité de la boîte. A l'extérieur de la boîte, placer sur cette fente une autre fente, plus étroite



Spectroscopie rudimentaire

réalisée avec les deux moitiés d'une lame de rasoir, les deux arêtes coupantes étant l'une en face de l'autre. Les deux moitiés sont maintenues en position et fixées à la boîte avec du ruban adhésif. La largeur de la fente doit être à peu près égale à l'épaisseur d'une lame de rasoir et on l'ajuste pour obtenir le résultat optimal (voir figure). A l'aide de ce spectroscopie, observer

divers gaz lumineux tels que le néon et l'argon dans des lampes ou des enseignes lumineuses. Noter les raies brillantes du spectre qui indiquent que chaque élément possède sa propre configuration (voir expérience 2.222).

Modèles et montages pour l'étude des sciences de l'espace

4.102 Action et réaction

Cette expérience peut servir d'introduction à l'étude des lois de Newton.

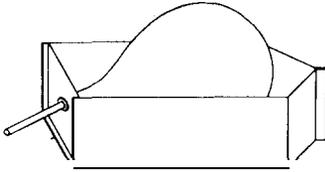
A. Un élève met des patins à roulettes et lance un gros ballon par-dessus sa tête à un autre élève. L'élève qui a les patins à roulettes se déplace-t-il? Dans quelle direction? Pourquoi? Faire la même expérience avec deux élèves qui ont mis des patins à roulettes et qui jouent à attraper la balle au vol. Que se passe-t-il? (Voir aussi expériences 2.249, 2.250, 2.251.)

B. Un ballon de baudruche peut servir à donner une idée du mode de propulsion d'une fusée. Demander à un élève de gonfler un ballon, de le tenir au-dessus de sa tête en maintenant l'extrémité fermée, puis de le lâcher. Demander aux élèves de décrire ce qui se passe.

On pourra ensuite demander aux élèves de gonfler un ballon et d'en nouer l'extrémité, puis de viser une cible et d'essayer de l'atteindre avec le ballon. En général, ils n'y parviennent pas parce que le ballon n'a pas de système de guidage. Leur demander de construire un empennage. Celui-ci modifiera l'équilibre du ballon et l'on pourra effectuer une correction en fixant autour de l'extrémité antérieure du ballon un ruban de caoutchouc auquel on pourra fixer un peu de lest sous forme, par exemple, d'attaches de bureau (« trombones »). Ainsi le ballon est équilibré et il possède un système de guidage. Les élèves peuvent-ils maintenant atteindre la cible?

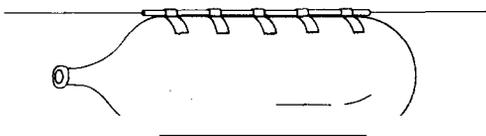
4.103 Comment construire des moteurs d'action

A. « Bateau » propulsé par un ballon. Couper en deux dans le sens de la longueur un carton ayant



contenu du lait et faire un trou dans le fond, près du bord. Placer ensuite un tube de verre dans le trou et, à l'aide d'un ruban de caoutchouc, attacher le ballon à l'extrémité du tube qui se trouve à l'intérieur (voir figure). Gonfler ensuite le ballon et placer le « bateau » dans un récipient assez grand rempli d'eau. Dégager l'extrémité libre du tube. Le bateau se déplace-t-il? Dans quelle direction? La vitesse est-elle différente si l'extrémité ouverte du tube de verre est sous la surface de l'eau? Si l'on ne dispose pas de carton analogue à celui de la figure, on peut utiliser une boîte à chaussures.

B. « Fusée » *propulsée par un ballon*. Un élève fixe, à l'aide de ruban adhésif, un chalumeau (une « paille » pour boissons fraîches) sur le côté d'un ballon assez long. Il fait ensuite passer un fil métallique mince dans le chalumeau (voir figure) et fixe une extrémité de ce fil à un poteau de clôture ou à une poignée de porte. Lui demander ensuite de tendre le fil et d'attacher l'autre extrémité à un objet situé à la même hauteur, à l'autre bout de la salle ou à une certaine distance. Après avoir gonflé le ballon, l'élève le libérera brusquement. Jusqu'où le ballon ira-t-il? Utiliser un seul type de ballon et essayer différentes quantités d'air. Chiffrer et porter sur un graphique les résultats obtenus en fonction des différents volumes d'air. Répéter l'expérience avec **des** ballons de formes différentes.

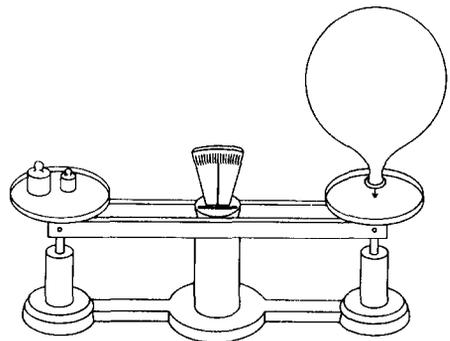


Les élèves imagineront peut-être d'autres types de machines dans lesquelles le principe de l'action et de la réaction est appliqué de façon plus efficace.

4.104 Comment faire constater le phénomène de poussée

A. Sur le terrain de jeux de l'école ou chez eux, les élèves peuvent commencer à comprendre la signification du mot « poussée » en éprouvant la poussée produite quand l'eau passe dans un tuyau d'arrosage. Au fur et à mesure que la quantité d'eau augmente le tuyau bouge plus fortement. Dans quelle direction? Fixer un arroseur rotatif au tuyau. Ouvrir progressivement le robinet d'eau. Observer la vitesse à laquelle tourne l'arroseur. Tourne-t-il plus vite ou plus lentement au fur et à mesure que la quantité d'eau augmente?

B. La poussée peut être mesurée à l'aide d'une balance (voir figure). Placer des poids (de 10 à 50 grammes) sur un plateau. Fixer solidement un ballon gonflé sur l'autre plateau et laisser l'air s'échapper contre le plateau. Quelle est la poussée en grammes que l'air exerce sur le plateau? (Voir aussi expériences 2.305 et 4.117.)



C. Les grandes fusées peuvent produire de 300 000 à 1 million de kilogrammes de poussée. Expliquer aux élèves que, si une fusée pèse 5 000 kg, cela signifie que l'attraction terrestre exerce sur cette fusée une force de 5 000 kg. Avant

que la fusée puisse s'élever, elle doit vaincre cette force qui l'attire vers le centre de la Terre. Par conséquent, la poussée de la fusée doit dépasser 5 000 kg. Parmi les fusées suivantes, quelle est celle qui atteindra la plus grande altitude? Pourquoi?

Poids	Poussée
500 000 kg	500 500 kg
500 000 kg	750 000 kg
500 000 kg	1 000 000 kg

4.105 Comment découvrir l'apesanteur

Pour étudier le mouvement d'un objet, il faut disposer d'un système de référence, c'est-à-dire de quelque chose par rapport à quoi il est possible de situer l'objet à tout moment. Pour de nombreuses expériences, le système de référence choisi est lié à la Terre (lorsqu'on étudie un objet qui tombe, par exemple). Dans un tel système de référence, la Terre est considérée comme fixe. Mais, si l'on veut étudier les changements saisonniers, mieux vaut un système de référence où le Soleil est fixe et où la Terre se déplace sur une orbite. On voit donc que la question de savoir si un objet se

déplace ou non dépend du système de référence choisi.

Non seulement la position, mais le poids d'un objet dépend du système de référence. L'expérience suivante permettra de mettre en évidence le phénomène d'apesanteur.

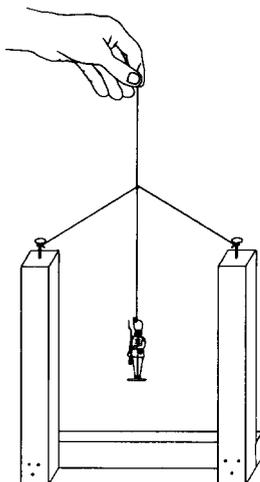
A. Assembler trois pièces de bois de la manière indiquée sur la figure; à l'extrémité supérieure des montants verticaux attacher sans la tendre une ficelle à laquelle est suspendu un soldat de plomb (ou tout autre objet). Soulever l'ensemble du dispositif et, lorsqu'il est immobile, lâcher la ficelle. Le soldat tombera, mais en restant dans la même position à l'intérieur du cadre. Puisqu'il n'est soutenu ni par la ficelle ni par le cadre, il est dans une condition d'apesanteur par rapport à ce qui l'entoure, c'est-à-dire par rapport au système de référence utilisé.

B. Le poids d'un objet dépend aussi du lieu où il se trouve. Mesuré dans un système de référence lié à la Terre, le poids d'un objet est identique à la force d'attraction de la Terre qui agit sur lui. Cette force - la pesanteur - décroît au fur et à mesure que l'objet s'éloigne de la Terre et finit par devenir négligeable.

Il convient de noter que c'est le poids de l'objet qui change et non sa masse. Celle-ci, qui est sa teneur en matière (mesurée en kg), ne change pas, sauf dans le cas de la physique relativiste, où les objets sont soumis à des vitesses approchant celles de la lumière.

Un astronaute dont la masse à la surface de la Terre est de 90 kg aura toujours la même masse à la surface de la Lune, mais son poids, qui est aussi de 90 kg à la surface de la Terre, ne sera que d'une quinzaine de kilogrammes à la surface de la Lune. Si l'on utilise les unités SI, la masse est m kg, mais le poids est mg Newton. Comme g sur la Lune est environ $1/6^e$ de g sur la Terre, le poids d'un homme sur la Lune sera le sixième de son poids sur la Terre (voir annexes 1 et 2).

C. Un vaisseau spatial sur son orbite se trouve encore dans le champ d'attraction de la Terre.



Son poids est exactement la force nécessaire pour maintenir le vaisseau en orbite. Cependant, dans un système de référence lié au vaisseau, les objets qui sont à l'intérieur du vaisseau n'ont pas de poids et, en exerçant une légère poussée contre la paroi de la cabine, un homme peut se propulser vers la paroi opposée.

Si l'on s'éloigne davantage de la Terre, la force de gravitation devient négligeable et le vaisseau spatial se déplacera selon une ligne droite, à moins qu'il ne soit soumis à des forces provenant de son propre moteur ou d'autres objets tels que la Lune (première loi de Newton). A l'extérieur du vaisseau spatial, un homme pourrait, s'il était complètement libre de se déplacer, se propulser dans n'importe quelle direction sans jamais revenir. Pour éviter une telle éventualité, des câbles de sécurité sont attachés aux combinaisons spatiales des astronautes qui travaillent dans l'espace.

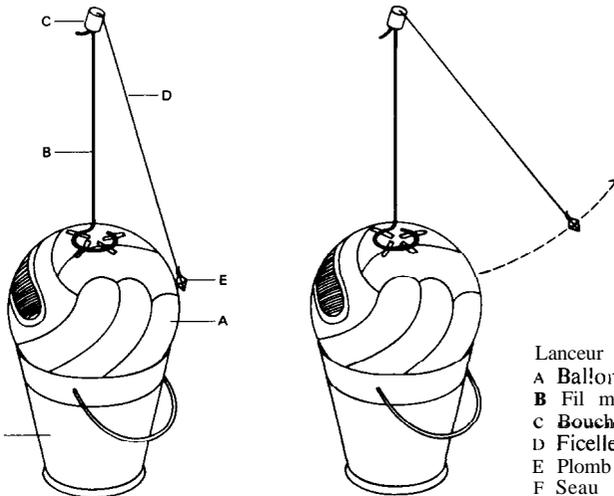
4.106 Un lanceur de satellites

Le matériel nécessaire pour cette expérience est le suivant : un seau, un ballon rond, une tige métallique légère (par exemple un cintre de teinturier), un plomb ou un poids, un morceau de ficelle et un bouchon de flacon (capuchon) en métal ou un objet quelconque de forme similaire.

Fixer solidement le ballon sur le dessus du seau. Plier la tige de telle sorte qu'elle soit rectiligne sur environ 30 cm, le reste étant incurvé pour former une base circulaire, comme il est indiqué sur la figure. En utilisant du ruban adhésif fort, fixer la partie circulaire sur le ballon de façon que la partie droite de 30 cm soit maintenue verticalement au sommet du ballon. Percer un trou au sommet du bouchon. Attacher le plomb ou le poids à une extrémité de la ficelle. Faire passer l'autre extrémité par le trou pratiqué dans le bouchon, dans le sens indiqué sur la figure, et l'attacher au sommet de la tige métallique, auquel le bouchon lui-même sera fixé par du ruban adhésif.

Expliquer que le ballon représente la Terre, et le plomb, le satellite. Une chiquenaude suffira à mettre celui-ci en mouvement dans n'importe quelle direction. Demander aux élèves de découvrir ce qui arrive quand le satellite est lancé de l'une des manières suivantes :

1. D'une chiquenaude, écarter le plomb de la surface du ballon comme il est indiqué sur la figure. Qu'arrive-t-il? (Le plomb s'élève, puis retombe à son point de départ. C'est de cette manière qu'un objet se déplace lorsqu'il est projeté à une faible vitesse, verticalement à partir de la surface de la Terre.)



2. D'une chiquenaude, écarter obliquement le plomb de la surface du ballon. Dessiner la trajectoire. (Le poids s'éloigne du ballon, puis retombe à une certaine distance de son point de départ. La distance parcourue dépend de l'angle de lancement et de la force de la chiquenaude.)
3. Procéder comme en 2, mais en donnant une impulsion plus forte. Tracer l'orbite. (Le poids s'écarte du ballon, tourne autour de lui et retombe. Bien entendu, une orbite complète repasse par le point de départ.)

Météorologie

Comment fabriquer des instruments et installer une station météorologique

Le temps qu'il fait est un sujet qui touche de très près la vie de l'enfant. Même avec de tout jeunes élèves, on peut procéder chaque jour à des observations. Avec ceux du niveau moyen, on pourra construire une station météorologique rudimentaire. A partir du moment où commence l'enseignement des sciences à proprement parler, les phénomènes météorologiques feront l'objet d'une étude plus détaillée. A tous les stades, on aura intérêt à représenter autant que possible les mesures et les observations sous forme graphique.

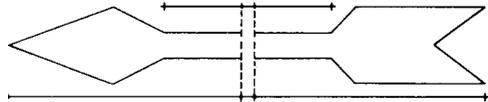
4.107 Comment fabriquer une girouette

La girouette sert à indiquer la direction du vent. On prendra un morceau de bois long de 25 cm environ et ayant 1 cm^2 de section, dont on fendra les deux extrémités par le milieu au moyen d'un double trait de scie, jusqu'à une profondeur de 6 cm.

Prendre ensuite une mince planchette, large de 10 cm, qui s'adapte exactement dans les fentes. Découper dans cette planchette deux morceaux de bois, dont l'un constituera la pointe d'une flèche, l'autre son empennage, comme il est indiqué sur la figure.

Insérer ces deux éléments dans les fentes de la partie médiane et les fixer soit avec de la colle, soit avec de petits clous.

Mettre ensuite la girouette en équilibre sur le tranchant d'un couteau et marquer sur la partie médiane le point correspondant à la position d'équilibre. Prendre le tube de verre d'un compte-gouttes médical et en obturer la pointe en la faisant tourner dans la flamme d'un réchaud à gaz ou à alcool. Au point d'équilibre de la girouette, percer dans le bois un trou d'une profondeur égale aux trois quarts environ de l'épaisseur du bois et d'un diamètre à peine supérieur à celui du tube du compte-gouttes. Introduire le tube de verre dans ce trou, la pointe tournée vers le haut et le fixer solidement avec de la colle ou du mastic.



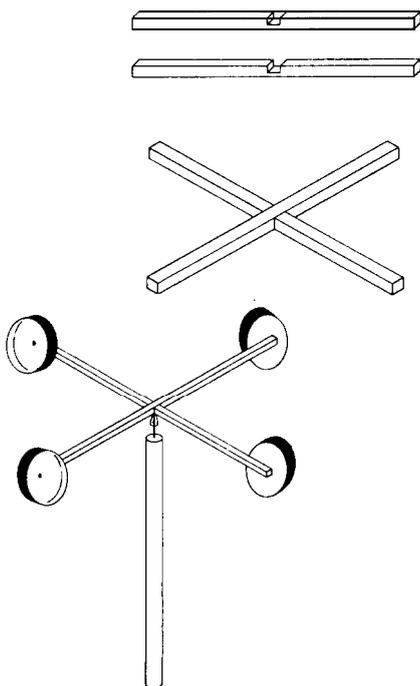
Comme support, on prendra une barre de bois tendre, longue d'un mètre environ, à l'extrémité supérieure de laquelle on enfoncera un petit clou. Aiguiser l'extrémité du clou avec une lime, l'introduire dans le compte-gouttes et monter la girouette sur un toit ou en haut d'un poteau où elle sera exposée à tous les vents. Ficher dans

le poteau deux gros fils de métal croisés à angle droit dont on recourbera les extrémités pour former les lettres N-E-S-O; on pourra aussi souder à l'extrémité de chaque croisillon de grandes lettres découpées dans de la tôle.

4.108 Comment mesurer la vitesse du vent

Prendre 2 baguettes de bois léger, longues de 50 cm environ et ayant une section carrée de 1 cm de côté. Pratiquer exactement au milieu de chacune d'elles une encoche de 1 cm de large et de 0,5 cm de profondeur. Assembler ensuite les deux baguettes comme il est indiqué sur la figure.

Prendre le tube de verre d'un compte-gouttes médical et en obturer la pointe en la faisant tourner dans la flamme d'un réchaud à gaz ou à alcool. Comme dans l'expérience précédente, creuser exactement au centre de la croix un trou d'une profondeur égale aux trois quarts environ de l'épaisseur du bois et y fixer le tube de compte-gouttes avec de la colle ou du mastic. Prendre 4 couvercles de boîtes cylindriques en métal ou



4 petites soucoupes en matière plastique et les clouer ou les visser à l'extrémité de chacun des bras de la croix en veillant à ce qu'ils aient tous la face concave tournée dans le même sens (voir figure). Préparer pour cet anémomètre (indicateur de la vitesse du vent) un support analogue à celui de la girouette. Planter un clou en haut de ce support et limer l'extrémité en pointe.

Cet anémomètre tournera sous l'action du vent. On aura une idée approximative de la vitesse horaire du vent, exprimée en kilomètres, en comptant le nombre de tours accomplis en 30 secondes et en divisant ce nombre par 3.

On peut aussi déterminer le rapport entre la vitesse du vent et le nombre de tours que fait l'anémomètre en roulant en automobile par un jour sans vent. Tenir l'anémomètre à la portière avant, demander au conducteur de rouler à 10 km à l'heure et compter le nombre de tours que fait l'anémomètre en 30 secondes. Répéter l'opération en demandant au conducteur d'aller à 15, 20, 25, 30, 40 km, etc., à l'heure. Il faudra monter l'anémomètre en un lieu exposé à tous les vents.

4.109 Comment construire un anémomètre à déflexion

Prendre une pièce de bois mesurant environ 25 x 2 x 1 cm. Faire, à une extrémité, un trait de scie dans lequel un rapporteur sera inséré. Fixer solidement le rapporteur avec un peu de colle. Avant que la colle soit prise, percer dans le bois un trou de 5 mm de diamètre traversant le centre du rapporteur. Plier un morceau de fil métallique assez rigide (portemanteau, par exemple) comme il est indiqué sur la figure et le faire passer dans le trou. Découper un morceau de carton mesurant 10 x 8 cm environ, et le fixer au fil métallique avec du ruban adhésif ou des agrafes. Noter que la fente pratiquée au milieu du morceau de carton doit être assez large pour permettre à celui-ci de pivoter autour du centre du rapporteur sous l'action du vent.

Mettre en équilibre cette partie de l'anémomètre sur l'arête d'une règle en fixant au besoin des vis à bois sur l'extrémité la plus légère. Au point d'équilibre, percer un trou assez grand pour pouvoir y introduire un tube de verre qui per-

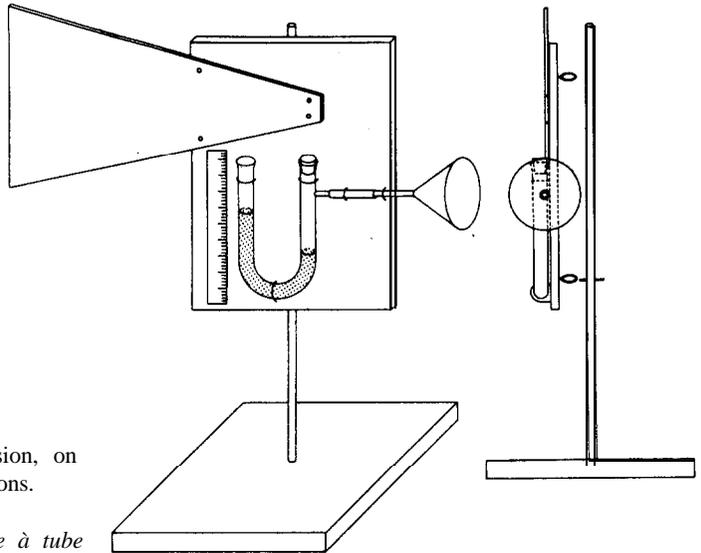
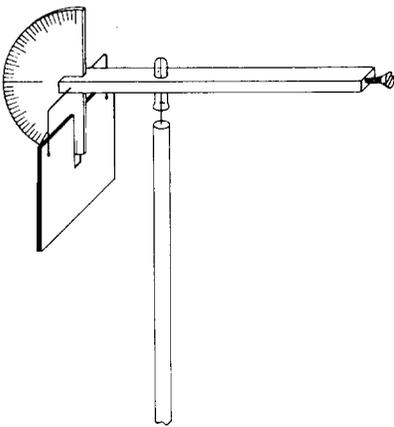
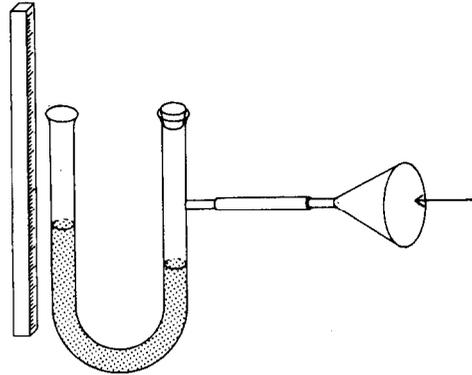
mettra à l'anémomètre de pivoter sur son support. Le pivot peut être réalisé de la manière suivante : placer dans une flamme l'extrémité d'un tube de verre jusqu'à ce que l'ouverture soit obturée. Après refroidissement, découper 3 cm de l'extrémité. On obtient quelque chose qui ressemble à la moitié d'une capsule médicale. Placer le pivot dans le trou et le maintenir solidement en place à l'aide de colle.

Enfoncer un clou dans l'extrémité d'un manche à balai ou une pièce de bois analogue; enlever la tête du clou et aiguiser la pointe avec une lime. Placer l'anémomètre sur ce clou, le fond du tube reposant sur l'extrémité du clou. Il doit pivoter librement et faire face au vent (voir figure).

Pour étalonner cet appareil, demandez à quelqu'un de vous emmener en automobile par un jour sans vent. Tenir l'anémomètre à la portière et quand la voiture roule à 10 km à l'heure, faire une marque sur le rapporteur à l'endroit atteint par le carton. Répéter l'opération pour des vitesses de 15, 20 et 25 km à l'heure. Bien qu'il

sur un tube en U près d'un ventilateur à trois vitesses.

Les élèves qui s'intéressent aux travaux manuels peuvent construire un instrument efficace. Un tube en U muni d'un entonnoir est fixé sur une planche comme on le voit sur la figure.



ne s'agisse pas d'un instrument de précision, on verra que les résultats obtenus sont très bons.

4.110 Comment construire un anémomètre à tube à pression

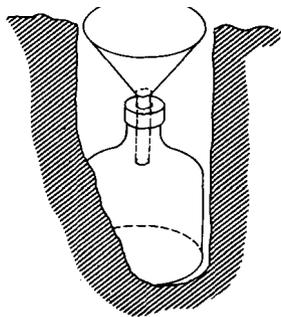
On peut démontrer le principe de fonctionnement de cet anémomètre en installant un entonnoir fixé

Anémomètre à tube à pression

Une ailette découpée dans du bois mince ou du métal est vissée sur la planche de la manière indiquée afin que la planche et, par conséquent, l'ouverture de l'entonnoir soient orientées dans la direction du vent. Une règle graduée, également fixée sur la planche, mesure la hauteur à laquelle l'eau s'élève dans les branches du tube. Deux pitons fermés sont fixés l'un au-dessus de l'autre derrière la planche et l'ensemble est embroché sur une tige de bois de section ronde fixée verticalement. Un clou traversant la tige au-dessous du piton inférieur empêche l'ensemble de glisser vers le bas. Graisser les points de contact entre les pitons et la tige avec de la vaseline ou un autre lubrifiant (la figure montre le profil de l'appareil avant montage).

La vitesse du vent est à peu près proportionnelle à la différence de hauteur entre les colonnes d'eau dans le tube en U. Au cours de l'étalonnage de l'instrument, on détermine par tâtonnements la quantité d'eau nécessaire dans le tube; lorsque celle-ci est connue, la quantité d'eau doit toujours être maintenue constante pour que l'instrument donne des mesures précises.

L'appareil peut être exposé à des températures inférieures à 0 °C si l'eau est remplacée par de l'alcool. Si une petite quantité de noir de fumée est placée dans l'eau, une tache annulaire à l'intérieur du tube indiquera la vitesse maximale du vent au cours de l'intervalle séparant deux lectures.

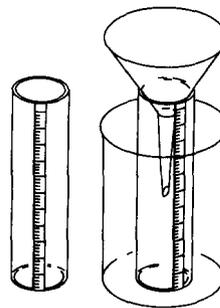


4.111A Pluviomètre rudimentaire

4.111 Comment réaliser un pluviomètre

A. *Pluviomètre rudimentaire.* Il est facile de construire un pluviomètre rudimentaire avec un entonnoir et une bouteille (voir figure); un tube gradué servira à mesurer le volume d'eau recueilli. Il est préférable que le haut de l'entonnoir ne soit pas trop évasé, ou qu'il se termine par un col vertical afin que les gouttes de pluie ne risquent pas de rejaillir à l'extérieur. L'appareil devra être enterré de manière que l'entonnoir dépasse le niveau du sol de quelques centimètres.

B. *Autre modèle de pluviomètre.* Prendre une boîte en fer-blanc mesurant une dizaine de centimètres de diamètre et une quinzaine de centimètres de hauteur. Se procurer ensuite un tube de verre cylindrique d'environ 3 cm de diamètre et d'au moins 25 cm de haut, pouvant être placé verticalement dans la boîte en fer-blanc (voir figure). Mettre cette boîte sur une table horizontale et y verser de l'eau jusqu'à ce qu'elle atteigne exactement une hauteur de 1 cm (mesurée à l'aide d'une règle graduée), coller une bande de papier d'environ 1 cm de large verticalement sur toute la hauteur du tube cylindrique. Verser dans le tube l'eau qui contient la boîte en fer-blanc et indiquer sur la bande de papier le niveau qu'elle atteint. Mesurer la distance entre le fond du tube et cette marque et reporter cette distance sur toute la longueur de la bande de papier jusqu'à son extré-



4.111B Autre modèle de pluviomètre

mité. Diviser chaque intervalle en dix parties égales qui représenteront chacune 1 mm de pluie. Le tube ainsi gradué permettra de mesurer de petites quantités d'eau de pluie.

Pour monter le pluviomètre, placer l'entonnoir sur le tube cylindrique et introduire celui-ci dans la boîte en fer-blanc. On installera ce pluviomètre dans un endroit découvert, mais où il ne risque pas d'être renversé.

Si la pluie est légère, elle sera recueillie et mesurée dans le tube. S'il s'agit d'une pluie violente, l'eau en excédent débordera dans la grande boîte et l'on pourra ensuite la mesurer en la versant dans le tube.

Il existe une meilleure façon de déterminer la hauteur des pluies : il faut graduer le tube d'après son propre rayon et le rayon de l'entonnoir collecteur en appliquant la formule suivante :

$$\text{Hauteur d'eau dans le tube pour chaque cm de pluie} = \left(\frac{\text{Rayon de l'entonnoir}}{\text{Rayon du tube}} \right)^2$$

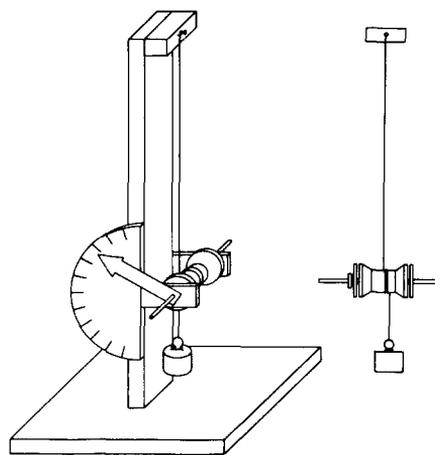
4.112 Comment construire un hygromètre à cheveu

Cet appareil permettra de lire directement le degré d'humidité relative sans avoir recours à un tableau.

Prendre quelques cheveux d'une trentaine de centimètres de long qu'on dégraisse dans une solution diluée de soude caustique. Attacher l'un des cheveux à l'extrémité supérieure d'un support et le tendre au moyen d'un poids de 50 g. Le cheveu doit faire deux ou trois fois le tour d'une bobine solidaire d'un axe qui tourne librement dans un palier fait de deux morceaux de fer-blanc fixés au support, au tiers environ de sa hauteur. L'appareil sera d'autant plus sensible que le diamètre de la bobine sera plus petit. Fixer sur l'axe une légère flèche indicatrice en bois léger (balsa); une échelle graduée sera faite au moyen d'un morceau de carton (carte postale, par exemple) découpé en demi-cercle (voir figure).

Les variations de l'humidité atmosphérique modifieront la longueur du cheveu et par conséquent la position de la flèche.

Pour graduer l'échelle, le mieux est de comparer l'appareil avec un hygromètre servant



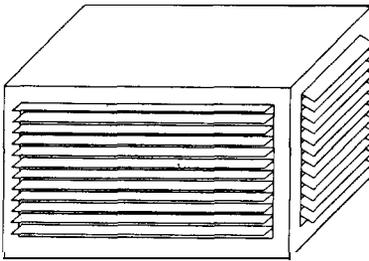
Hygromètre à cheveu

d'étalon. A défaut, placer l'appareil au-dessus d'un seau contenant un peu d'eau chaude et le recouvrir d'une serviette humide. Quand la flèche indicatrice aura atteint l'extrémité de sa course, marquer le point où elle se trouve et y inscrire le chiffre 100. (En effet, l'air que contient le seau est à ce moment saturé à 100 %.) On pourra marquer d'autres points de l'échelle en comparant l'hygromètre à cheveu avec un hygromètre à réservoir sec et mouillé (voir expérience 4.114). Le tableau de l'annexe 6 indiquera le degré d'humidité relative, qu'on reportera sur l'échelle graduée au point désigné par la flèche indicatrice. Quand on aura ainsi marqué trois ou quatre points de l'échelle, il suffira de diviser les intervalles en degrés égaux numérotés de 5 en 5, depuis 5 jusqu'à 100.

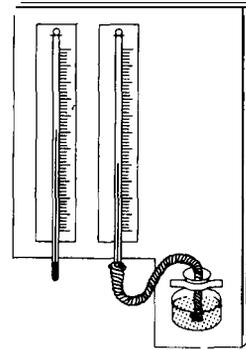
4.113 Comment construire un coffret de protection pour appareils météorologiques

Certains instruments météorologiques doivent être exposés à l'air libre; c'est notamment le cas de la girouette, de l'anémomètre et du pluviomètre. Il est bon d'en protéger les parties métalliques par une couche de graisse ou de peinture (la peinture aluminium donnera d'excellents résultats).

D'autres instruments tels que le baromètre, le thermomètre et l'hygromètre doivent être protégés de la pluie et du vent. A cet effet, on les rangera dans une caisse sans couvercle, couchée de telle façon que l'un de ses côtés fermés forme toit et l'autre plancher. Pour obtenir une meilleure protection, on fermera le côté ouvert et les deux extrémités par des panneaux à lames inclinées



du réservoir ou légèrement en dessous (voir figure). Remplir le flacon d'eau et veiller à ce qu'il reste plein. Avant de faire une lecture, activer la circulation de l'air autour du réservoir mouillé pendant une minute ou deux, au moyen, par exemple, d'un éventail. Pour déterminer l'humidité relative, consulter le tableau psychrométrique de l'annexe 6.



analogues à des persiennes, qui permettront l'entrée de l'air tout en abritant les instruments contre le vent et les précipitations.

4.114 Comment mesurer l'humidité relative

A. *Lepsychromètre*. On peut construire facilement un appareil de ce type, qui comprend un thermomètre à réservoir sec et un autre à réservoir mouillé. Deux thermomètres donnant des mesures identiques lorsqu'ils sont placés dans des conditions semblables sont fixés solidement sur une planchette. Avec un morceau de mousseline replié plusieurs fois sur lui-même et cousu, fabriquer une « chaussette » qui s'ajustera exactement sur le réservoir d'un des deux thermomètres. (On peut aussi acheter une mèche prête à être montée.) Fixer sur la planche un petit flacon muni d'un orifice étroit, de telle sorte que le sommet du flacon se trouve au même niveau que le sommet

B. *Lepsychromètre « à fronde »*. Si l'on ne possède pas d'appareil de ce genre, l'instrument décrit en A ci-dessus permet d'en fabriquer un. Percer un trou au milieu et en haut de la planche, y fixer une grosse ficelle et enlever le réservoir d'eau. Lorsqu'on fait tourner l'appareil dans l'air, le maximum d'évaporation se produit et des observations plus précises sont possibles. Ne faire tourner l'instrument qu'après s'être assuré que les thermomètres sont solidement fixés. Il faut montrer aux élèves comment opérer pour éviter qu'ils se frappent avec les thermomètres ou qu'ils les brisent contre une table, ce qui arrive souvent. Au moyen d'une table psychrométrique (annexe 6) calculer l'humidité relative de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la classe et expliquer les différences.

C. *Hygromètre à point de rosée*. Cet appareil comprend une coupe en métal très brillant et un

thermomètre de précision suspendu dans l'eau qui remplit partiellement la coupe. Maintenir le thermomètre dans la coupe au moyen d'une bague de crayon fixée sur le bord de la coupe. Mettre un cube de glace dans l'eau et agiter jusqu'à ce que des gouttelettes de condensation apparaissent à l'extérieur de la coupe. Lire immédiatement la température de l'eau refroidie (température du « point de rosée ») et la température atmosphérique. Utiliser la table de l'annexe 6 pour déterminer l'humidité relative. (Voir aussi expériences 4.112 et 4.134.)

Le vent et le temps

4.115 *L'air chauffé se dilate*

Pour montrer que l'air chauffé se dilate, fermer un flacon. aux parois minces avec un bouchon traversé par un tube d'une trentaine de centimètres. Plonger l'extrémité de ce tube dans un récipient qui contient de l'eau, chauffer le flacon et observer ce qui se passe. Continuer à chauffer jusqu'à ce qu'une grande quantité d'air ait été expulsée, puis refroidir le flacon en l'aspergeant d'eau froide ou en le frottant avec un morceau de glace. Qu'observe-t-on? Comment expliquer ce phénomène?

On peut aussi adapter un ballon de baudruche au goulot d'une petite bouteille et placer cette bouteille dans une casserole d'eau chaude. Qu'observe-t-on? Comment s'explique le phénomène?

L'air exerce une pression parce qu'il a une masse. Cette pression peut être mesurée par un baromètre. Les trois facteurs les plus importants qui déterminent la pression de l'air sont l'altitude, la température et l'humidité. (Voir aussi expérience 2.110.)

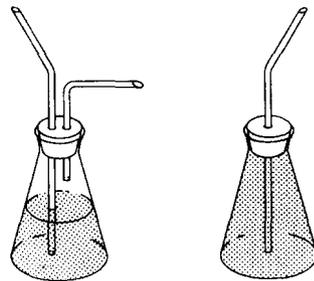
4.116 *L'air a une masse*

Le fait que l'atmosphère a une masse peut être démontré rapidement et d'une manière peu coûteuse avec un grand ballon que l'on gonfle entièrement et qu'on place sur le plateau d'une balance pour trouver sa masse. Enlever avec précaution le ballon sans bouger la balance ou les

pois. Dégonfler le ballon et le remettre sur la balance. Les élèves observeront que la balance n'est plus en équilibre et que le plateau contenant le ballon est plus léger. (On négligera l'effet de la poussée.) [Voir aussi expérience 2.304.]

4.117 *L'air exerce une pression*

La pression atmosphérique peut être mise en évidence de plusieurs façons. Par exemple, elle fait monter un liquide dans un chalumeau. Pré-



parer un flacon (ou une bouteille) muni d'un « chalumeau » de verre et d'un petit tube coudé à angle droit maintenu dans un bouchon en caoutchouc comme l'indique la figure. Quand l'extrémité du tube coudé est fermée avec le doigt, il est difficile de faire monter le liquide dans le chalumeau en aspirant, mais cela devient possible si l'on enlève le doigt. Pour démontrer que la pression à la surface de l'eau provoque l'ascension du liquide dans le tube, on pourra augmenter la pression en soufflant dans le tube coudé. Pour varier cette démonstration, on remplit complètement d'eau un flacon qu'on ferme avec un bouchon en caoutchouc traversé par un tube en verre. On demande à un élève de boire l'eau à l'aide du « chalumeau ». Si l'air est complètement chassé de la bouteille, il n'y parviendra pas. (Voir aussi expériences 2.305 et 4.104B.)

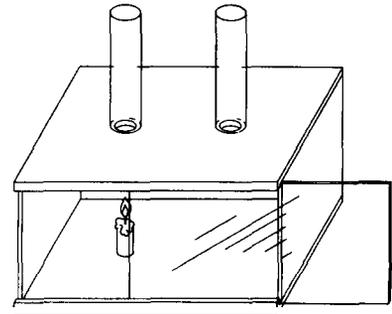
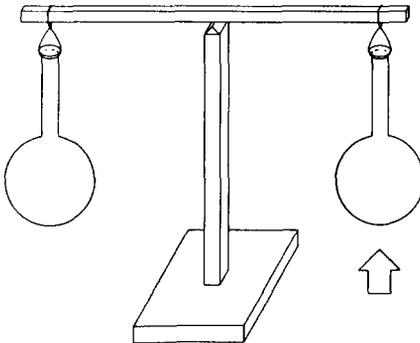
4.118 *L'air froid est plus lourd que l'air chaud*

A. Prendre deux sacs en papier de mêmes dimensions. Ouvrir les sacs et fixer un cordon d'une

vingtaine de centimètres au centre du fond de chaque sac, à l'aide d'un morceau de papier collant ou en perçant un trou dans lequel on fera passer le cordon, qui sera maintenu en place par un nœud. A l'extrémité libre de chaque cordon faire une boucle qui permettra de suspendre les sacs aux deux extrémités du fléau d'une balance. Déplacer les sacs jusqu'à ce que l'équilibre soit parfait. Chauffer assez fortement l'air sous l'un des deux sacs, à l'aide d'une bougie (celle-ci sera maintenue à une distance suffisante pour éviter d'enflammer le papier). Qu'observe-t-on? Laisser la balance en repos pendant quelques minutes. Que se passe-t-il? Chauffer ensuite l'air sous l'autre sac. Observer ce qui se passe. Comment expliquer ce phénomène?

B. On pourra essayer de répéter l'expérience en employant, au lieu de sacs en papier, des ballons de verre fixés par une boucle de la manière indiquée sur la figure. Déplacer les ballons jusqu'à ce que l'équilibre soit parfait et chauffer doucement l'un des deux ballons. Observer l'effet. Laisser

montrera pourquoi le vent souffle. Pour cela, prendre une caisse en bois ou une boîte en carton; la munir d'une fenêtre à peu près hermétique à l'aide de verre à vitre. Une boîte à craie en bon état avec couvercle à glissière conviendra très bien. Il suffira de remplacer le couvercle par une plaque de verre coupée aux dimensions voulues pour qu'elle puisse glisser dans les rainures (voir figure). Près de chaque extrémité de l'un des grands côtés de la boîte, percer un trou de 2,5 à 3 cm de diamètre. Poser la boîte sur la face opposée et placer au-dessus des trous deux verres de lampe (ou, à défaut, deux tubes en carton d'environ 15 cm de long). Sur le « plancher » de la boîte, juste au-dessous de l'un des trous, placer un petit morceau de bougie qu'on allumera et qui représentera une région du globe qui a été chauffée par le soleil. Fermer la fenêtre et approcher de l'ouverture de chaque verre de lampe un morceau de papier fumant pour déceler le sens du courant d'air. Observer le mouvement de l'air à l'intérieur de la boîte. Placer la bougie sous l'autre verre de lampe et répéter l'opération. Qu'observe-t-on?



refroidir à la température ambiante. Observer, puis chauffer l'autre ballon. Des ballons faits avec de vieilles ampoules électriques conviennent très bien pour cette expérience.

4.119 Comment fabriquer une boîte à convection
Il est facile de construire un petit appareil qui

Comment expliquer le phénomène? On est ici en présence d'un courant de convection. (Voir aussi expérience 2.128.)

4.120 Comment suivre le trajet des courants de convection

A. Prendre une bougie allumée, la protéger des

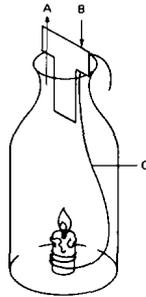
courants d'air ambiant et mettre en évidence, à l'aide d'un papier fumant, le parcours des courants d'air qui l'entourent.

B. Entrebâiller une porte séparant une pièce chauffée d'une pièce froide. A l'aide d'un morceau de papier fumant, étudier les courants d'air qui se forment près de la porte à diverses distances du sol.

C. Étudier, si possible, les courants d'air qui s'établissent dans une pièce chauffée par un radiateur ou par un poêle.

D. Étudier, si possible, les courants d'air qui se forment dans une pièce aérée par des fenêtres (à guillemets) ouvertes en haut et en bas.

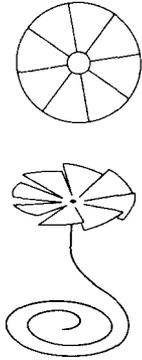
E. Au moyen d'un fil de fer, introduire une bougie allumée dans une bouteille à lait et observer ce qui se passe. Ventiler la bouteille avec de l'air frais. Placer à nouveau la bougie allumée dans la bouteille, mais, cette fois, séparer les cou-



Courants de convection
A L'air chaud monte
B L'air frais descend
c Fil de fer

rants d'air chaud et d'air froid au moyen d'un morceau de carton découpé en forme de T (voir figure). A l'aide d'un papier fumant, étudier les courants d'air qui se forment de part et d'autre du carton.

F. Découper, dans le couvercle d'une boîte à conserves, un disque de métal, au centre duquel on obtiendra par emboutissage une petite dépression. Former des pales en cisillant le disque



Les courants de convection font tourner une hélice

presque jusqu'au centre suivant des rayons équidistants et tordre légèrement les pales, toutes dans le même sens. Poser l'hélice ainsi obtenue sur la pointe d'un fil de fer disposé de la manière indiquée sur la figure et placer le tout au-dessus d'une bougie ou d'une autre source de chaleur. Si elle est bien faite, l'hélice tournera également lorsqu'on la placera au-dessus d'un radiateur ou d'une lampe électrique allumée. (Voir aussi expérience 2.127.)

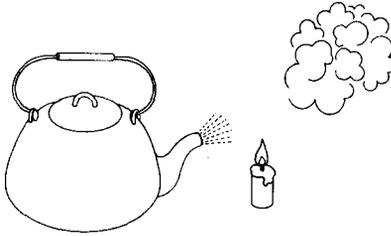
G. On peut fabriquer une hélice plus sensible à l'aide d'une capsule métallique de bouteille à lait. Placer la capsule sur une feuille de papier buvard, côté plat contre la feuille. Appuyer la pointe d'un stylo à bille au centre de la capsule pour y faire une petite dépression. Découper des « pétales » dans le bord recourbé de manière à former les pales d'une turbine. Poser la capsule sur la pointe d'un fil de fer ou sur une aiguille piquée dans un bouchon.

Comment l'air se charge d'humidité

4.121 L'humidité atmosphérique

L'humidité atmosphérique est invisible. On peut le démontrer de la manière suivante.

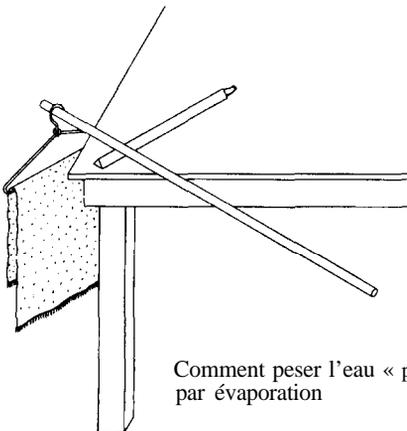
Mettre sur le feu une bouilloire ou un récipient analogue contenant un peu d'eau. Si l'on n'a pas de bouilloire, fermer un petit ballon de verre à l'aide d'un bouchon traversé par un tube de verre coudé à angle droit. Mettre un peu d'eau



dans le ballon et le placer au-dessus d'une flamme. Lorsque l'eau bout et que la vapeur s'échappe du bec, observer le nuage qui se forme. Il est fait non de vapeur, mais d'eau condensée. Observer l'espace voisin du bec quand la vapeur s'échappe. Peut-on la voir? Tenir ensuite une bougie ou un bec Bunsen au milieu du nuage de vapeur condensée (voir figure). Qu'observe-t-on? Où se trouve l'humidité?

4.122 *Comment peser l'eau « perdue » par évaporation*

Mouiller une serviette éponge, puis la tordre et la suspendre à un cintre qu'on accrochera à une des extrémités d'un long bâton placé en équilibre sur une lime à section triangulaire au coin d'une table. Observer la serviette une heure après. Pourquoi a-t-elle perdu du poids? Où l'eau est-elle allée? Accrocher des poids sur le cintre jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. Quelle est la quantité d'eau qui s'est évaporée?



Comment peser l'eau « perdue » par évaporation

4.123 *Le sol dégage de l'humidité*

Remplir un pot à fleurs de terre humide et le placer sur une balance. L'équilibrer avec des poids ou noter combien il pèse. Noter de nouveau son poids 24 heures plus tard.

4.124 *Les plantes d'appartement dégagent de l'humidité*

Recouvrir une feuille d'une plante d'appartement ou de jardin avec un sac de cellophane ou de matière plastique dont on ligature l'ouverture autour de la tige au moyen d'un élastique. Observer le sac une heure plus tard. Que remarque-t-on? Quelle est l'origine de l'humidité?

4.125 *Les autres plantes dégagent de l'humidité*

Semer dans un pot à fleurs quelques graines de haricot ou de pois et laisser pousser les plants jusqu'à ce qu'ils aient 10 ou 15 cm de haut. Envelopper la partie supérieure du pot dans une feuille de cellophane ou de matière plastique qu'on repliera soigneusement autour des tiges de manière à recouvrir toute la terre, mais non les plantes. Placer sur le tout un bocal de verre propre et sec, de façon à coiffer les plantes, et observer ce qui s'est passé au bout d'une heure. Que remarque-t-on? D'où provient l'humidité?

4.126 *Humidité dégagée par la respiration*

On peut déceler l'humidité que produit la respiration en soufflant sur la surface froide d'un miroir, d'un verre ou d'une bouteille.

4.127 *Le taux d'évaporation dépend de la surface*

Remplir à moitié d'eau un grand plat peu profond, tel qu'un moule à gâteau. Mettre la même quantité d'eau dans un récipient profond dont le diamètre est plus petit que celui du plat. Placer les deux récipients côte à côte en un lieu où ils sont soumis aux mêmes températures et mouvements de l'air. Le lendemain, mesurer la quantité d'eau que contient chaque récipient. D'où provient la différence d'évaporation?

4.128 *Le taux d'évaporation dépend de la température*

Chauffer à la bougie ou au soleil une partie d'un

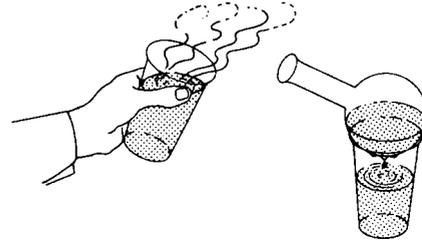
tableau noir ou d'une ardoise placés horizontalement. Déposer des gouttes d'eau de même dimension sur cette surface chauffée et sur une surface froide. Regarder les gouttes et observer ce qui se produit.

4.129 *Le taux d'évaporation dépend des mouvements de l'air*

A l'aide d'une éponge ou d'un chiffon humide, faire deux taches d'humidité de même dimension à une certaine distance l'une de l'autre sur un tableau noir froid. Éventer l'une des taches avec un morceau de carton et laisser l'autre s'évaporer toute seule. Pourquoi l'évaporation est-elle plus rapide dans un cas que dans l'autre?

4.130 *Le taux d'évaporation dépend de l'humidité atmosphérique*

Fixer un morceau de tissu sur un cercle ou un cadre de bois d'une épaisseur de 3 cm environ de façon à obtenir une surface d'à peu près 30 cm². Mouiller le tissu. A l'aide d'une éponge ou d'un chiffon, faire ensuite deux taches d'humidité sur un tableau noir froid. Sur l'une de ces taches, poser le cadre recouvert du tissu humide et laisser l'autre à l'air libre. Quelques instants plus tard observer les deux taches. Laquelle des deux a séché le plus vite? Quelle influence l'air humide (emprisonné sous le cadre) exerce-t-il sur le taux d'évaporation?



posera sur le verre en l'inclinant comme le montre la figure. La vapeur qui monte de l'eau chaude se condensera sur la surface froide du ballon et retombera en gouttelettes dans le verre. Évaporation, condensation et précipitation reconstituent ainsi le cycle de l'eau tel qu'il existe dans la nature.

4.133 *Comment reproduire le cycle de la pluie*

Poser sur une table une caissette contenant de jeunes plants. A 35 ou 40 cm au-dessus de cette caissette, placer un plateau de métal monté sur un support et le remplir de morceaux de glace. Placer une bouilloire ou un ballon contenant de l'eau au-dessus d'une source de chaleur, de telle sorte que la vapeur passe sous le plateau (voir figure). Le dispositif est maintenant en place pour étudier le cycle de la pluie. La bouilloire (ou le ballon) joue en tant que source d'eau le rôle de la terre. L'eau s'évapore et s'élève jusqu'au plateau frais qui représente les couches supérieures froides de

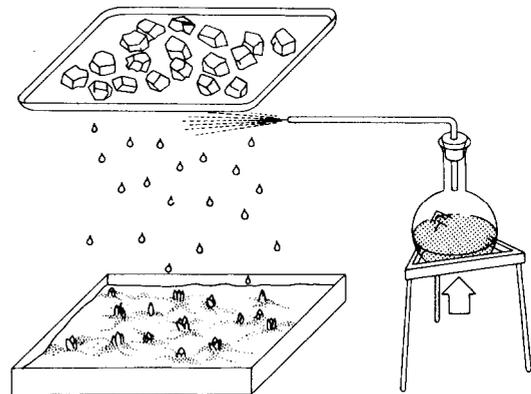
Comment l'air perd son humidité

4.131 *L'humidité se condense sur les surfaces froides*

Mettre un peu de glace dans une boîte en fer-blanc brillant. Au bout d'un moment observer l'extérieur de la boîte. Que remarque-t-on? Quelle en est l'origine?

4.132 *Le cycle de l'eau*

Chauffer un peu d'eau jusqu'à ce qu'elle soit sur le point de bouillir. La mettre dans un verre qu'on fera tourner en l'inclinant de façon à en humecter les parois jusqu'au bord. Verser de l'eau très froide dans un récipient de verre rond qu'on



l'atmosphère terrestre, refroidies par détente. Là, l'humidité se condense sur le plateau et retombe en pluie sur les plants.

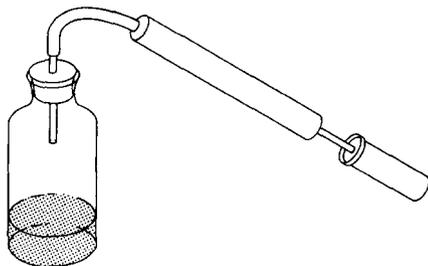
4.134 *Température du point de rosée*

On peut mesurer la température du point de rosée à l'aide d'une boîte en fer-blanc brillant contenant un peu d'eau, d'un thermomètre et d'un peu de glace. La température du point de rosée, déterminée par l'observation, constitue une donnée importante en météorologie : c'est la température à laquelle l'humidité de l'air commence à se condenser, et elle varie d'un jour à l'autre.

Faire en sorte que l'extérieur de la boîte soit propre et dépourvu de traces de doigts. Placer la boîte sur une feuille de journal de façon que les caractères imprimés soient clairement reflétés par la boîte. Ajouter peu à peu de la glace dans l'eau et agitez soigneusement avec le thermomètre en observant celui-ci attentivement. Noter à quelle température la condensation commence à se former sur l'extérieur de la boîte : c'est au moment où les caractères ne seront plus nettement visibles. Ce sera approximativement la température du point de rosée. (Voir aussi expérience 4.114.)

4.135 *Un nuage dans une bouteille*

Prendre une grande bouteille et la fermer au moyen d'un bouchon de caoutchouc traversé par un tube en verre d'une dizaine de centimètres. Mettre de l'eau chaude dans la bouteille jusqu'à une hauteur de 2 ou 3 cm et ajouter un peu de poudre de craie à l'eau contenue dans la bouteille. Avec un tuyau de caoutchouc raccorder le

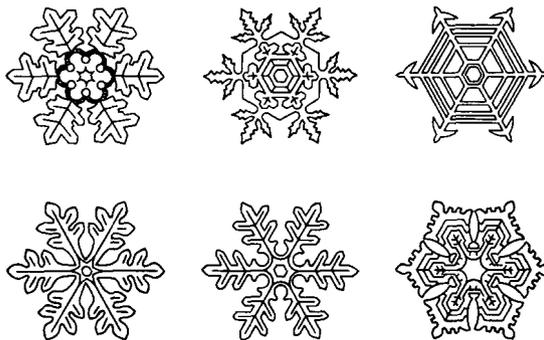


tube de verre à une pompe à bicyclette. Maintenir le bouchon en place avec la main et demander à un élève de pomper de l'air dans la bouteille. Quand la compression est suffisante, laisser sauter le bouchon et observer ce qui se passe. Si l'on n'obtient pas un nuage satisfaisant, envoyer un peu de fumée dans la bouteille à l'aide d'une allumette à moitié éteinte ou d'un morceau de papier fumant.

En se détendant l'air se refroidit et abaisse la température intérieure de la bouteille au-dessous du point de rosée. L'humidité se condense alors sous forme de nuage. De même, quand l'air chaud s'élève au-dessus de la terre, il est soumis à une pression atmosphérique décroissante, il se détend, se refroidit et des nuages se forment quand sa température tombe au-dessous du point de rosée.

4.136 *Comment étudier des flocons de neige*

S'il y a des chutes de neige dans la région, recueillir quelques flocons sur un chiffon de laine de



couleur sombre et les observer à la loupe (voir figure). On constatera que si leur aspect est extrêmement varié, leur structure est toujours hexagonale. Les flocons de neige sont une des plus belles choses qu'on puisse voir dans la nature.

Travaux pratiques

4.137 *Journal météo*

On pourra noter, en les présentant sous forme de

tableau, la date, l'heure, la température, l'état du ciel et les caractéristiques du vent. Les observations doivent être faites chaque jour à la même heure. Les données peuvent être portées dans un cahier sous les rubriques suivantes :

Date	Heure	Température	État du ciel	Vent	Pluie
------	-------	-------------	--------------	------	-------

On peut obtenir d'utiles renseignements en faisant des graphiques température/heure, pluie/heure, changement d'aspect du ciel sur un certain laps de temps ainsi que changement de l'intensité du vent.

On peut se contenter de notations approximatives, sauf si le journal est établi à des fins officielles, auquel cas les signes conventionnels internationaux doivent être utilisés. Si l'on ne dispose pas de thermomètre, on notera, par exemple : très chaud, chaud, modéré, frais, froid, très froid. On pourra aussi consigner les variations de la vitesse du vent :

Petite brise. Entraîne la fumée sans agir sur les girouettes.

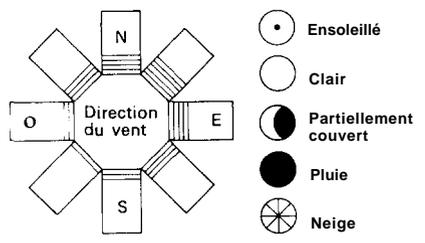
Vent modéré. Soulève un peu de poussière et remue légèrement le feuillage des arbres.

Vent fort. Agite les grosses branches.

Vent très fort. Soulève beaucoup de poussière, emporte des papiers et secoue fortement les arbres.

Tempête. Peut casser les petits branches des arbres.

La direction du vent peut être indiquée au moyen d'une flèche dans la colonne appropriée; il est possible aussi de fabriquer une étoile en papier du genre de celle qui est représentée sur la figure

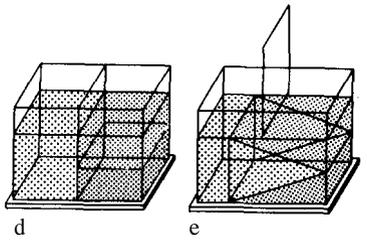
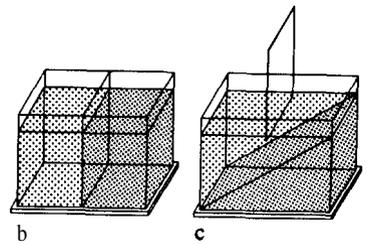
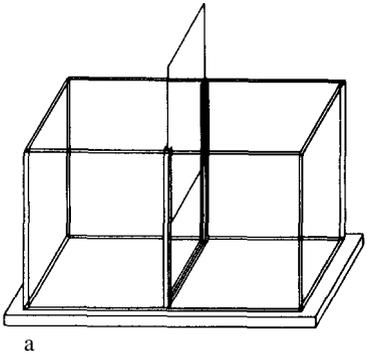


et de tirer chaque jour un trait sur la branche dont la direction coïncide le mieux avec celle d'où vient le vent. Les autres symboles peuvent être utilisés pour indiquer les conditions générales.

4.138 Comment réaliser des « fronts » en miniature

La démonstration ci-après peut servir à expliquer ce qui arrive quand une masse d'air froid rencontre une masse d'air chaud et que des « fronts » se forment. Les instructions données ci-dessous doivent être suivies exactement et l'aquarium doit être préparé avec beaucoup de soin.

a) Préparer un aquarium (de n'importe quelles dimensions) en collant des nervures plastiques,



analogues à celles qui entourent les pochettes en acétate, sur le fond et les côtés de l'aquarium. Les pochettes sont du genre de celles qu'utilisent les étudiants pour rassembler leurs notes et elles peuvent être achetées dans une papeterie. Au moyen d'une colle pour matière plastique fixer les nervures à l'intérieur des parois et au fond de l'aquarium. On forme ainsi des rainures étanches à l'eau dans lesquelles une cloison en verre peut être insérée. Des guides en métal tenus en place par du mastic peuvent être utilisés au lieu des nervures en plastique. Fabriquer une cloison en verre d'une dimension suffisante pour quelle s'enfonce bien dans les rainures en matière plastique, mais puisse y glisser verticalement (voir figure *a* ci-dessous).

b) Mettre de l'eau chaude dans un compartiment et de l'eau froide dans l'autre. Ajouter à l'eau chaude un colorant rouge et à l'eau froide un colorant bleu et un peu de sel.

c) Enlever la cloison : la teinte bleue (représentant une masse d'air froid) descendra au fond de l'aquarium et la teinte rouge représentant une masse d'air chaud restera en haut. Des striures se produiront et les couleurs ne se mélangeront pas beaucoup.

d) Pour mettre en évidence la formation d'un « front occlus », remettre en place la cloison. Agiter doucement l'eau d'un compartiment (représentant la « masse intermédiaire »).

e) Enlever la cloison. La masse intermédiaire s'introduira entre la couche chaude et la couche froide, et il se formera ainsi trois couches distinctes.

On peut faire toutes sortes de recherches pour tenter de répondre aux questions posées par les élèves, par exemple : Qu'arrivera-t-il si on n'utilise pas de sel? Qu'arrivera-t-il si les deux eaux colorées sont à la même température? Quelle est la différence de température entre les deux (ou les trois) masses d'eau?

4.139 *Comment mesurer la vitesse des vents éloignés du sol*

Les matériaux nécessaires sont les suivants : un ballon rempli d'un gaz plus léger que l'air, deux rapporteurs, un mètre, une pièce de bois de

40 x 2 x 2 cm, un poids, quelques punaises, une montre avec une aiguille des secondes et une bobine de fil blanc.

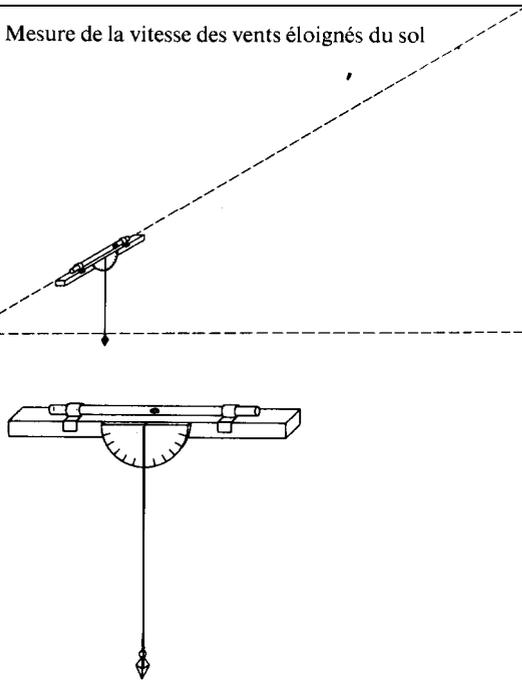
On procédera comme suit : fixer au moyen d'une punaise un rapporteur sur le côté de la pièce de bois de la manière indiquée par la figure; le bord rectiligne du rapporteur doit être parallèle à l'arête de la pièce de bois. Accrocher le poids à un morceau de ficelle attaché au centre du rapporteur : il servira de fil à plomb. (Un tube long, droit et mince, fixé sur la pièce de bois, dans le sens de la longueur, améliorera le dispositif de visée.) On dispose maintenant d'une lunette de visée rudimentaire faisant office de théodolite.

Quand le fil à plomb indique 90° sur le rapporteur, la lunette de visée est horizontale. Quand il indique 80° , la lunette est inclinée à 10° . L'angle indiqué sur le rapporteur doit être retranché de 90° pour trouver l'inclinaison de la lunette.

Il est utile d'apprendre aux élèves à se servir de la lunette dans la classe. Demander à un élève de se tenir à une distance de 3 à 5 mètres du mur de la classe et de trouver, de là, l'angle que sa ligne de visée dirigée sur le sommet du mur fait avec l'horizontale. Il peut y parvenir en cherchant de combien de degrés au-dessus de l'horizontale le tube doit être élevé pour viser le sommet du mur. Sur un papier quadrillé, l'élève mesurera horizontalement le nombre d'unités équivalant à la distance où la lunette se trouve par rapport au mur. A l'extrémité de cette distance horizontale, il reportera l'angle d'élévation indiqué par la lunette. Sur son croquis (à l'échelle), la distance par rapport au mur et l'angle d'élévation permettront de trouver la hauteur du plafond au-dessus de l'axe optique. Par exemple, si un élève se tient à 7 mètres du mur et trouve que le sommet du mur est à 30° au-dessus de l'horizontale (60° sur le rapporteur), le plafond sera à 3,50 mètres environ au-dessus de l'axe optique. Pour trouver la hauteur de la salle, on ajoute aux 3,50 mètres la taille de l'enfant jusqu'à ses yeux.

On attache ensuite une longue ficelle au ballon rempli de gaz pour pouvoir le ramener vers le sol si on le libère dans une salle à plafond élevé. Tirer le ballon jusqu'au plancher, le libérer et mesurer le temps qu'il lui faut pour atteindre le plafond.

Mesure de la vitesse des vents éloignés du sol



4.140 Comment réaliser une image hygroscopique
Plonger un morceau de buvard blanc dans une solution contenant deux volumes de chlorure de cobalt pour un volume de sel ordinaire. Tant que ce papier sera humide, il restera rose mais, séché au soleil ou à proximité d'un bec Bunsen, il bleuirait. Tel est le principe des images hygroscopiques.

On peut en fabriquer une soi-même de la manière suivante : on se procure une image comprenant un coin de ciel ou une étendue d'eau, qu'on remplace par du buvard traité comme il est indiqué ci-dessus. Monter ensuite cette image sur une feuille de carton et la suspendre près d'une fenêtre où elle réagira rapidement aux variations de l'humidité.

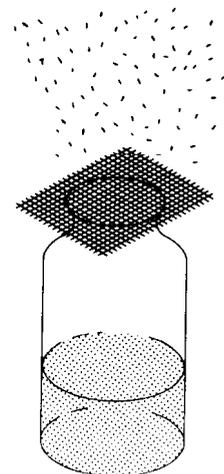
4.141 Comment mesurer la quantité de poussière présente dans l'air

Pour mesurer la quantité de poussière qui tombe dans la localité où l'on se trouve, on utilisera au moins 3 bocaux de verre à grande ouverture d'une capacité de 5 litres. Il faut aussi 10 litres d'eau distillée. (L'eau du robinet peut contenir des petites particules qui perturberaient les mesures.) Il faut encore un récipient de 2 ou 3 litres que l'on peut chauffer sans risque (une casserole, par exemple). Enfin, il faut une balance permettant de peser des objets au centigramme ou au milligramme près.

Opérer plusieurs fois et faire la moyenne des résultats notés. Diviser la hauteur du plafond par la durée d'ascension du ballon pour trouver sa vitesse ascensionnelle.

Les élèves peuvent maintenant utiliser le ballon à l'extérieur pour mesurer la vitesse des vents éloignés du sol. Les tâches sont réparties comme suit entre les enfants : a) suivre le ballon au moyen du tube de visée; b) lire l'angle du fil à plomb toutes les 30 secondes; c) chronométrer en donnant le « top » toutes les 30 secondes à l'élève chargé de faire les lectures d'angle; d) noter le temps écoulé et l'angle de visée à la fin de chaque intervalle de temps.

Quand les données recueillies pendant quelques minutes ont été enregistrées, la position du ballon à la fin de chaque intervalle de 30 secondes peut être inscrite sur un graphique. Le mouvement horizontal du ballon peut ensuite être mesuré en utilisant la même échelle pour la distance verticale et la distance horizontale.



S'assurer que les bocaux sont propres. Les rincer avec un peu d'eau distillée. Verser ensuite 1,5 litre d'eau distillée dans chaque bocal. Marquer le niveau atteint par l'eau avec du vernis à ongle, un trait de lime ou toute autre marque qui résistera à la pluie. Couvrir le sommet du bocal avec un treillage métallique pour empêcher les insectes d'y pénétrer. Placer les bocaux à l'extérieur, dans des endroits différents. Ils doivent être disposés à environ 1,5 mètre du sol, mais pas sous des arbres ou contre les bâtiments.

Laisser les bocaux en place pendant 30 jours. Les examiner de temps à autre et ajouter de l'eau distillée pour rétablir le niveau (si l'eau s'évapore, le vent pourra enlever la poussière). Il est possible que la pluie tombe dans le bocal, mais cela n'est grave que si le bocal déborde : dans ce cas, il faudra répéter l'expérience.

Après 30 jours, ramener les bocaux à l'intérieur. Pour trouver la quantité de poussière qui se trouve dans chaque bocal, peser d'abord la casserole ou le récipient vide sur la balance et noter le résultat; verser ensuite l'eau du bocal dans le récipient. Rincer le bocal à l'eau distillée en s'assurant que toutes les particules de poussière ont été enlevées, puis chauffer le récipient jusqu'à ce que toute l'eau se soit évaporée. Ne pas trop chauffer pour éviter de brûler la poussière.

Laisser refroidir le récipient, puis le peser sur une balance. Le poids de la poussière seule peut être trouvé en retranchant du total le poids du récipient qui avait été noté auparavant. Si la balance ne pèse qu'en centigrammes, multiplier le poids de la poussière par dix pour qu'il soit exprimé en milligrammes.

Les chiffres obtenus indiquent seulement le nombre de milligrammes de poussière qui ont pénétré dans le bocal pendant un mois. Pour savoir à combien de tonnes métriques par kilomètre carré le chiffre équivaut, mesurer d'abord la superficie de l'orifice du bocal en centimètres carrés. Une simple division permettra d'obtenir la quantité de poussière en milligrammes par centimètre carré. En multipliant ce résultat par dix, on trouve le nombre de tonnes métriques par kilomètre carré.

Les résultats sont-ils les mêmes pour tous les

bocaux? (S'ils varient sensiblement, prendre une moyenne pour avoir une idée plus exacte de l'importance des poussières dans la région.) Pour quelles raisons un bocal contient-il plus de poussière qu'un autre? Répéter les recherches un autre mois ou l'année suivante pour voir si la quantité varie.

4.142 *Le cheminement des orages*

Cette expérience nécessite une montre avec une aiguille des secondes, un compas pour tracer des cercles, une feuille de papier et, bien entendu, un orage. On commence par tracer, à l'échelle, une carte sommaire des environs dans un rayon d'une quinzaine de kilomètres. Tracer des cercles concentriques situés à 1, 2, 3 . . . 15 kilomètres de l'observateur. Lorsqu'un orage survient, il est facile de trouver le lieu à la verticale duquel chaque éclair s'est produit, en déterminant : *a*) la direction, par l'observation visuelle; *b*) la distance, en divisant par 3 l'intervalle de temps (en secondes) entre l'éclair et le début du coup de tonnerre. On connaîtra ainsi approximativement la distance en kilomètres. Après l'orage, les points marqués sur la carte indiqueront le parcours qu'il a suivi.

Les nuages et le temps

4.143 *Observations concernant les nuages*

Les nuages sont un signe visible de l'humidité de l'atmosphère. Plus il y a de nuages, plus il y a d'humidité, qui peut prendre la forme de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace, les deux pouvant être présents simultanément. Le type de nuage indique le degré de stabilité de l'atmosphère dans laquelle il se forme. Les nuages stratiformes (en couche) sont généralement l'indice de conditions stables qui changent assez lentement. Les nuages à extension verticale (type cumulus) changent rapidement sous l'effet de l'instabilité de l'atmosphère. Aussi les météorologistes souhaitent-ils avoir des descriptions précises des nuages qui se forment à chaque station d'observation. Comme les nuages sont continuellement en cours de formation et de désintégration, ils apparaissent

sous des formes d'une variété infinie. Cependant, il est possible de définir un nombre limité de formes caractéristiques, observables généralement dans le monde entier, qui permettent de grouper les nuages par grandes catégories (voir p. 260 et 261).

Outre leur caractère stratiforme ou cumuli-forme, la hauteur moyenne de leur base par rapport au sol sert à distinguer les nuages selon qu'ils sont bas, moyens ou élevés, mais cette classification par « étage » n'est pas précise, car la hauteur de la base des nuages varie avec le terrain, l'humidité moyenne et le type de temps. Les nuages de l'étage inférieur comprennent le brouillard, les stratus, les stratocumulus, les cumulus et les cumulonimbus. Ils apparaissent quand des masses d'air passent sur des terres plus chaudes ou plus froides qu'elles. Un échauffement inégal transmis de la surface de la Terre à une couche d'air plus froide provoque souvent la formation de cumulus qui peuvent se développer verticalement jusqu'à former des cumulonimbus, annonceurs d'orage. La hauteur moyenne de la base des nuages de l'étage inférieur varie depuis la surface du sol jusqu'à 2 200 mètres. En général, ces nuages sont très denses et composés entièrement de gouttelettes d'eau.

Les nuages de l'étage moyen comprennent les altocumulus et les altostratus. La hauteur moyenne de leur base varie de 2 200 à 7 700 mètres. Ils sont formés de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace ou encore -- le plus souvent -- des deux à la fois et ils présentent des variations considérables de densité. Un pilote d'avion qui vole dans un nuage dense composé de gouttelettes d'eau n'a souvent qu'une visibilité de quelques mètres tandis que dans un nuage formé de cristaux de glace la visibilité peut atteindre un kilomètre.

Les nuages de l'étage supérieur sont les cirrus, les cirrocumulus et les cirrostratus dont la base se situe généralement à plus de 5 500 mètres. Ils sont toujours composés de cristaux de glace et leur densité est très variable. Ces nuages se caractérisent notamment par le halo qu'ils produisent autour du Soleil ou de la Lune par suite de la réfraction de la lumière solaire ou lunaire

qui traverse les cristaux de glace. Un phénomène analogue, mais différent, la « couronne » solaire ou lunaire, est produit par des nuages moins élevés (altostratus) qui contiennent des gouttelettes d'eau.

Une autre grande catégorie de nuages est constituée par ceux qui présentent une importante extension verticale. Elle comprend tous les nuages bas du type cumulus à l'exception des cumulus de beau temps et des stratocumulus. Le cumulonimbus, ou nuage d'orage, forme une catégorie spéciale parce qu'un même nuage peut se trouver à tous les étages, depuis le plus bas jusqu'au plus élevé, et qu'au cours de son cycle de vie, il peut produire presque tous les autres types de nuages.

Voici quelques notes qui permettront d'identifier les nuages.

Brouillard. Le brouillard est un nuage stratiforme dont la base est à la hauteur du sol. En montagne, il est possible qu'une même couche de stratus soit signalée comme une couche nuageuse dans une station de la vallée et comme du brouillard dans un observatoire de montagne. Le brouillard contient soit de l'eau, soit de la glace.

Stratus. Nuage en couche, de l'étage inférieur, souvent formé par le brouillard qui s'élève du sol. Il se produit quand l'air est stable. Les stratus se forment aussi quand l'air humide s'élève depuis une surface frontale ou un terrain en pente ou par advection, par exemple lorsque de l'air humide chaud se déplace sur une surface froide. Ces nuages sont le plus souvent gris et sans contours bien définis. Les couches ont en général de 100 à 500 mètres d'épaisseur.

Stratocumulus. Couche de nuages dont la base est à une hauteur uniforme au-dessus du sol et qui présentent une certaine tendance à se développer verticalement. Observés depuis le sol, les stratocumulus se caractérisent par la combinaison de taches, de rouleaux ou de sillons dont les uns sont clairs et les autres plus sombres.

Nimbostratus. Cette forme de nuage est toujours associée aux précipitations (bruine, pluie ou neige). Il est très difficile d'apprécier la hauteur de la base d'un nimbostratus parce que les nuages de cette catégorie sont généralement d'un gris uniforme et que leurs contours sont mal définis.

4.143

Ils se trouvent à des altitudes très différentes, depuis les très basses jusqu'à l'étage moyen. La précipitation est continue (pas d'averses) et son intensité est très variable.

Cumulus. Les cumulus sont peut-être les nuages les plus courants. Leurs dimensions et leur forme sont très variées. Les cumulus de beau temps sont les nuages isolés qu'on voit dans le ciel au printemps et en été et qui ressemblent un peu à des boules de coton; ils se forment généralement à une hauteur uniforme au-dessus du sol, se développent pendant la partie la plus chaude du jour et se dissipent au coucher du soleil. D'une façon générale, les cumulus ont souvent l'aspect d'un chou-fleur avec des contours bien nets. Les cumulus en forme de tour - appelés *mammato-cumulus* - ont une grande extension verticale et annoncent des orages. Leurs dimensions augmentent rapidement et ils donnent l'impression d'être en ébullition, de sorte que leur forme change continuellement. Tous les cumulus sont très denses et ont un aspect massif. Les précipitations provenant des nuages cumuliformes se produisent sous forme d'averses plutôt que de pluie ou de neige continue. La base des cumulus peut se trouver à presque tous les étages bas ou moyens.

Alto-cumulus. Ils ressemblent beaucoup aux stratocumulus, mais se trouvent à des altitudes moyennes plutôt que basses. Certaines formes d'alto-cumulus indiquent ou annoncent des phénomènes qui intéressent particulièrement les météorologistes et les aviateurs. Par exemple, les alto-cumulus en forme d'amande ou de lentille (appelés *lenticularis*) sont associés à un mouvement ondulatoire en altitude. Ces nuages changent continuellement d'aspect, tout en paraissant stationnaires, un nuage se formant sur un bord et se désagrégant sur l'autre. Une autre forme particulière est l'*alto-cumulus castellanus*. Il s'agit de petits nuages avec des tours plus ou moins volumineuses qui changent continuellement de forme, disparaissant et se reformant. Ce type de nuage indique une instabilité dans les couches moyennes de l'atmosphère et il est souvent le signe d'une activité orageuse possible dans les heures qui suivent.

Altostratus. Couches nuageuses à l'étage

Étage supérieur



CIRRUS

Étage moyen



ALTOCUMULUS, nuages en couche

Étage inférieur



NIMBOSTRATUS

De l'étage inférieur à l'étage supérieur



CUMULUS, en couches minces



CIRROCUMULUS



CIRROSTRATUS



ALTOCUMULUS. en forme d'amande
ou de lentille



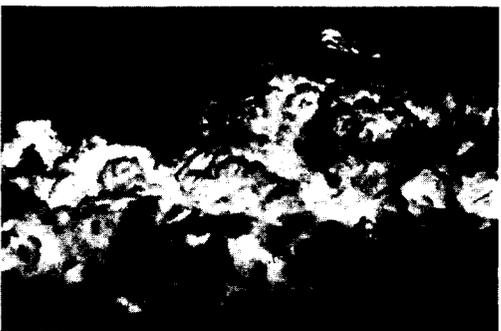
ALTOSTRATUS



STRATOCUMULUS



STRATUS



CUMULUS. en forme de tour ou
mamelonnés



CUMULONIMBUS

moyen, généralement constituées de gouttelettes d'eau ou d'un mélange de gouttelettes d'eau et de cristaux de glace. Les altostratus sont l'indice d'un air stable; les précipitations qui en proviennent sont légères et continues. Les altocumulus et les altostratus se présentent souvent ensemble. La lumière du Soleil ou de la Lune peut souvent faire naître l'effet de « couronne » qui distingue l'altostratus du cirrostratus.

Cirrus. Ce sont des nuages minces, blancs, en forme de filaments, qui se présentent souvent en groupes ou en bandes étroites. Ils sont composés entièrement de cristaux de glace et leur base est élevée. Très souvent, les cirrus annoncent l'approche d'un système frontal orageux. Les cirrus sont rarement assez denses pour dissimuler complètement le Soleil ou la Lune, mais ils peuvent s'épaissir suffisamment pour que les ombres soient indistinctes.

Cirrocumulus. Généralement disposés en couche ou en bancs, ces nuages semblent composés de petites boules blanches. Ils ressemblent aux altocumulus, mais les éléments qui les composent sont généralement beaucoup plus petits.

Cirrostratus. Ces nuages, qui contiennent des cristaux de glace, sont situés à des altitudes élevées et se présentent en bancs ou en couches d'une densité variable : ils peuvent être si minces qu'il faut une observation très attentive pour les apercevoir ou si denses qu'ils cachent le Soleil. Les cirrostratus produisent le phénomène de halo. En général, cette forme nuageuse signale l'approche d'une perturbation.

Cumulonimbus. Nuage dense s'étendant souvent jusqu'à une grande hauteur, fréquemment accompagné d'éclairs et d'orage, de grosses averses de pluie et parfois de grêle, et qui peut provoquer des tornades ou des trombes d'eau. Ce nuage se caractérise principalement par son sommet en forme de panache ou d'enclume. Le cumulonimbus est une véritable « usine » à nuages: en effet, au cours de son bref cycle de vie, il peut produire presque tous les autres types de nuage. Le sommet des cumulonimbus atteint souvent 20 000 mètres, alors que la base peut se former à toute altitude, depuis un niveau très proche du sol jusqu'à 3 000 à 4 000 mètres. La vitesse de

développement d'un cumulonimbus atteint parfois 2 000 mètres par minute.

4.144 *Observation et description des fronts chauds et froids*

A. *Fronts chauds.* Les fronts chauds sont précédés par une baisse lente du baromètre. Des cirrus font leur apparition et il y a lieu alors, généralement, de s'attendre à des précipitations au bout de 24 à 36 heures. Très mince au début, la couche de nuages s'épaissit au fur et à mesure que les cirrus sont suivis par des cirrostratus, puis des altocumulus ou des altostratus et, enfin, par des nimbostratus ou des cumulonimbus. Quand l'altostratus a atteint une certaine densité, la pluie (ou la neige) commence souvent à tomber, avant l'apparition, à plus faible altitude, de stratus ou de nuages cumuliformes. Avec le passage du front, le vent change de direction, le baromètre remonte un peu, les précipitations s'arrêtent, le ciel commence à s'éclaircir et la température s'élève. En été, des averses orageuses peuvent se produire l'après-midi derrière un front chaud.

B. *Fronts froids.* A l'approche d'un front froid, le baromètre baisse très rapidement. Avec une vitesse moyenne de 30 à 40 km à l'heure, les fronts froids se déplacent plus vite que les fronts chauds. Leur vitesse de déplacement est en fait très variable, puisqu'elle peut être inférieure à 16 km à l'heure et parfois dépasser 56 km à l'heure. Le défilé des types de nuage sera proportionnellement plus rapide que dans le cas d'un front chaud. Le passage des cirrus aux cirrostratus, puis aux altostratus ou aux altocumulus, se produit souvent en quelques heures. Les précipitations peuvent commencer de 12 à 30 heures après la première apparition des cirrus. En été, les cumulus formeront des cumulonimbus et produiront des averses orageuses. En hiver, les nimbostratus ou les stratocumulus donneront de la pluie ou de la neige. Au passage du front, le vent change brusquement de direction, le baromètre monte régulièrement et la température baisse.

Si le front se déplace rapidement, le ciel se dégagera sans tarder, mais si le déplacement est assez lent, le ciel pourra rester nuageux et il

pourra y avoir encore quelques précipitations pendant plusieurs heures.

C. Tornades. Les tornades sont créées par les mêmes conditions atmosphériques qui provoquent la grêle et les orages, c'est-à-dire une collision de masses d'air chaud et de masses d'air froid. Il est impossible de prévoir les tornades, mais les conditions atmosphériques qui leur donnent naissance sont connues et, lorsque ces conditions existent, les stations météorologiques donnent généralement un avis de « risque de tornades ». S'étendant sur une zone de 70 à 300 mètres de large, une tornade se déplace généralement à une vitesse moyenne de 30 à 65 km à l'heure, mais la vitesse du vent peut atteindre 300 km à l'heure. Dans l'hémisphère nord, les tornades se produisent le plus souvent entre le 1^{er} avril et le 15 juillet, généralement en fin d'après-midi. Une tornade peut se produire lorsque l'air est humide, que la température dépasse 26 °C et qu'une masse d'air froid arrive. On voit souvent des mammatocumulus avant et après la tornade.

D. Ouragans. L'ouragan est le phénomène météorologique le plus dévastateur. Bien que, sous des noms différents, ils se produisent dans le monde entier, tous les ouragans ont leur origine dans les régions équatoriales. Au nord de l'équateur, leur direction générale de déplacement est nord à nord-ouest à nord-est. Au sud de l'équateur, ils se déplacent dans les directions opposées.

Les formations nuageuses associées aux ouragans sont très voisines de celles d'un front chaud, la séquence générale étant la suivante : *a)* cirrus; *b)* cirrostratus, environ 1 600 km avant l'ouragan; *c)* altostratus; *d)* nimbostratus chargés de pluie ou cumulonimbus. On aperçoit souvent un halo autour du Soleil ou de la Lune.

L'ouragan lui-même ne se déplace qu'à 12 à 25 km à l'heure, mais il est accompagné par des vents qui atteignent parfois 240 km à l'heure. Un ouragan dure une dizaine de jours et couvre une superficie de 800 à 3 200 km². Quand le baromètre commence à remonter et que les vents changent de direction, le plus fort de l'ouragan est passé.

Étage	Altitude approximative		
	Climat polaire	Climat tempéré	Climat tropical
	km	km	km
Supérieur	3-8	5-13	6-18
Moyen	2-4	2-7	2-8
Inférieur	De la surface du sol à 2 km	De la surface du sol à 2 km	De la surface du sol à 2 km

Annexe 1

Unités SI

	Grandeur	Nom de l'unité	Symbole	Définition
<i>Unités fondamentales (ou de base)</i>	Intensité de courant électrique	Ampère	A	
	Intensité lumineuse	Candela	cd	
	Longueur	Mètre		
	Masse	Kilogramme	kg	
	Quantité de matière	Mole	mol	Quantité contenant autant de particules élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12 : c'est-à-dire : $N = 6,02 \times 10^{23}$
	Température thermodynamique	Kelvin	K	
	Temps	Seconde	s	
<i>Unités supplémentaires</i>	Angle plan	Radian	rad	
	Angle solide	Stéradian	sr	
<i>Unités dérivées</i>	Capacité électrique	Farad	F	<i>Expression en unités SI</i> $A^2 s^4 kg^{-1} m^{-2} = A s V^{-1}$ A s
	Charge électrique	Coulomb	c	
	Densité de flux magnétique ou induction (champ) magnétique	Tesla	T	$kg s^{-2} A^{-1} = V s m^{-2}$
	Éclairement lumineux	Lux	lx	$cd sr m^{-2}$
	Énergie	Joule	J	$kg m^2 s^{-2}$
	Flux lumineux	Lumen	lm	cd sr
	Flux (d'induction) magnétique	Weber	Wb	$kg m^2 s^{-2} A^{-1} = V \cdot s$
	Force	Newton	N	$kg m s^{-2} = j m^{-1}$

Annexe 1

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole	Définition
Fréquence	Hertz	Hz	Cycles par seconde = s^{-1}
Inductance	Henry	H	$kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-2} = V\ s\ A^{-1}$
Pression	Pascal	Pa	$kg\ m^{-1}\ s^{-2} = N\ m^{-2}$
Puissance	Watt	W	$kg\ m^2\ s^{-3} = J\ s^{-1}$
Résistance électrique	Ohm	Ω	$kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-2} = V\ A^{-1}$
Température (usuelle)	Degré Celsius	$^{\circ}C$	$t^{\circ}C = T^{\circ}K - 273,15$
Tension électrique (différence de potentiel)	Volt	V	$kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-1} = J\ A^{-1}\ s^{-1}$
<i>Unités utilisées avec les unités SI</i>	Densité de flux magnétique (champ magnétique)	Gauss	$10^{-4}\ T$
	Énergie	Electronvolt	ev $1,6021 \times 10^{-19}\ J$
	Longueur	Parsec	pc $3,087 \times 10^{16}\ m$
	Masse	Tonne	$10^3\ kg$ ou $1\ Mg$
	Pression	Bar	$10^5\ N\ m^{-2}$
	Radio-activité	Curie	$3,7 \times 10^{10}\ s^{-1}$
	Surface : superficie	Hectare	$104\ m^2$
	section efficace	Barn	$10^{-28}\ m^2$
	Viscosité cinématique (diffusion)	Stokes	St $10^{-4}\ m^2\ s^{-1}$
	Viscosité dynamique	Poise	P $10^{-1}\ kg\ m^{-1}\ s^{-1}$
	Volume	Litre	l $10^{-3}\ m^3 = 1\ dm^3$

Multiples et sous-multiples décimaux

Fraction	Préfixe	Symbole	Multiple	Préfixe	Symbole
10^{-1}	Déci	d	10	Déca	da
10^{-2}	Centi	c	10^2	Hecto	h
10^{-3}	Milli	m	10^3	Kilo	k
10^{-6}	Micro	μ	10^6	Méga	M
10^{-9}	Nano	n	10^9	Giga	G
10^{-12}	Pico	p	10^{12}	Téra	T
10^{-15}	Atto	a			

Annexe 2

Tableau de correspondance pour unités en dehors du SI

Grandeur	Unité	Valeur en unités SI
Énergie	Calorie	4,1855 J
	Cheval-vapeur heure	$2,648 \times 10^6$ J
	Erg	10^{-7} J
	Kilogramme-force mètre	9,807 J
	Wattheure	3 600 J
Force	Dyne	10^{-5} N
	Kilogramme-force	9,807 N
Longueur	Angström	10^{-10} m
	Année lumière	$9,461 \times 10^{15}$ m
	Mille marin	1 852 m
	Pied (Royaume-Uni)	$3,048 \times 10^{-1}$ m
Masse volumique	Gramme par centimètre cube	10^3 kg m ⁻³
Pression	Atmosphère	$1,01325 \times 10^5$ N m ⁻² ou Pa
	Gramme-force par centimètre carré	98,07 N m ⁻²
	Kilogramme-force par mètre carré	9,807 N m ⁻²
	Torr	$1,33322 \times 10^2$ N m ⁻²
Puissance	Cheval-vapeur	75 x 9,807 W ou 735,5 W
	Kilogramme-force mètre par seconde	9,807 W
Température	Degré Fahrenheit	$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \times t^{\circ}\text{C} + 32$
Volume	Stère	1 m ³

						2	4,003										
							He	Hélium									
			5	10,82	6	12,01	7	14,008	8	16,00	9	19,00	10	20,183			
			B	Bore	C	Carbone	N	Azote	O	Oxygène	F	Fluor	Ne	Néon			
			13	26,98	14	28,09	15	30,98	16	32,066	17	35,457	18	39,9			
			Al	Aluminium	Si	Silicium	P	Phosphore	S	Soufre	Cl	Chlore	A	Argon			
28	58,69	29	63,54	30	65,38	31	69,72	32	72,60	33	74,91	34	78,96	35	79,916	36	83,6
Ni	Nickel	Cu	Cuivre	Zn	Zinc	Ga	Gallium	Ge	Germanium	As	Arsenic	Se	Sélénium	Br	Brome	Kr	Krypton
46	106,7	47	107,88	48	112,41	49	114,76	50	118,70	51	121,75	52	127,60	53	126,904	54	131,30
Pd	Palladium	Ag	Argent	Cd	Cadmium	In	Indium	Sn	Étain	Sb	Antimoine	Te	Tellure	I	Iode	Xe	Xénon
78	195,23	79	197,2	80	200,61	81	204,39	82	207,21	83	209	84	210	85	(210)	86	222
Pt	Platine	Au	Or	Hg	Mercuré	Tl	Thallium	Pb	Plomb	Bi	Bismuth	Po	Polonium	At	Astate	Rn	Radon
63	152,0	64	156,9	65	159,2	66	162,46	67	164,94	68	167,2	69	169,4	70	173,04	71	174,99
Eu	Europium	Gd	Gadolinium	Tb	Terbium	Dy	Dysprosium	Ho	Holmium	Er	Erbium	Tm	Thulium	Yb	Ytterbium	Lu	Lutetium
95	(243)	96	(243)	97	(245)	98	(246)	99	(254)	100	(253)	101	(256)	102	(254)	103	(257)
Am	Américium	Cm	Curium	Bk	Berkélium	Cf	Californium	Es	Einsteinium	Fm	Fermium	Md	Mendélévium	No	Nobélium	Lw	Lawrencium

Annexe 4

Liste des éléments

Symbole	N° atomique	Nom	Caractères intéressants
Ac	89	Actinium	Métal radio-actif; rare
Al	13	Aluminium	Donne des alliages résistants et légers
Am	95	Américium	Artificiel; très radio-actif
Sb	51	Antimoine	Métal cassant, d'éclat argenté. Un alliage important sert à fabriquer les caractères d'imprimerie
Ag	47	Argent	Le meilleur conducteur de la chaleur et de l'électricité
A	18	Argon	Gaz incolore, existe dans l'air, utilisé dans des ampoules électriques
As	33	Arsenic	Solide gris, dont les composés sont des poisons
At	85	Astate	Artificiel fabriqué à partir du bismuth; non-métal radio-actif
N	7	Azote	Gaz incolore, constitue 78 % (en volume) de l'air
Ba	56	Baryum	Métal peu dense, mou, blanc argent
Bk	97	Berkélium	Artificiel (1950); métal hautement radio-actif
Be	4	Béryllium	Métal peu dense; les ressorts de petite taille en alliage de cuivre et béryllium durent longtemps
Bi	83	Bismuth	Métal d'un rose argenté; donne des alliages durs et fusibles
B	5	Bore	Non-métal solide, fait partie du borax
Br	35	Brome	Liquide rouge dont le nom signifie : puanteur
Cd	48	Cadmium	Métal argenté, dont on recouvre souvent d'autres métaux par électrolyse
Ca	20	Calcium	Métal peu dense, dont les composés sont très répandus dans l'écorce terrestre
Cf	98	Californium	Artificiel (1950); métal hautement radio-actif
C	6	Carbone	Élément essentiel de la chimie organique; existe dans tout ce qui vit (plantes et animaux)
Ce	58	Cérium	Métal dur; entre dans la fabrication des pierres à briquet
Cs	55	Césium	Métal argenté, mou; fond dans l'eau bouillante
Cl	17	Chlore	Gaz jaune-vert; toxique; bon agent de blanchiment
Cr	24	Chrome	Métal brillant, argenté, utilisé dans les aciers inoxydables
Co	27	Cobalt	Métal argenté; donne un alliage fortement magnétique
Cu	29	Cuivre	Métal rouge, bon conducteur
Cm	96	Curium	Fabriqué artificiellement à partir du plutonium; métal hautement radio-actif
Dy	66	Dysprosium	Métal qui fait partie des « terres rares »; dont le nom signifie : difficile à obtenir
ES	99	Einsteinium	Fabriqué par bombardement d'atomes d'uranium avec des noyaux d'atomes d'azote; masse atomique 247; extrêmement radio-actif
Er	68	Erbium	Métal qui fait partie des « terres rares »
Sn	50	Étain	Métal argenté, parfois déposé sur de l'acier, par électrolyse, pour faire des boîtes à conserves
Eu	63	Europium	Métal qui fait partie des « terres rares »
Fe	26	Fer	Deuxième métal par ordre d'abondance

Symbole	No atomique	Nom	Caractères intéressants
Fm	100	Fermium	Fabriqué, par l'intermédiaire du californium, en ajoutant des neutrons à des noyaux de plutonium; extrêmement radio-actif
F	9	Fluor	Gaz très toxique, élément très actif
Fr	87	Francium	Métal radio-actif, extrêmement rare; peut être produit par des réactions nucléaires
Gd	64	Gadolinium	Métal qui fait partie des « terres rares »; non encore isolé
Ga	31	Gallium	Métal blanc, brillant, généralement extrait des minerais de zinc
Ge	32	Germanium	Métal gris, cassant, qui ressemble à l'étain
Hf	72	Hafnium	Métal dense, qui ressemble au zirconium
He	2	Hélium	Gaz inerte, deux fois plus dense que l'hydrogène
Ho	67	Holmium	Métal qui fait partie des « terres rares »; non encore isolé
H	1	Hydrogène	Gaz incolore, le moins dense de tous
In	49	Indium	Métal mou, argenté, qui ressemble à l'aluminium
I	53	Iode	Solide brun-noir; chauffé, donne de belles vapeurs violettes
Ir	77	Iridium	Métal argenté; allié au platine pour faire les pointes de plumes � écrire
Kr	36	Krypton	Gaz inerte, incolore, qui existe dans l'air
La	57	Lanthane	Métal qui fait partie des « terres rares »
Lw	103	Lawrencium	élément nouveau, artificiel (1961), radio-actif, qui disparaît très vite
Li	3	Lithium	Métal mou, le moins dense des métaux
Lu	71	Lutetium	Métal faisant partie des « terres rares », qui n'a guère d'emploi
Mg	12	Magnésium	A la fois résistant et léger
Mn	25	Manganèse	Métal dense, qui joue un grand rôle dans la fabrication de l'acier
Md	101	Mendel�vium	Métal extrêmement radio-actif, qui disparaît vite
Hg	80	Mercure	Métal liquide, argenté, extrêmement dense
Mo	42	Molybdène	Métal argenté, qui donne de nombreux alliages intéressants avec l'acier
Nd	60	Néodyme	Métal qui fait partie des « terres rares » et donne des composés roses
Ne	10	Néon	Gaz rare qui existe dans l'air; par décharge électrique, donne une lumière très vive
Np	93	Neptunium	Artificiel, fabriqué à partir de l'uranium; radio-actif
Ni	28	Nickel	Intervient dans des aciers inoxydables très résistants
Nb	41	Niobium	Métal argenté, autrefois appelé colombium
No	102	Nobelium	Très radio-actif, disparaît rapidement
Au	79	Or	Utilisé pour l'ornement, longtemps étalon monétaire
Os	76	Osmium	Métal argenté, élément le plus dense
O	8	Oxygène	Gaz incolore, très répandu dans la nature
Pd	46	Palladium	Ressemble au platine
P	15	Phosphore	Non-métal solide, mou, qui s'enflamme facilement
Pt	78	Platine	Métal argenté, qui sert à faire des récipients et des instruments de laboratoire
Pb	82	Plomb	Métal mou, dense, d'un blanc bleuâtre

Symbole	N° atomique	Nom	Caractères intéressants
Pu	94	Plutonium	Artificiel; important parce que fissile
Po	84	Polonium	Métal radio-actif, découvert par les Curie juste avant le radium
K	19	Potassium	Métal mou, de densité inférieure à 1
Pr	59	Praséodyme	Métal qui fait partie des « terres rares »
Pm	61	Prométhéum	Métal qui fait partie des « terres rares »; aussi fabriqué à partir du praséodyme
Pa	91	Protactinium	Métal radio-actif, présent dans tous les minerais d'uranium
Ra	88	Radium	Métal radio-actif. dont la découverte a encouragé l'étude de la radio-activité
Rn	86	Radon	Gaz le plus dense; radio-actif; émanation du radium
Re	75	Rhénium	Métal dense, qui ressemble au manganèse
Rh	45	Rhodium	Métal dense; ressemble à l'aluminium; les dépôts électrolytiques sont utilisés en bijouterie
Rb	37	Rubidium	Métal mou, rare, chimiquement très actif
Ru	44	Ruthénium	Métal gris, dur et cassant
Sm	62	Samarium	Métal qui fait partie des « terres rares »
Sc	21	Scandium	Élément rare, non encore isolé
Se	34	Sélénium	Non-métal solide; chimiquement, ressemble au soufre
Si	14	Silicium	Non-métal solide, le deuxième par ordre d'abondance
Na	11	Sodium	Métal mou, extrêmement actif. de densité inférieure à 1
S	16	Soufre	Non-métal solide, jaune
Sr	38	Strontium	Métal dur, actif, qui chimiquement, ressemble au calcium
Ta	73	Tantale	Ressemble au fer poli: utilisé dans des aciers spéciaux
Tc	43	Technetium	Métal dense; trouvé dans les produits de fission de l'uranium
Te	52	Tellure	Non-métal solide qui, chimiquement, ressemble au soufre
Tb	65	Terbium	Métal qui fait partie des « terres rares »; non encore isolé
Tl	81	Thallium	Métal solide ressemblant au plomb; ses sels sont très toxiques
Th	90	Thorium	Métal gris, dense, radio-actif
Tm	69	Thulium	Métal qui fait partie des « terres rares »; non encore isolé
Ti	22	Titane	Métal dur et résistant; de nouvelles méthodes de production semblent lui annoncer un bel avenir
W	74	Tungstène	Métal dense; le moins fusible; qui a été appelé Wolfram
U	92	Uranium	Objet de recherche dans le monde entier à cause de ses possibilités de fission
V	23	Vanadium	Métal gris, peu fusible; utilisé dans des aciers spéciaux très résistants
Xe	54	Xénon	Gaz rare, inerte, incolore, qui existe dans l'air
Yb	70	Ytterbium	Métal qui fait partie des « terres rares »
Y	39	Yttrium	Un des plus abondants des métaux des « terres rares »
Zn	30	Zinc	Métal bleu-blanc; en revêtement sur le fer, donne le fer galvanisé
Zr	40	Zirconium	Métal couleur d'or; son composé le zircon est une pierre précieuse

Annexe 5

Indicateurs colorés pour les solutions acides et basiques

Indicateur	Zone de pH de virage	Quantité d'indicateur pour 10 ml	Couleur en solution	
			Acide	Basique
Bleu de thymol acide	1,2-2,8	1 à 2 gouttes de solution à 0,1 % dans l'eau	Rouge	Jaune
Tropéoline OO	1,3-3,2	1 goutte de solution à 1 % dans l'eau	Rouge	Jaune
Jaune de méthyle (B)	2,9-4,0	1 goutte de solution à 0,1 % dans l'alcool à 90°	Rouge	Jaune
Méthyl orange (B) ou hélianthine	3,1-4,4	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Rouge	Orange
Bleu de bromophénol (A)	3,0-4,6	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Jaune	Bleu-violet
Vert de bromocrésol	4,0-5,6	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Jaune	Bleu
Rouge de méthyle (A)	4,4-6,2	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Rouge	Jaune
Bleu de bromothymol	6,2-7,6	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Jaune	Bleu
Rouge de phénol (A)	6,4-8,0	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Jaune	Rouge
Rouge neutre (B)	6,8-8,0	1 goutte de solution à 0,1 % dans l'alcool à 70°	Rouge	Jaune
Bleu de thymol basique	8,0-9,6	1 à 5 gouttes de solution aqueuse à 0,1 %	Jaune	Bleu
Phénołphtaléine (A)	9,0-11,0	1 à 5 gouttes de solution à 0,1 % dans l'alcool à 90°	Incolore	Rouge
Thymolphtaléine	9,4-10,6	1 goutte de solution à 0,1 % dans l'alcool à 90°	Incolore	Bleu
Jaune d'alizarine	10,0-12,0	1 à 5 gouttes de solution à 0,1 % dans l'alcool à 90°	Jaune	Brun orangé
Tropéoline O	11,0-13,0	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Jaune	Brun orangé
Nitramine (B)	11,0-13,0	1 à 2 gouttes de solution à 0,1 % dans l'alcool à 70°	Incolore	Brun orangé
Acide trinitrobenzoïque	12,0-13,4	1 goutte de solution aqueuse à 0,1 %	Incolore	Rouge orangé

Annexe 6

Humidité relative (pourcentage)

Température du réservoir sec (°C)	« Dépression » du réservoir mouillé [différence (en °C) entre les deux thermomètres]														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
50	94	89	84	79	74	70	65	61	57	53	46	40	33	28	22
45	94	88	83	78	73	68	63	59	55	51	42	35	28	22	16
40	93	88	82	77	71	65	61	56	52	47	38	31	23	16	10
35	93	87	80	75	68	62	57	52	47	42	33	24	16	8	
30	92	86	78	72	65	59	53	47	41	36	26	16	8		
25	91	84	76	69	61	54	47	41	35	29	17	6			
20	90	81	73	64	56	47	40	32	26	18	5				
15	89	79	68	59	49	39	30	21	12	4					
10	87	75	62	51	38	27	17	5							

Annexe 7

Correspondance entre températures selon différentes échelles

	Kelvin	Celsius	Fahrenheit
Zéro absolu	0° K	- 273° C	- 459° F
Zéro Fahrenheit	255° K	- 18° C	0° F
Point de fusion de la glace	273° K	0° c	32° F
Point d'ébullition de l'eau (sous pression normale)	373° K	100° c	212° F

Annexe 8

Annexe 8

Logarithmes

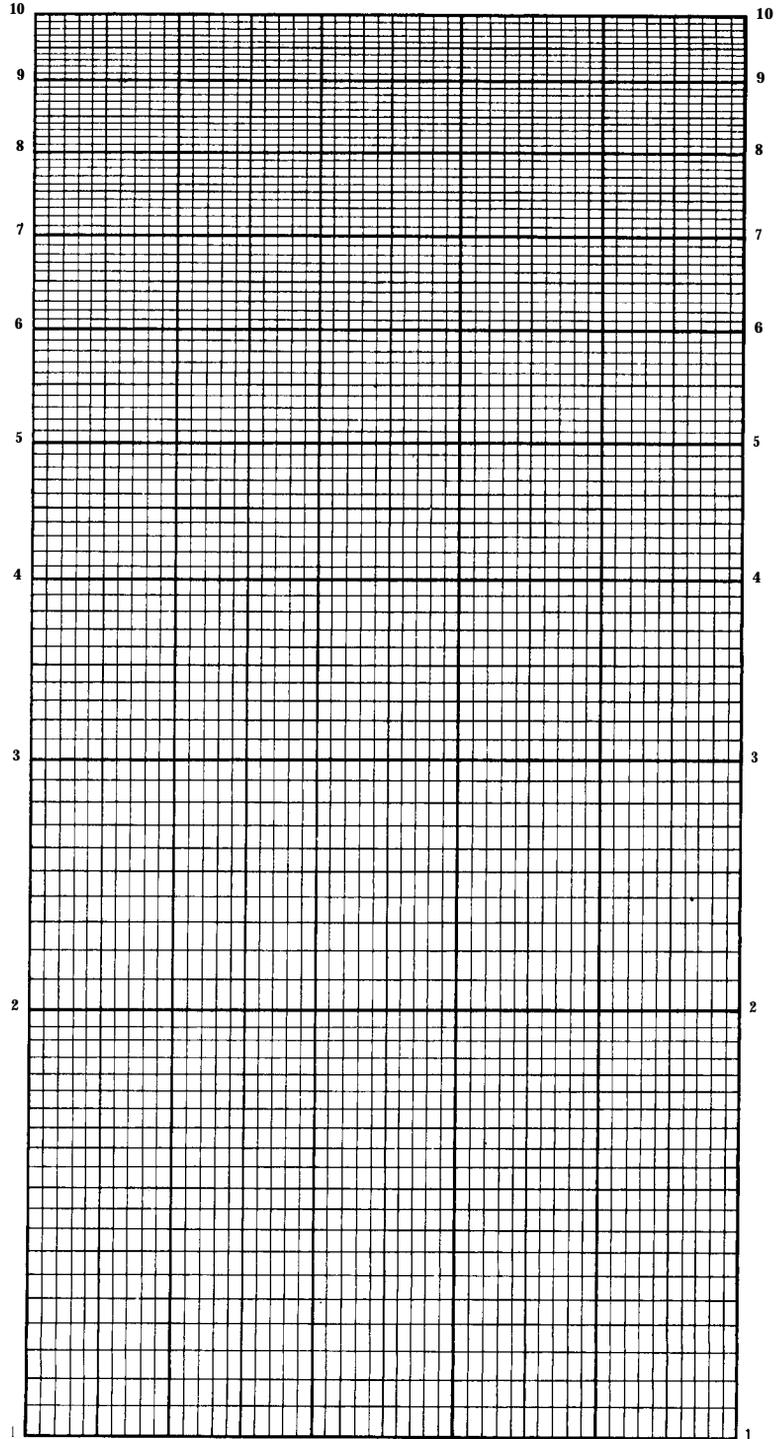
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4 9 13 17	21	26 30 34 38						
											4 8 12 16	20	24 28 32 37						
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4 8 12 15	19	23 27 31 35						
											4 7 11 15	19	22 26 30 33						
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3 7 11 14	18	21 25 28 32						
											3 7 10 14	17	20 24 27 31						
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3 7 10 13	16	20 23 26 30						
											3 7 10 12	16	19 22 25 29						
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3 6 9 12	15	18 21 24 28						
											3 6 9 12	15	17 20 23 26						
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3 6 9 11	14	17 20 23 26						
											3 5 8 11	14	16 19 22 25						
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3 5 8 11	14	16 19 22 24						
											3 5 8 10	13	15 18 21 23						
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	3 5 8 10	13	15 18 20 23						
											2 5 7 10	12	15 17 19 22						
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2 5 7 9	12	14 16 19 21						
											2 5 7 9	11	14 16 18 21						
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2 4 7 9	11	13 16 18 20						
											2 4 6 8	11	13 15 17 19						
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2 4 6 8	11	13 15 17 19						
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2 4 6 8	10	12 14 16 18						
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2 4 6 8	10	12 14 15 17						
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2 4 6 7	9	11 13 15 17						
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2 4 5 7	9	11 12 14 16						
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2 3 5 7	9	10 12 14 15						
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2 3 5 7	8	10 11 13 15						
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2 3 5 6	8	9 11 13 14						
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2 3 5 6	8	9 11 12 14						
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1 3 4 6	7	9 10 12 13						
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1 3 4 6	7	9 10 11 13						
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1 3 4 6	7	8 10 11 12						
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1 3 4 5	7	8 9 11 12						
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1 3 4 5	6	8 9 10 12						
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1 3 4 5	6	8 9 10 11						
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1 2 4 5	6	7 9 10 11						
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1 2 4 5	6	7 8 10 11						
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1 2 3 5	6	7 8 9 10						
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1 2 3 5	6	7 8 9 10						
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1 2 3 4	5	7 8 9 10						
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1 2 3 4	5	6 8 9 10						
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1 2 3 4	5	6 7 8 9						
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1 2 3 4	5	6 7 8 9						
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1 2 3 4	5	6 7 8 9						
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1 2 3 4	5	6 7 8 9						
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1 2 3 4	5	6 7 8 9						
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1 2 3 4	5	6 7 7 8						
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1 2 3 4	5	5 6 7 8						
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1 2 3 4	4	5 6 7 8						
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1 2 3 4	4	5 6 7 8						
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1 2 3 3	4	5 6 7 8						

Annexe 8

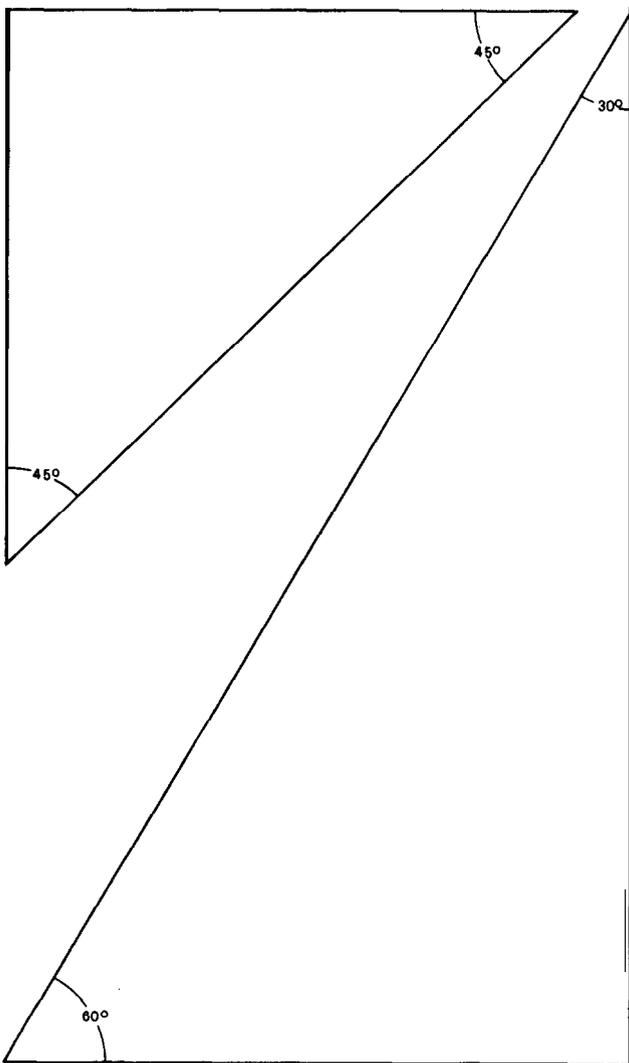
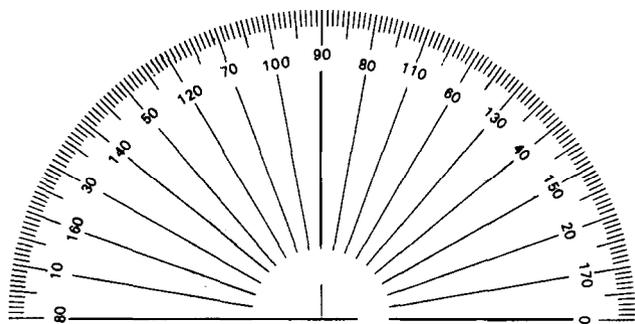
Note. Ces tables ont été établies de telle manière que le chiffre d'un logarithme donné ne diffère jamais de plus d'une unité par excès ou par défaut, de la meilleure approximation à 4 chiffres. Par exemple, si le logarithme donné est 0,5014, la meilleure approximation à 4 chiffres est comprise entre 0,5013 et 0,5015. L'usage d'une table de différences uniforme ne permet pas une plus grande précision.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	7
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9868	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	4	4

Annexe 9



Annexe 9



Annexe 10

Appellations latines et françaises des constellations

Appellation latine	Appellation française	Appellation latine	Appellation française
<i>Andromeda</i>	Andromède	<i>Fornax</i>	Fourneau
<i>Antlia</i>	Machine pneumatique	<i>Cemini</i>	Gémeaux
<i>Apus</i>	Oiseau de Paradis	<i>Grus</i>	Grue
<i>Aquarius</i>	Verseau	<i>Hercules</i>	Hercule
<i>Aquila</i>	Aigle	<i>Horologium</i>	Horloge
<i>Ara</i>	Autel	<i>Hydra</i>	Hydre femelle
<i>Argo</i>	Navire	<i>Hydrus</i>	Hydre mâle
<i>Puppis</i>	Poupe	<i>Indus</i>	Oiseau indien
<i>Vela</i>	Voiles	<i>Lacerta</i>	Lézard
<i>Carina</i>	Carène	<i>Leo</i>	Lion
<i>Aries</i>	Bélier	<i>Leo minor</i>	Petit Lion
<i>Auriga</i>	Cocher	<i>Lepus</i>	Lièvre
<i>Bootes</i>	Bouvier	<i>Libra</i>	Balance
<i>Caelum</i>	Burin	<i>Lupus</i>	Loup
<i>Camelopardus</i>	Girafe	<i>Lynx</i>	Lynx
<i>Cancer</i>	Cancer	<i>Lyra</i>	Lyre
<i>Canes venatici</i>	Chiens de chasse	<i>Mensa</i>	Table
<i>Canis major</i>	Grand Chien	<i>Microscopium</i>	Microscope
<i>Canis minor</i>	Petit Chien	<i>Monoceros</i>	Licorne
<i>Capricornus</i>	Capricorne	<i>Musca</i>	Mouche
<i>Cassiopeia</i>	Cassiopee	<i>Norma</i>	Règle
<i>Centaurus</i>	Centaure	<i>Octans</i>	Octant
<i>Cepheus</i>	Céphée	<i>Ophiuchus</i>	Ophiuchus
<i>Cetus</i>	Baleine	<i>Orion</i>	Orion
<i>Chamaeleon</i>	Caméléon	<i>Pavo</i>	Paon
<i>Circinus</i>	Compas	<i>Pegasus</i>	Pégase
<i>Columba</i>	Colombe	<i>Perseus</i>	Persée
<i>Coma Berenices</i>	Chevelure de Bérénice	<i>Phœnix</i>	Phénix
<i>Corona australis</i>	Couronne australe	<i>Pictor</i>	Peintre
<i>Corona borealis</i>	Couronne boréale	<i>Pisces</i>	Poissons
<i>Corvus</i>	Corbeau	<i>Pisicis austrinus</i>	Poisson austral
<i>Crater</i>	Coupe	<i>Pyxis</i>	Boussole
<i>Crux</i>	Croix du sud	<i>Reticulum</i>	Réticule
<i>Cygnus</i>	Cygne	<i>Sagitta</i>	Flèche
<i>Delphinus</i>	Dauphin	<i>Sagittarius</i>	Sagittaire
<i>Dorado</i>	Dorade	<i>Scorpius</i>	Scorpion
<i>Draco</i>	Dragon	<i>Sculptor</i>	Sculpteur
<i>Equuleus</i>	Petit Cheval	<i>Scutum (Sobieski)</i>	Écu (de Sobieski)
<i>Eridanus</i>	Éridan	<i>Serpens</i>	Serpent

Appellation latine	Appellation française	Appellation latine	Appellation française
<i>Sextans</i>	Sextant	<i>Ursa major</i>	Grande Ourse
<i>Taurus</i>	Taureau	<i>Ursa minor</i>	Petite Ourse
<i>Telescopium</i>	Télescope	<i>Virgo</i>	Vierge
<i>Triangulum</i>	Triangle	<i>Volans</i>	Poisson Volant
<i>Triangulum australe</i>	Triangle austral	<i>Vulpecula</i>	Renard
<i>Tucana</i>	Toucan		

Index

- Acétate de plomb, 2.69B
- Acétone :
- conductivité, 2.60B
 - point d'ébullition, 2.6
 - solvant pour expériences de chromatographie, 2.24
 - solvant pour indicateurs, 2.43
- Achernar, 4.76B, 4.78B
- Acide chlorhydrique :
- diffusion de l'ammoniac et du chlorure d'hydrogène, 2.54
 - eau régale, 1.39
 - emploi pour l'essai des minéraux, 4.13, 4.55
 - emploi pour l'étude des déplacements d'ions, 2.89
 - emploi pour la préparation de : dioxyde de carbone, 2.91 ; hydrogène, 2.33; résine formaldéhyde-résorcinol, 2.102; soufre (à partir d'hyposulfite de sodium), 2.92-93
 - préparation, 2.36
 - propriétés, 2.36
 - solution diluée, 1.36
- Acide sulfurique :
- accumulateur, 1.38
 - chaleur dégagée par la dilution de l'acide concentré, 1.36, 2.80C
 - électrolyse de l'eau, 2.36
 - préparation de résine, 2.10
 - préparation d'hydrogène, 2.34, 2.36, 2.76
- Acides :
- acétique, 1.36, 2.100
 - chlorhydrique, 1.36, 1.39, 2.33, 2.36, 2.54, 2.89, 2.91-93, 2.102, 4.13, 4.55
 - lactique, 2.39
 - nitrique, 1.36, 1.39
 - stéarique, 2.2
 - sulfurique, 1.36, 1.38, 2.34, 2.36, 2.69, 2.76, 2.80C, 2.101
 - tannique, 1.71
 - dilués, 1.36
 - acidité des sols, 4.47
 - eau régale, 1.39
- Acier, 2.64
- Action et réaction, 2.249-251, 4.102-104
- Aimants, voir : Magnétisme
- Air :
- l'air froid plus lourd que l'air chaud, 4.118
 - condensation de l'humidité de l'air, 4.131-132
 - courants de convection dans l'air, 2.127-128, 4.119-120
 - dans le sol, 4.43
 - dilatation à la chaleur, 2.110-111, 4.115
 - humidité atmosphérique, 4.112, 4.114, 4.121-126, 4.130-136, 4.140
 - incidence des mouvements de l'air sur l'évaporation, 4.129
 - quantité de poussière, 4.141
- Albireo, 4.91
- Albumen, 3.52
- Alcool, 2.6-7, 2.13, 2.24, 4.81
- Algues, 3.9
- Alliages :
- Alliage de Wood, 153
 - Alliage pour fusibles électriques, 1.53
 - alliages de plomb et d'étain, 2.61
 - appareil servant à comparer la dureté des alliages, 2.62
 - comparaison des points de fusion d'un métal Pur et de ses alliages, 2.63
 - dureté des alliages, 2.62
 - moule de fonderie, 2.61
 - plaque de métal servant à comparer les points de fusion des alliages, 2.63
 - variétés d'alliages, 1.53
- Altuglas, 2.97
- Aluminium :
- dans la croûte terrestre, 4.4
 - dans les roches ignées, 4.21
 - production de charges d'électricité statique, 2.147
 - réaction au contact d'acides dilués, 2.74

- Alun, 4.24
Amibe, 3.35
Amidon, 1.70, 2.95, 3.45A
Ammoniac :
diffusion de l'ammoniac, 2.54
expérience de la « fontaine », 2.37B
préparation, 2.37
propriétés, 2.37A
utilisation pour tirages diazo, 1.10
Amphiboles, 4.17
Anacharis, 3.41
Ananas, 3.46C
Andromède, 4.72
Anémomètres, 4.108-109
Animaux :
cellules, 3.67
cœur d'escargot, 3.62
muscles, 3.63
os, 3.63
oxygène (consommé par de petits animaux), 3.61
sang et vaisseaux sanguins, 3.63-65
tissus d'une patte de poulet, 3.63
Anthère, 3.53
Anthracite, 4.23
Apatite, 4.6
Apesanteur, 4.105
Appareil photographique, 4.90
Aquariums, 3.9-10, 4.56, 4.138
Arachide, 2.23
Araignées, 3.36, 3.38
Argenture, 1.68
Argile, 4.26, 4.32, 4.36
Argon, 4.101
Arroseur, 4.104
Ascension droite, 4.74
Astronomie, 4.65-101
Attraction terrestre, 4.104-105. *Voir aussi* : Mécanique
Avoine, 3.58A, 3.58C, 3.59
Azote contenu dans les aliments, 2.98

Bac pour l'étude des ondes à la surface des liquides, 2.183-189
Bactéries, 3.66
Bain-Marie (boîte à conserves), 1.31
Bains de galvanoplastie, 1.61
Balances :
de précision à contrepoids, 1.15
de précision à fléau et plateaux, 1.16
peson à ressort, 1.13
romaines, 1.14
simples, 1.12
Balançoire à bascule, 2.232

Ballons :
illustration du mode de propulsion des fusées, 4.102-103
illustration du principe des hydroglisseurs ou aéroglisseurs, 2.265
mesure de la vitesse des vents éloignés du sol, 4.139
Bambou, 3.48, 3.56
Banc d'optique, 2.219
Baromètres :
anéroïde, 2.308
(Fortin) à mercure, 2.307
mesure de la pression atmosphérique, 4.113, 4.115
Bases, 1.37, 2.44, 4.47
Bégonia, 3.48
Bénédict (liqueur de), 1.54
Benzène, 2.7, 2.16, 2.22, 2.26
Bételgeuse, 4.74, 4.91
Betteraves, 3.46B, 3.48
Bichromate d'ammonium, 2.55A
Bichromate de potassium, 2.10, 2.50B, 2.55B
Biotite, 4.16
Bleu de bromothymol, 1.55, 3.45C
Bloc de montage (collection d'insectes), 3.15D
Boîte à collection d'insectes, 3.15C
Boîte à convection, 2.128, 4.119
Boîte à rayons, 2.205-206
Boîtes à conserves vibrantes, 2.193
Borax, 1.5
Boue, 4.52, 4.60
Boussole, *voir* : Magnétisme
Boyle (Loi de), 2.316
Briques :
briques en plâtre de Paris, 2.67
comment éprouver la qualité des briques, 2.65
comparaison de la résistance de briques de terre, d'argile et de sable, 2.65
parpaings de ciment, 2.66
Bromoforme, 2.15, 2.27
Bromure, 2.68, 2.96
Bromure de plomb, 2.60, 2.68
Bromure de potassium, 2.68
Bronze, 1.53
Brucelles de laboratoire, 1.35
Brûleur Bunsen, 1.26, 2.1

Cactus, 3.37
Cadrans solaires, 4.68-70A
Cafard, 3.61
Cages à animaux, 3.18
Cailles, 3.5

- Calcaire, 4.22, 4.31, 4.38, 4.40, 4.55
Calcite, 4.6, 4.19-20
Calcium, 4.4, 4.21
Calorie, 2.17, 2.135-136, 2.82-83
Calorimètre, 1.28
Cambium, 3.57
Canards, 3.5
Canne à sucre, 3.48, 3.56
Canopus, 4.76B, 4.78B
Capillarité (dans le sol), 4.48, 4.56-57
Capricorne, 3.36
Carbonate cuivrique, 2.30B, 2.71
Carbonate de calcium, 2.38, 4.22
Carbonate de sodium, 2.71
Carbone :
 dans la flamme d'un brûleur, 2.1
 dépôt de carbone à la suite du chauffage d'aliments, 2.98A
 électrodes, 2.59, 2.68-69, 2.88-90
 séparation d'un mélange d'étain et de carbone, 2.18
Carotène, 2.24A
Carottes, 3.46B, 3.47-48
Caséine (extraction), 2.100
Cassiopée, 4.72, 4.28B, 4.91
Catalyseurs, 2.94, 2.97
Céleri, 3.60
Cellules :
 cellules d'algues, 3.66
 cellules de la face interne de la joue, 3.67
 chromosomes, 3.69-70
 chromosomes des glandes salivaires, 3.70
 cloisons des cellules, 3.68
 différences entre cellules végétales et cellules animales, 3.67
 mitochondrie, 3.71
 œuf d'autruche, 3.66
 organismes multicellulaires, 3.66
 organismes unicellulaires, 3.66
 organites, 3.70-71
 protistes, 3.66
 reproduction, 3.69
 utilisation du microscope électronique pour l'étude des cellules, 3.71
Centaure, Le (alpha et bêta), 4.76B, 4.78B
Cercle arctique, 4.70A, 4.98-99
Chaleur (*Voir aussi* : Sources de chaleur) :
 action sur des aiguilles d'acier, 2.64
 action sur des cristaux de sulfate cuivrique, 2.32
 action sur le cuivre, 2.28A
 action sur le magnésium, 2.28A
 calorie, 2.135-136, 2.82-83
 chaleur de vaporisation et de liquéfaction, 2.17
 chaleur massique, 2.17
 comment recueillir les gaz résultant d'une combustion, 2.29
 conduction, 2.118-122, 2.132
 corps dont la masse reste constante quand on les chauffe, 2.31
 corps qui perdent du poids quand on les chauffe, 2.30
 différence entre chaleur et température, 2.103
 dilatation de l'air, 2.110-111
 dilatation des liquides, 2.108-109
 dilatation des solides, 2.106
 électricité (1°), source de chaleur, 2.160-162
 énergie calorifique mise en jeu par les réactions chimiques, 2.80-83
 expérience de l'oeillet et de la tête de vis, 2.105
 isolation, 2.117
 rayonnement, 2.130-134
 sensation de température, 2.112
 système bilame, 2.107
 thermomètres, 2.113-115
 thermoscope, 2.116
 transformation d'énergie mécanique en énergie calorifique, 2.104
Chatterton (mastic de), 1.56
Chaux sodée, 2.29, 2.99
Chert, 4.22
Chèvre, La (Capella), 4.76B, 4.91
Chlorate de potassium, 2.47
Chlorophylle, 2.24, 3.45A
Chlorure d'ammonium, 2.54, 2.88
Chlorure de baryum, 2.58
Chlorure de bismuth, 1.40
Chlorure de cobalt, 4.140
Chlorure de magnésium, 1.50
Chlorure de potassium, 2.47
Chlorure de sodium, 1.50, 2.12-13, 2.19, 2.22, 2.36, 2.47, 2.50A, 2.51, 2.60B, 2.69, 4.24-25
Chlorure de zinc, 1.5
Chlorure ferrique, 1.43
Chlorure stanneux, 1.52
Chromate cuivrique, 2.89
Chromate d'argent, 2.71
Chromate de potassium, 2.71, 2.89
Chromatographie, 2.24
Chromosomes, 3.69-70
Chute des corps :
 billes roulant sur un plan incliné, 2.235
 chute simultanée de deux billes, 2.234
 étude des temps de chute libre d'un corps, 2.238
 trajectoire d'un projectile, 2.239

- Ciments, colles, mastics
 - ciment de Portland, 4.25
 - ciment pour aquarium, 1.56
 - colle inattaquable par les acides, 1.56
 - colle pour celluloïd, 1.56
 - colle pour le fer, 1.56
 - emploi du ciment pour la fabrication de parpaing, 2.66
 - mastic de Chatterton, 1.56
 - mastic de Faraday, 1.56
- Cire :
 - conductrice de l'électricité, 2.60
 - mastic de Faraday, 1.56
- Citrate double ammoniaco-ferrique, 1.11
- Citrouille, 3.52
- Clarke (solution de), 1.57
- Cocher, Le (Auriga), 4.91
- Colles, voir : Ciments, colles, mastics
- Colloïdes, 2.52
- Colophane, 1.5
- Colpidium*, 3.35
- Communautés :
 - bactéries, 3.35
 - communauté bien équilibrée, 3.34
 - communauté de sous-bois, 3.39
 - communauté des prés, 3.38
 - communauté du désert, 3.37
 - communauté d'un tronc d'arbre pourri, 3.36
 - communauté vivant en circuit fermé, 3.34
 - évolution d'une communauté, 3.35
- Composés minéraux, 4.4
- Concentration d'ondes de chaleur rayonnante, 2.131
- Condensation de l'eau, 4.121, 4.131-135
- Conduction (chaleur) :
 - fil de cuivre enroulé en ressort hélicoïdal, 2.120
 - lampe Davy, 2.119
 - métaux en tant que conducteurs, 2.120-122
 - toile métallique, 2.118
- Conductivité :
 - circuit expérimental, 2.59
 - électrodes, 2.59
 - liquides conducteurs de l'électricité, 2.60
 - solides conducteurs et non conducteurs de l'électricité, 2.59A, 2.59B, 2.155
- Conglomérats, 4.22
- Constellarium, 4.76
- Constellations :
 - Andromède, 4.72
 - Cassiopee, 4.72
 - Centaure, (Le), 4.76B, 4.78B
 - Cocher, Le (Auriga), 4.91
 - Croix du Sud, La (Crux), 4.71, 4.73, 4.77-78B
 - Cygne (Le), 4.91
 - Grand Chien, Le (Canis major), 4.73
 - Grande Ourse, La (Ursa major), 4.73
 - Grande Ourse, La (Ursa major) ou le Grand chariot, 4.72, 4.77, 4.78B
 - Orion (le Chasseur), 4.72-74, 4.91
 - Pégase, 4.72
 - Petite Ourse, La (Ursa minor) ou le Petit Chariot, 4.72
 - Photographie des constellations, 4.91
- Coquilles, 4.34
- Corindon, 4.6
- Corps gras pour la fabrication du savon, 2.79
- Couleurs :
 - couleur de la lumière du jour, 2.220
 - couleur des objets opaques, 2.228
 - couleur des objets transparents, 2.227
 - irisations sur une pellicule d'huile, 2.226
 - irisations sur une pellicule savonneuse, 2.225
 - mélange de lumières colorées, 2.230
 - mélange de pigments colorés, 2.229
 - spectre (bande colorée), 2.221
 - transformation des couleurs, 2.231
 - utilisation de la couleur pour l'identification des minéraux, 4.7-8
 - utilisation de la lumière ultraviolette, 2.224
 - utilisation des rayons infrarouges, 2.223
- Couleuvre, 3.38
- Courant électrique :
 - circuits simples, 2.159
 - conducteurs, 2.155
 - dispositif simple pour mettre en évidence le passage du courant électrique, 2.163
 - électricité, source de chaleur et de lumière, 2.162
 - fusibles, 2.160-161
 - interrupteurs, 2.152-153
 - lampe torche, 2.154
 - piles montées en parallèle, 2.158
 - piles montées en série, 2.157
 - piles sèches, 2.88, 2.150-151
 - pile simple, 2.148
 - production d'électricité à l'aide d'un citron, 2.149
 - table de montage, 2.156-163
- Courants de convection :
 - boîte de démonstration, 2.128, 4.119
 - dans l'air, 2.127-128, 4.119-120
 - dans l'eau, 2.124-126, 2.129
 - température de plus grande densité de l'eau, 2.129

- Couronne :
 lunaire, 4.143
 solaire, 4.96, 4.143
Couveuse, 3.11
Crapauds, 3.39
Creuset, 2.28
Crevettes des marais salants (*Artemia*), 3.31
Criquet, 3.61
Cristaux :
 clivage des cristaux, 2.51
 comment obtenir de gros cristaux, 2.49
 cristallisation du chlorure de sodium, 4.24
 cristallisation du soufre, 2.48
 cristallisation du sucre, 4.24
 croissance des cristaux dans des solutions, 2.49
 croissance des cristaux dans du naphtalène en fusion, 2.46
 estimation de la dimension des particules de cristaux, 2.56
 faisceaux de cristaux à exposer, 2.50
 formation de cristaux dans les minéraux, 4.24
 formes de cristaux, 2.47
 piézoélectricité et pyroélectricité, 4.33
 structure cristalline des minéraux, 4.12
Croix du Sud, La (Crux), 4.71, 4.73, 4.77-78B
Cuivre :
 cylindre de cuivre dans une pile de Daniell 2.85
 décapant pour la soudure du cuivre, 1.5
 déplacement du cuivre d'une solution aqueuse d'ions cuivriques, 2.72, 2.83-84
 en tant que conducteur de la chaleur, 2.122
 fil de cuivre enroulé en ressort hélicoïdal, 2.120
 oxydation dans l'air chauffé, 2.28A
 réaction au contact d'acides 3 M, 2.74
 solution d'ions cuivre, 2.85
Culture de micro-organismes, 3.25, 3.35
Culture en terrasse, 4.53
Cyclose, 3.66
Cygne, Le (constellation), 4.91

Daphnies, 3.10
Décapants pour travaux de soudure, 1.5, 1.7
Déclinaison, 4.74
Densimètre, 1.38, 2.286
Densité :
 définition, 2.14
 densité de l'acide sulfurique, 1.38
 densité des liquides, 2.15, 4.81
 densité des minéraux, 4.9
 densité des particules de terre, 4.9, 4.41
 détermination de la densité d'un solide insoluble dans l'eau, 2.14
 séparation des solides par différences de densité, 2.27
Détecteur d'électricité statique, 2.142
Détrempe ou recuit de l'acier, 2.64
Diamants, 2.27, 4.6
Diapason à branches, 2.191
Dicotylédones, 3.52A, 3.57, 3.60
Diffusion :
 ammoniac et chlorure d'hydrogène, 2.54
 diffusion ascendante du dioxyde de carbone, 2.53
 liquides, 2.55A
Dilatation :
 de l'air, 2.110-111, 4.115
 des liquides, 2.108-109
 des solides, 2.107
Dioxyde de carbone :
 diffusion du dioxyde de carbone, 2.53A
 emploi pour la cuisine, 2.39
 préparation, 2.38
 présence dans les feuilles, 3.45A
 propriétés, 2.38
 réaction du magnésium sur le dioxyde de carbone, 2.77
 utilisation pour mesurer la quantité d'oxygène consommé par de petits animaux, 3.61
Dioxyde de soufre, 2.75-76
Dispositif mettant en évidence le déplacement des ions, 2.90
Distance focale, 1.19, 4.65, 4.66
Distillation :
 distillation fractionnée, 2.21
 eau distillée, 1.32
 séparation par distillation, 2.20
Drosophiles, 3.23
Dugesia tigrina, 3.20
Durée du jour et de la nuit, 4.99
Dureté (des minéraux) :
 définition, 4.6
 échelle des duretés, 4.6
 essais de dureté, 4.6
Dytique, 3.9

Eau :
 action de la température, 4.59
 chaleur de vaporisation, 2.17
 comment mesurer la quantité d'air dissoute dans l'eau, 2.25
 condensation, 4.131-135
 condensée dans l'air, 4.121-130
 conduction de la chaleur, 2.123
 conductivité, 2.60C

- courants de convection, 2.124-126, 2.129
- cycle, 4.132-133
- dans le sol, 4.44-46, 4.48-50, 4.123
- dans les aliments, 2.98B
- dans les plantes, 4.124-125
- densité maximale, 2.129
- distillée, 1.32, 4.141
- eaux souterraines, 4.56-57
- éclaboussures, 4.52
- emploi pour mettre en évidence la pression atmosphérique, 4.117
- érosion, 4.50B, 4.53, 4.62
- évaporation, 4.56, 4.114, 4.122-123, 4.127-130
- gel, 2.129, 4.59, 4.143
- humidité atmosphérique, 4.112, 4.114, 4.121-136
- humidité produite par la respiration, 4.126
- humidité relative, 4.112-114
- hygromètre à cheveu, 4.112
- hygromètre à point de rosée, 4.113-114C, 4.134
- infiltration, 4.57
- influence sur les plantes, 4.44
- minéraux en solution, 4.55
- neige, 4.136
- nuages, 4.135, 4.143-144
- perméabilité du sol, 4.54
- pluviomètre, 4.46, 4.111, 4.113
- point d'ébullition, 2.5
- point de rosée, 4.113-114, 4.134-135
- pression, *voir* : Pression des liquides
- rôle dans la cristallisation, 2.32
- séparation d'un mélange d'eau et de benzène, 2.26
- Eau de chaux, 1.47, 2.98B, 3.42. *Voir aussi* : Hydroxyde de calcium
- Eau de mer, 1.50
- Eau régale, 1.39
- Éclat :
 - définition, 4.5
 - identification des minéraux, 4.5
- Éclipses :
 - de lune, 4, 85, 4.95, 4.97
 - de soleil, 4.84, 4.96
- Écliptique, 4.74
- Écosystème, 3.40
- Écriture à l'envers. 2.204
- Électricité:
 - courant électrique, 2.148-163
 - électricité statique, 2.137-147
- Électricité statique:
 - détecteur d'électricité statique, 2.142
 - les deux sortes de charges d'électricité statique, 2.146
 - électrophore (pour la production de plusieurs charges par une même source), 2.147
 - électroscopes, 2.143-146
 - phénomènes d'attraction et de répulsion, 2.138-142.
 - production de charges d'électricité statique, 2.137, 2.147
- Électrolyse :
 - appareil pour électrolyse, 2.69
 - électrolyse de l'eau, 2.69A
 - électrolyse de solutions de sels ioniques, 2.69B
 - électrolyse d'un corps fondu, 2.68
 - électrolyse d'une solution aqueuse d'un sel, 2.69
- Électromagnétisme:
 - champ magnétique à l'intérieur d'une bobine droite, 2.179
 - champ magnétique engendré par le passage de courant dans un fil, 2.178
 - électro-aimant cylindrique, 2.175, 2.177
 - électro-aimant en fer à cheval, 2.176
 - moteur électrique, 2.181
 - production d'électricité au moyen d'un aimant et d'une bobine, 2.180
- Électrophore, 2.147
- Électroscopes, 2.143-146
- Élevages :
 - crevettes *Artemia*, 3.31
 - drosophiles, 3.23
 - levure de bière, 3.26
 - micro-organismes, 3.25, 3.35
 - vers de farine, 3.24
- Élévation (angle d'), 4.139
- Elodea**, **3.9**, **3.41**, 3.45B, 3.66, 3.68
- Embryon :
 - dans la graine, 3.52A, 3.52B
 - de poulet, 3.11-13
- Énergie électrique, 2.84-85
- Énergie mécanique, 2.104
- Énergie mise en jeu par les réactions chimiques :
 - accumulateur à lames de plomb, 2.87
 - chaleur d'une réaction de neutralisation, 2.82
 - déplacement d'ions, 2.89-90
 - énergie électrique, 2.84-85
 - pile sèche, 2.88
 - réactions qui absorbent de la chaleur (endothermiques), 2.81
 - réactions qui dégagent de la chaleur (exothermiques) 2.80, 2.83
- Engrenages :
 - d'une bicyclette, 2.259
 - élémentaires, 2.260
- Entraînement à courroie, 2.258

- Éperviers, 3.5
Épinards, 3.68
Éprouvettes (graduées), 1.29
Équateur :
 céleste, 4.74
 terrestre, 4.70A, 4.88, 4.94, 4.98-99
Équilibre (expériences sur l') :
 balançoire à bascule, 2.232
 règle graduée d'un mètre, 2.233
Érosion, 4.50B, 4.53, 4.62
Escargots, 3.9, 3.62
Étain :
 conductivité, 2.60
 en alliage, 1.53, 2.63
 extraction d'un mélange d'étain et de carbone, 2.18
 réaction avec des acides 3 M, 2.74
 soudures d'étain et de cadmium, d'étain et de plomb, d'étain et de zinc, 1.4
Étaloir pour insectes, 3.15B
Étamine, 3.53
État (changement d') :
 transformation de liquides en vapeur, 2.17
 transformation de solides en liquides, 2.16
Éthanol, 2.17, 2.43, 2.60B, 2.95-96
Éthylène (Éthène), 2.96
Étoile polaire (*Polaris*), 4.70A, 4.71-72, 4.74-77
Étoiles :
 Achernar, 4.76B, 4.78B
 Albireo, 4.91
 alpha et bêta du Centaure, 4.76B, 4.78B
 Bételgeuse, 4.74, 4.91
 calendrier stellaire, 4.78A
 Canopus, 4.76B, 4.78B
 cartes et diagrammes, 4.71-74, 4.76, 4.78
 Chèvre, La, 4.76B, 4.91
 Étoile polaire, 4.70A, 4.71-72, 4.74-77
 Fomalhaut, 4.76B
 hauteur, 4.67
 horloge stellaire, 4.78B
 observation, 4.65-67
 orientation, 4.67
 révolution apparente, 4.71, 4.75, 4.78
 Rigel, 4.74
 sigma de l'octant, 4.76B
 Sirius, 4.73
 trajectoires 4.78, 4.90; en couleur, 4.91
 Véga, 4.76B, 4.78B
Étuve, 1.33
Euglènes, 3.66
Évaporation de l'eau :
 dépôt du sel à la suite de l'évaporation de l'eau, 4.56
 évaporation de l'eau du sol, 4.123
 influence de la surface, 4.127
 influence de la température, 4.128
 influence de l'humidité atmosphérique, 4.130
 influence des mouvements de l'air, 4.129
 mesure de l'eau « perdue » par évaporation, 4.122
 psychromètre, 4.114
Évolution saisonnière du ciel, 4.77
Expérience de l'oeillet et de la tête de vis, 2.105

Facteurs qui influent sur la vitesse d'une réaction chimique :
 catalyseurs, 2.94, 2.97
 concentration des corps en présence, 2.92
 dimension des particules, 2.91
 température, 2.92-93
Faisceaux libéro-ligneux, 3.56, 3.57
Faraday (mastic de), 1.56
Fehling (liqueur de), 1.62, 2.95
Feldspaths, 2.27, 4.6, 4.15, 4.20
Fer :
 dans les minéraux et les roches, 4.4, 4.21
 réaction avec des acides dilués, 2.74
 réaction avec le soufre, 2.70
 réaction de déplacement du cuivre, 2.83
 rouille, 2.40-42, 2.318, 4.58
Ferrocyanure de potassium, 1.11
Feuille (activité de la) [*Voir aussi* : Photosynthèse ; Respiration ; Transpiration] :
 chlorophylle, 3.44A
 dégagement de gaz carbonique, 3.45
 emploi d'eau iodée pour indiquer la présence d'amidon, 3.44
 emploi du bleu de bromothymol pour indiquer la présence de gaz carbonique, 3.45
 fossiles, 4.34
 production d'amidon, 3.44A
 production de sucre, 3.44B
 réactif des sucres, 3.44B
Fil à plomb, 4.139
Filet de l'étamine, 3.53-54
Flamme d'une bougie (étude de la), 2.1D
Fleurs (dissection), 3.53-55
Foliation :
 classification des roches, 4.23
 définition, 4.23
 fissilité (clivage), 4.23
 foliation régulière (schistosité), 4.23
 structure zonée (gneiss), 4.23
Fomalhaut, 4.76B
Forces :
 action et réaction, 2.249-251

Index

290

- force centripète, 2.243-246
- forces et mouvement, 2.247-248
- Formaldéhyde, 2.101-102
- Foucault (pendule de), 4.87-88
- Fougères, 3.39
- Fourmilères, 3.33A
- Fourmis :
 - alimentation, 3.36
 - capture, 3.33B
 - comportement, 3.33C, 3.36
 - dans le sol, 4.63
 - faire pénétrer des fourmis dans un nid, 3.33C
 - fourmilière en cage d'observation, 3.33
 - fournis servant de nourriture, 3.37
 - piège à insectes, 3.33B
 - reine des fourmis, 3.33B
- Frottement (réduction du) :
 - à l'aide de crayons, 2.261
 - à l'aide de roues, 2.262
 - à l'aide de roulements à billes, 2.264
 - à l'aide d'huile, 2.263
 - à l'aide d'un coussin d'air, 2.265
- Fusées, 4.102-104
- Fusibles, 1.53, 2.160-161

- Galaxie, 4.71
- Galène, 2.51
- Galvanomètre, 2.163
- Gaz de bois, 2.99
- Générateur d'hydrogène, 2.34
- Géranium, 3.48, 3.57
- Glaise, 4.36, 4.48-49
- Globe (cadran solaire sphérique), 4.70A
- Glucose, 3.45B
- Glycérine, 1.5
- Gnomon, 4.68-69
- Graines :
 - germination, 3.49, 4.44
 - structure, 3.52
- Grand Chien, Le (Canis major), 4.73
- Grande Ourse, La (Ursa major), 4.72, 4.77, 4.78B
- Graphite, 4.23
- Graphite (colloïdal), 2.52
- Gravillons, 4.48
- Grenouilles, 3.10, 3.39-40, 3.65
- Grès, 4.22
- Grillons, 3.14
- Gypse, 2.67, 4.6

- Halo, 4.144
- Haricots, 3.50, 3.52, 3.55, 3.58A, 3.60
- Hélice, 2.266

- Hiboux, 3.5, 3.7
- Horizon, 4.95
- Hornblende, 4.20
- Humidité :
 - atmosphérique, 4.112, 4.114, 4.121-136
 - relative, 4.112, 4.114
- Hydrogène :
 - générateur d'hydrogène, 2.34
 - préparation, 2.33-34, 2.73-74
 - propriétés, 2.33
 - réaction du sodium sur l'eau, 2.73
- Hydrogénocarbonate de sodium, 2.11
- Hydroxyde cuivrique ammoniacal (réactif de Schweitzer), 1.58
- Hydroxyde d'ammonium, 1.37, 2.36, 2.47
- Hydroxyde de calcium, 1.37. **Voir** aussi : Eau de chaux
- Hydroxyde de sodium, 1.37, 1.69, 2.73, 2.79, 2.82, 4.112
- Hydroxyde ferrique, 2.71
- Hygromètre à point de rosée, 4.113-114, 4.134
- Hyposulfite (thiosulfate) de sodium, 2.45, 2.92-93

- Iguane, 3.37
- Indicateurs d'acides et de bases :
 - emploi des extraits végétaux comme indicateurs d'acidité ou d'alcalinité, 2.44
 - extraction de colorants végétaux, 2.43
 - méthyl-orange, 2.78
 - pH, 2.44
 - phénolphthaléine, 2.78
 - tournesol, 2.44
- Indicateurs de la vitesse des vents (anémomètres), 4.108-109
- Indicateurs d'électricité statique :
 - moelle de sureau, 2.143, 2.146
 - papier métallique, 2.144-145
- Inertie
 - Étude de l'inertie à l'aide de :
 - deux pendules formés de boîtes à conserves, 2.241
 - d'une pelle, 2.242B
 - d'une pierre, 2.240
 - d'une pile de livres, 2.242A
- Infrarouge, 2.223
- Insectes :
 - bocal pour tuer les insectes, 3.15A
 - cage, 3.15E
 - étaioir, 3.15B
 - filet pour la capture, 3.14
 - servant de nourriture, 3.38
- Instruments d'observation astronomique** :
 - lentilles, 4.65-66

lunette astronomique rudimentaire, 1.19, 4.65
miroirs, 4.66
téléscope rudimentaire, 4.66
Interrupteurs, 2.152-153
Iodure d'argent, 2.71
Iodure de plomb, 2.71
Iodure de potassium, 2.60, 2.69, 2.71
Ions, 2.69, 2.71, 2.72, 2.83, 2.85, 2.87-90
Iris (plante), 3.48
Isolation (chaleur), 2.117

Jardin dans un verre à boire, 3.50
Jet d'eau (expérience du), 2.37B, 2.314

Kérosène, 2.73
Kilocalories dégagées par des réactions chimiques,
2.82-83

Labours selon les courbes de niveau, 4.53
Laiton, 1.5, 1.53
Laitue, 3.68
Lampes :
à alcool, 1.25, 2.1
Davy, 2.119
torche, 2.154
Latitude, 4.70A, 4.74
Lemma minor, 3.9
Lentilles :
action des lentilles sur les rayons lumineux, 2.211
banc d'optique, 2.219
carafe d'eau servant de condenseur, 1.20
image donnée par une lentille convexe, 2.217
longue-vue, 1.19, 4.65
objectif, 1.19-21
pouvoir grossissant, 2.218
Leviers, 2.252
Levure :
agissant comme catalyseur, 2.95
culture, 3.26A
échantillonnage des populations, 3.27, 3.29
levure chimique, emploi pour la cuisine, 2.39
levure de boulanger, 3.26
reproduction, 3.26B
Lime, 1.2, 1.20
Limon, 4.34, 4.60
Lois :
de Boyle, 2.316
de Newton, 4.102, 4.105
Longitude, 4.70C, 4.74
Loupe (goutte d'eau), 1.17-18
Lumière :
banc d'optique, 2.219

Index

boîte à fumée, 2.202-203
boîte à rayons, 2.205-206
comment « verser » de la lumière, 2.216
couleur, 2.225-231
écriture à l'envers, 2.204
électricité (1'), source de lumière, 2.162
expériences à l'aide de réseaux de diffraction, 2.222
lentilles, 1.19-20, 2.211, 2.217-219, 4.65
lumière ultraviolette, 2.224
'miroir concave, 2.207
miroir convexe, 2.208
prisme, 2.210, 2.220
rayons infrarouges, 2.223
réflexion, 2.201, 2.203, 2.206-209, 2.212
réfraction, 2.204, 2.211, 2.213-215
sources lumineuses, 2.199-200
spectre, 2.209-210, 2.220-222, 2.225-226, 2.228
vitesse de la lumière, 4.73

Lune :
comment photographier la trajectoire apparente
de la Lune, 4.90
coucher, 4.95
couronne, 4.143-144
croissant, 4.83
éclipse, 4.85, 4.95, 4.97
halo, 4.144
lever, 4.95
orbite, 4.97
phases, 4.82-83, 4.95
quartiers, 4.95
Lunette de visée rudimentaire, 4.139

Machines :
engrenage, 2.259-260
entraînement à courroie, 2.258
hélice, 2.266
leviers, 2.252
plans inclinés, 2.252
poulies, 2.254-256
réduction du frottement, 2.261-265
treuil, 2.253
Magnésium :
combustion, 2.28B
dans la croûte terrestre, 4.4
dans les roches ignées, 4.21
déplacement du cuivre d'une solution aqueuse
de sulfate cuivrique, 2.72, 2.80B
réaction sur l'acide chlorhydrique, 2.36C, 2.74
réaction sur le dioxyde de carbone, 2.77
Magnétisme :
aiguille de boussole rudimentaire, 2.164
aimants artificiels, 2.169

- aimants en suspension libre, 2.167
- aimants naturels, 2.168
- bobine d'aimantation, 2.166
- champs magnétiques, 2.173-174
- électromagnétisme, 2.175-181
- fragments d'aimants, 2.172
- inclinaison magnétique, 2.165
- magnétisme des minéraux, 4.13
- pôles magnétiques, 2.171
- substances magnétiques, 2.170
- Maïs, 3.52, 3.56
- Marbre, 2.38, 2.91, 4.23, 4.31
- Mars, 4.79
- Mastics, **voir** : Ciments, colles, mastic s
- Mécanique :
 - équilibre, 2.232-233
 - expériences sur la pesanteur, 2.234-235, 2.238-239
 - forces, 2.243, 2.351
 - inertie, 2.240-242
 - machines, 2.252-266
 - pendules, 2.236-237, 2.241
- Mécanique des fluides:
 - modèles réduits de roues à eau, 2.278
 - poussée de bas en haut dans les liquides, 2.279-289
 - pression atmosphérique, 2.301-319, 4.115, 4.117
 - pression de l'eau, 2.267-277
 - tension superficielle, 2.290-300
- Mélanges (séparation des), 2.18, 2.20, 2.22, 2.26-27
- Mercure :
 - baromètre à mercure, 2.307
 - séparation du mercure et de l'eau, 2.26
- Mercure (planète), 4.79
- Méridien, 4.70A, 4.74
- Méridien de Greenwich, 4.74
- Merles, 3.7
- Météorologie, **voir** : Air; Eau; Météorologie (travaux pratiques); Vent
- Météorologie (travaux pratiques) :
 - coffret de protection pour appareils, 4.113
 - fabrication d'instruments, 4.107-114
 - fronts, 4.138, 4.143-144
 - image hygroscopique, 4.140
 - journal météo, 4.137
 - nuages, 4.135, 4.141, 4.143
 - occlusion, 4.138
 - orages, 4.142
 - ouragans, 4.144
 - quantité de poussière dans l'air, 4.141
 - tornades, 4.144
- Méthyl-orange, 2.78
- Mica, 2.51, 4.16, 4.20
- Microprojecteur, 1.21-22
- Microscopes (**Voir aussi** : Loupe, 1.17-18)
 - composé, 1.22
 - électronique, 3.71
 - simple, 1.17
- Minéraux :
 - amorphes, 4.12
 - cassure, 4.10
 - couleur, 4.8
 - cristallins, 4.12
 - définition, 4.3
 - densité, 4.9, 4.41
 - dureté, 4.6
 - éclat, 4.5
 - éléments de la croûte terrestre, 4.4
 - en solution, 4.55
 - essais à l'acide chlorhydrique, 4.13, 4.55
 - essais** concernant diverses propriétés, 4.13
 - feldspaths, 4.6, 4.15, 4.20, 4.22
 - légers, 4.9
 - lourds, 4.9
 - magnétisme, 4.13
 - non cristallins, 4.12
 - notes pour l'identification, 4.20
 - opaques, 4.11
 - piézoélectricité et pyroélectricité, 4.33
 - propriétés physiques, 4.5-20
 - quartz, 4.6, 4.14, 4.20, 4.22, 4.30, 4.33, 4.55
 - rupture (clivage et fracture), 4.10
 - structure cristalline, 4.12
 - tourmaline, 4.33
 - trace, 4.7
 - translucides, 4.11
 - transparents, 4.11
- Minium, 4.33
- Miroirs :
 - concaves, 2.207, 4.66
 - convexes, 2.208
- Molarité, **voir** : Chapitre premier
- Monocotylédone, 3.52, 3.56, 3.60
- Moteur électrique rudimentaire, 2.181
- Mouches :
 - à viande, 3.70
 - du vinaigre : alimentation, 3.23; élevage, 3.23; piégeage, 3.32; populations, 3.23, 3.30
- Moulages en plâtre, 3.5
- Mousse, 3.39
- Moutarde (graines de), 3.58-59
- Mouvements browniens, 2.52
- Mouvements ondulatoires :
 - étude des ondes dans un bac : ondes circulaires, 2.184; ondes rectilignes simples, 2.185; réflexion

- sur des obstacles rectilignes et curvilignes, 2.186-187; réfraction, 2.188-189
- lumière, 2.199-231
- ondes sonores, 2.190-198
- propagation des ondes le long d'une corde, 2.182
- Muscovite, 4.16
- Myriophyllum, 3.9

- Naphthalène, 2.2-3, 2.16, 2.46, 2.60
- Navets, 3.46B
- Néon, 4.101
- Neptune, 4.28
- Nessler (réactif de), 1.66
- Newton (lois de), 4.102, 4.105
- Nids, 3.6-7
- Nitrate d'argent, 2.71
- Nitrate de bismuth, 1.41
- Nitrate de plomb, 2.71
- Nitrate de potassium, 2.47, 2.81
- Nitrate mercureux, 1.49
- Noir mat, 1.59
- Nuages :
 - altitude des nuages, 4.143
 - altostratus, 4.143-144
 - brouillard, 4.143-144
 - cirrocumulus, 4.143-144
 - cirrostratus, 4.143-144
 - cirrus, 4.143-144
 - cumulonimbus, 4.143-144
 - nimbostratus, 4.143-144 •
 - nuage dans une bouteille, 4.135
 - stratocumulus, 4.143-144
 - stratus, 4.143-144
- Occlusion de fronts chauds et froids, 4.138
- Octant, L' (sigma), 4.76B
- Oignons, 3.58A, 3.58C, 3.59
- Oiseaux :
 - construction de nids, 3.7
 - moulages en plâtre d'empreintes de pattes, 3.5
 - nidification, 3.6
 - nourriture, 3.8
 - types de becs, 3.4
 - types de pattes, 3.5
- Olivine, 4.18
- Orages, 4.142
- Orbite :
 - de la Lune, 4.97
 - terrestre, 4.97-99, 4.105
- Oreille, 2.197
- Orion (le Chasseur), 4.72-74, 4.91
- Orthose, 4.15

- Osmose, 3.47
- Ouragans, 4.114
- Ovaire de la fleur, 3.53-55
- Oxydation :
 - oxyde de fer, 2.42, 2.318, 4.58
 - peroxyde d'hydrogène, 2.76B
 - soudures, 1.6
- Oxyde de cuivre II, 2.94
- Oxyde de fer, 2.40-42, 2.318, 4.22, 4.58
- Oxyde de manganèse IV, 2.35, 2.88, 2.94
- Oxyde de nickel, 2.94
- Oxyde de zinc, 2.31, 2.94
- Oxygène :
 - dans la croûte terrestre, 4.4
 - oxydation, 1.6, 2.42, 2.76B, 2.318, 4.58
 - préparation, 2.35A, 2.94
 - propriétés, 2.35B
 - respiration des animaux, 3.61
 - respiration des feuilles, 3.41
 - solution absorbante pour l'oxygène, 1.67
- Paille (chalumeau), 1.15, 2.306, 4.48, 4.67
- Papier sensible à la chaleur, 1.64
- Paraffine, 2.122
- Paramécie, 3.35
- Particules colloïdales, 2.58
- Patate douce, 3.46A
- Pégase, 4.72
- Pélican, 3.5
- Pendules :
 - pendule de Foucault, 4.48, 4.88
 - pendule simple, 2.236
 - pendules couplés, 2.237
- Période de rotation du Soleil, 4.86
- Permanganate de potassium, 2.30A, 2.55B, 2.56, 2.76, 2.90, 2.96, 2.124
- Perméabilité du sol, 4.54
- Peroxyde d'hydrogène, 2.35, 2.76, 2.94
- Peson à ressort, 1.13
- Petite Ourse, La (Ursa minor), 4.72
- Petits pois, 3.52, 3.55
- Pétrole brut, 2.21
- Phases de la Lune, 4.82-83
- Phénolphtaléine, 2.78
- Photographie :
 - constellations, 4.92
 - satellites, 4.93
 - trajectoire apparente de la Lune, 4.90
 - trajectoire apparente du Soleil, 4.90
 - trajectoire des étoiles, 4.90
- Photosynthèse, 3.41
- Phryganes, 3.9

Index

294

- Pic (oiseau), 3.5
- Piège pour petits oiseaux et reptiles, 3.18
- Piézoélectricité, 4.33
- Piles :
 - Daniell, 2.85
 - sèche, 2.88, 2.150-151
- Pince crocodile, 2.60, 2.156
- Pince pour tubes à essai, 1.34
- Pistil, 3.53-54
- Plagioclase, 4.15
- Plan incliné, 2.257A
 - cric, 2.257C
 - pas de vis, 2.257B
- Planaires :
 - capture et nourriture, 3.20
 - comportement, 3.21
 - régénération, 3.22
- Planètes, 4.79
- Plantes (*voir aussi* : Feuille) :
 - action de la lumière, 3.58
 - culture sans sol, 3.46
 - influence de l'eau, 4.44, 4.124-125
 - influence du sol, 4.39-40, 4.44, 4.50B, 4.52, 4.62
- Plantes succulentes, 3.37
- Plantes vasculaires, 3.60
- Plâtre de Paris, 2.67, 3.5, 4.25, 4.34
- Plomb :
 - accumulateur à lames de plomb, 2.87
 - alliages de plomb et d'étain, 2.61-63
 - électrolyse de bromure de plomb fondu, 2.68
 - le plomb fondu, conducteur de l'électricité, 2.60
 - réaction avec des acides dilués, 2.74
- Pluie, 4.46, 4.50-53, 4.111, 4.132-133
- Pluton, 4.79
- Pluviomètre, 4.46, 4.111, 4.113, 4.132-133
- Poids, 4.105
- Poids et pression, 2.267
- Point de rosée, 4.134
- Points d'ébullition (détermination des) :
 - eau, 2.5
 - incidence de la pression sur le point d'ébullition, 2.8
 - liquides inflammables, 2.6
 - mélange de deux liquides, 2.7
- Points de fusion :
 - acide stéarique, 2.2
 - influence des impuretés, 2.4
 - naphtalène, 2.2-3
- Poisson, 3.65
- Pôles :
 - céleste nord, 4.71
 - céleste sud, 4.71
 - nord, 4.70C
 - sud, 4.70C
- Pollen (germination du), 3.51, 3.54-55
- Polymérisation de molécules :
 - extraction de la caséine du lait, 2.100
 - résine formaldéhyde résorcinol, 2.102
 - résine urée-formaldéhyde, 2.101
- Pomme, 3.55
- Pomme de terre, 3.45, 3.47-48, 3.58B
- Pompe :
 - aspirante, 2.311
 - à vide, 2.196
 - de bicyclette, 2.309
 - foulante, 2.312
- Pont salin, 2.85
- Populations :
 - crevettes des marais salants (*Artemia*), 3.31
 - levure, 3.26
 - mouches du vinaigre, 3.30
 - populations humaines, 3.29
 - représentation graphique des variations de population, 3.28
- Porphyres, 4.21
- Potentiels d'électrodes (classement selon les), 2.86
- Potomètre, 3.43
- Poulie :
 - fixe, 2.255
 - mobile, 2.256
 - rudimentaire, 2.254
- Poussée, 2.305, 4.104, 4.117
- Poussée de bas en haut dans les liquides :
 - bougie flottante, 2.283
 - comment faire un densimètre avec une paille, 2.286
 - comment un sous-marin plonge et fait surface, 2.288
 - corps flottants, 2.282
 - corps plongés dans un liquide, 2.281
 - flottabilité dans des liquides différents, 2.287
 - flottabilité de diverses essences de bois, 2.284
 - ludion, 2.280
 - œuf flottant, 2.285
 - pourquoi un corps flotte ou coule, 2.289
 - poussée d'Archimède, 2.279
- Pouvoir calorifique d'un combustible, 2.136
- Pression :
 - effet sur les minéraux, 4.33
 - pression de liquides différents, 2.270
 - pression et force, 2.267
- Pression atmosphérique :
 - l'air a une masse, 2.304, 4.116
 - l'air exerce une pression, 2.301-319, 4.115, 4.117

- l'air tient de la place, 2.303
- baromètre à mercure simplifié, 2.307
- baromètre anéroïde, 2.308
- élever de l'eau grâce à la pression atmosphérique, 2.315
- étude de la pression de l'air à l'aide de seringues, 2.301
- expériences sur l'écoulement de l'air, 2.319
- jet d'eau actionné par un siphon, 2.314
- mesure de la pression atmosphérique, 2.309-310
- modèle du fonctionnement des poumons, 2.317
- oxydation et pression atmosphérique, 2.138
- pompe aspirante rudimentaire, 2.311
- pompe foulante faite avec des tubes à essai, 2.312
- présence de l'air, 2.302
- relation entre le volume et la pression de l'air (loi de Boyle), 2.316
- siphon simplifié, 2.313
- utilisation de la pression de l'air pour enfoncer une paille dans une pomme de terre, 2.306
- Pression des liquides :
 - comment faire constater la poussée, 4.104A
 - l'eau n'est pas compressible, 2.275
 - les liquides exercent des pressions, 2.268
 - modèle réduit d'ascenseur hydraulique, 2.276
 - modèle réduit de bélier hydraulique, 2.277
 - pression de l'eau dans un récipient large, 2.271
 - la pression de l'eau est la même dans toutes les directions, 2.272
 - la pression de l'eau peut soulever de lourdes charges, 2.274
 - la pression de l'eau varie selon la profondeur, 2.269
 - variation de la pression selon la nature du liquide, 2.270
 - vases communicants, 2.273
- Prisme, 2.110, 2.220
- Projecteur, 1.20
- Propulsion (action et réaction), 2.249-251, 4.102-104
- Protozoaire, 3.35, 3.66
- Psychromètre, 4.114A, 4.114B, 4.134
- Pyroxènes, 4.17

- Quartz, 2.27, 4.6, 4.14, 4.22, 4.30, 4.33, 4.55
- Quartzite, 4.23, 4.40

- Racines (croissance), 3.48-50
- Radis, 3.48, 3.58A, 3.58C, 3.59A
- Rayonnement (chaleur) :
 - concentration des ondes de chaleur, 2.131
 - influence de la nature des surfaces, 2.134
 - passage de la chaleur rayonnante dans du verre, 2.133
- Réactifs :
 - liqueur de Bénédicte, 1.54
 - liqueur de Fehling, 1.62, 2.95
 - réactif de Nessler, 1.66
 - réactif de Schweitzer, 1.58
- Réaction et action, 2.249-251, 4.102-104
- Réactions entre des ions en solutions aqueuses, 2.71
- Réceptacle, 3.53-54
- Réchauds :
 - à charbon de bois, 1.24
 - à propane, 1.27
- Réduction, 2.76
- Réflexion :
 - de la lumière, 2.201, 2.203-204, 2.206-208
 - des ondes de chaleur rayonnante, 2.132
- Réfraction de la lumière, 2.209-215
- Réseaux de diffraction, 2.222
- Respiration, 3.42, 3.71
- Revenu de l'acier, 2.64
- Révolution (apparente), de la voûte céleste, 4.71
- Rigel, 4.74
- Roches :
 - collection, 4.27-28
 - définition, 4.3
 - identification, 4.1, 4.31
 - ignées, 4.18, 4.21, 4.24
 - métamorphiques, 4.23, 4.26
 - observation, 4.1, 4.29
 - préparation pour observation, 4.2
 - sédimentaires, 4.18, 4.22, 4.25
 - texture, 4.21
- Roches ignées :
 - artificielles, 4.24
 - basalte, 4.40
 - constituants principaux, 4.21
 - extrusives, 4.21
 - formation, 4.21
 - intrusives, 4.21
 - porphyres, 4.21
 - texture, 4.21
- Roches métamorphiques :
 - ardoise, 4.23
 - artificielles, 4.26
 - classification, 4.23
 - foliation, 4.23
 - gneiss, 4.23
 - marbre, 4.23, 4.31
 - quartzite, 4.23, 4.40
 - schiste, 4.23, 4.40
 - texture, 4.23

- Roches sédimentaires :
agents de cimentation, 4.22
argile, 4.26, 4.32, 4.48-49, 4.55, 4.60
artificielles, 4.25
calcaires, 4.22, 4.31, 4.38, 4.40, 4.55
chert, 4.22
clastiques, 4.22
conglomérats, 4.22
fossiles, 4.34
grès, 4.22
limon, 4.34, 4.60
précipités, 4.22
schiste, 4.22, 4.38
tri des sédiments, 4.32
- Roses, 3.55
- Rotation des cultures, 4.53
- Roue à aubes, 2.278
- Rouille, 2.40-42.
- Rupture de grosses molécules :
de l'amidon au sucre, 2.95
de l'éthanol à l'éthylène, 2.96
éléments couramment contenus dans les aliments, 2.98
obtention d'un combustible gazeux à partir du bois, 2.99
rupture d'un polymère en petites molécules, 2.97
- Sable, 2.22, 4.22, 4.30, 4.36, 4.48-49, 4.64
- Saisons, 4.70, 4.98
- Salamandres, 3.39
- Satellites (lanceur de), 4.106
- Saturne, 4.79
- Saule, 3.48, 3.57
- Savon (fabrication du), 2.79
- Schiste, 4.22, 4.38
- Schweitzer (réactif de), 1.58
- Sépales, 3.53-54
- Séparation de substances :
chromatographie, 2.24
distillation, 2.20
distillation fractionnée, 2.21
extraction d'huile, 2.23
gaz dissous dans l'eau, 2.25
séparation de deux liquides non miscibles, 2.26
séparation de deux solides par différences de densité, 2.27
séparation du sel et du sable, 2.22
séparation d'un mélange d'étain et de carbone, 2.18
sublimation, 2.19
- Seringues, 2.33, 2.301, 2.311
- Serpentine, 4.23
- Silice, *voir* : Sable
- Siphon, 2.313-314
- Sirius, 4.73
- Sodium :
élément, 4.4
réaction sur l'eau, 2.73
- Soleil :
angle d'incidence des rayons solaires, 4.100
changements de positions selon les saisons, 4.89
couronne, 4.96, 4.143
durée du jour, 4.70, 4.99
éclipse du soleil, 4.84, 4.96
emploi du spectroscope pour déterminer la composition du Soleil, 4.101
halo, 4.144
période de rotation du Soleil, 4.86, 4.94
photographie de la trajectoire apparente du Soleil, 4.90
système solaire, 4.79
taches solaires, 4.86
- Sols :
acides, 4.47
action de la pluie, 4.50-53
action du vent, 4.64
air dans le sol, 4.43
basiques, 4.47
capillarité, 4.48, 4.56-57
culture en terrasse, 4.53
densité, 4.9, 4.41
différences entre les particules de terre, 4.41
eau, 4.44-46, 4.48-49, 4.52-57, 4.59
eaux souterraines, 4.56-57
entonnoir pour recueillir les organismes du sol, 3.16
érosion, 4.53, 4.62
étude des labours selon les courbes de niveau, 4.53
fertilité, 4.44
formation, 4.37-38
horizons, 4.61
influence des organismes vivants, 4.63
influence sur la croissance des végétaux, 4.39
nutrition des plantes, 4.40
perméabilité, 4.54
prélèvement d'échantillons, 4.42, 4.54
profil, 4.61
rotation des cultures, 4.53
sol superficiel, 4.44, 4.61
sous-sol, 4.44, 4.61
tarière, 4.42
types, 4.36
- Solutions :

- de moralité déterminée, **voir** : Chapitre premier
- influence de la grosseur des particules, 2.12
- influence de la température, 2.10
- minéraux en solution dans le sol, 4.55-56
- solubilité à une température déterminée, 2.11
- solubilité des sels, 2.9
- solutions saturées, 2.10
- solvants, 2.13
- Son :
 - boîte à conserves vibrante, 2.193
 - comment voir et sentir les vibrations dues aux ondes sonores, 2.192
 - formes des ondes sonores, 2.190
 - matériaux qui absorbent le son, 2.195
 - oreille, 2.197
 - propagation à travers le bois, 2.194
 - tracé donné par un diapason à branches, 2.191
 - voix, 2.198
- Soude caustique, **voir** : Hydroxyde de sodium
- Soudure :
 - connexions électriques, 1.7
 - décapants, 1.5
 - fer à souder, 1.5
 - lampe à souder, 1.8
 - méthodes, 1.6
 - soudures, 1.4
- Soufre, 2.48, 2.60 :
 - réaction du soufre et du cuivre, 2.70
 - réaction du soufre et du fer, 2.70
 - réaction du soufre et du zinc, 2.70
- Sources de chaleur :
 - brûleur à bougies, 1.23
 - brûleur au gaz propane, 1.26-27
 - brûleur Bunsen, 1.26, 2.1
 - lampe à alcool, 1.25, 2.1
 - réchaud à charbon de bois, 1.24
- Spectre (lumière), 2.209-210, 2.220-222, 2.225-226, 2.228, 4.101
- Spectroscope, 4.101
- Sphère céleste, 4.71, 4.74, 4.90
- Stigmate, 3.53
- Structure atomique des minéraux, 4.12
- Style, 3.53
- Styloniche, 3.35
- Sublimation, 2.19
- Sucre, 2.39, 2.60B, 2.95, 4.24
 - production par les plantes, 3.44B, 3.51
- Suif, 1.5
- Sulfate cuivrique, 1.42, 2.12, 2.32-33, 2.47, 2.69, 2.71-72, 2.80, 2.83-86, 2.89, 3.46B, 3.47-48
- Sulfate de calcium, 2.67
- Sulfate de magnésium, 1.50
- Sulfate de potassium, 1.50, 2.11
- Sulfate de sodium, 2.47, 2.87
- Sulfate de zinc, 2.33-34, 2.69, 2.74, 2.83, 2.85
- Sulfate double ammoniaco-ferreux, 1.45
- Sulfate ferreux, 1.46
- Sulfate ferrique, 1.44, 4.58
- Sulfure de sodium, 1.51
- Sulfure ferreux, 2.70
- Suspension de particules, 2.58
- Système bilame, 2.107
- Système solaire, 4.79
- Systèmes de référence, 4.015
- Table de montage, 2.156-163
- Tableaux psychrométriques, 4.112, 4.114
- Talc, 4.6, 4.23
- Teinture, 1.60
- Teinture d'iode, 1.65, 2.13, 2.19, 2.95
- Température :
 - influence sur : l'eau, 2.129, 4.59; les plantes, 4.44; l'évaporation de l'eau, 4.128, 4.135
 - journal météo, 4.137
 - pyroélectricité, 4.33
 - sensation de température, 2.112
 - température des fronts, 4.138
- Temps, 4.68-70, 4.78, 4.89B, 4.94
- Temps moyen local, 4.94
- Tension superficielle :
 - action du savon sur la tension superficielle, 2.290
 - bulles de savon, 2.298-300
 - comment faire flotter une aiguille, 2.291
 - comment faire flotter une lame de rasoir, 2.292
 - comment remplir un verre plus qu'à ras bord, 2.295
 - comment retenir de l'eau dans un tamis, 2.294
 - comment serrer de l'eau entre les doigts, 2.296
 - comment soulever la surface de l'eau, 2.293
 - propulsion d'un bateau grâce à la tension superficielle, 2.297
- Térébenthine, 1.5
- Termites, 3.36
- Terrarium, 3.36-39
- Terre :
 - attraction terrestre, 4.104C, 4.105
 - axe, 4.98
 - cercle arctique, 4.70A, 4.98-99
 - dans le système solaire, 4.79
 - durées différentes du jour et de la nuit, 4.99
 - éléments de la croûte terrestre, 4.4
 - équateur, 4.70A, 4.88, 4.94, 4.98-99

- influence de l'angle d'incidence des rayons solaires sur la quantité de chaleur et de lumière reçue par la Terre, 4.100
- orbite terrestre, 4.97-99, 4.105
- rotation, 4.70A, 4.70B, 4.87-88, 4.91, 4.98
- tropique du Cancer, 4.70A, 4.98-99
- tropique du Capricorne, 4.99
- Têtards, 3.9
- Tétrachloroéthane, 2.17
- Tétrachlorure de carbone, 2.13, 2.15, 2.26, 2.49, 2.60B
- Tetrahymena, 3.35
- Théodolite (astrolabe), 4.67
- Thermomètres :
 - principe, 2.113
 - réservoir sec et réservoir mouillé, 4.114
 - température du point de rosée, 4.134
 - thermomètre à alcool, 2.144
 - vérification, 2.115
- Thermoscope, 2.116
- Tige :
 - croissance, 3.50; action de la lumière, 3.58A, 3.58B; action de la pesanteur, 3.59A, 3.59B; action de lumières de couleurs différentes, 3.58D
 - de dicotylédone, 3.57
 - de monocotylédone, 3.56
 - tissus, 3.60
- Tirages :
 - diazo, 1.10
 - héliographique, 1.9, 1.11
- Tissus :
 - dissection d'une patte de poulet, 3.63
 - flux sanguin, 3.65
 - muscle, 3.63
 - os, 3.63
 - sang et vaisseaux sanguins, 3.63-65
 - tendons, 3.63
 - tissus de la tige, 3.60
- Titration (des acides et des bases), 2.78
- Toluène, 2.15, 2.48
- Tomates, 3.55, 3.57
- Topaze, 4.6
- Tornades, 4.144
- Tourmaline, 4.33
- Tournesol :
 - papier, 4.47
 - solution, 1.48
- Tournesol (graines de), 3.52
- Trace d'un minéral, 4.7
- Tradescantia, 3.68
- Transformateur, 1.3
- Transparence des minéraux, 4.11
- Transpiration, 3.43
- Trempe de l'acier, 2.64B
- Trépied, 1.30
- Treuil, 2.253
- Trichloroéthane, 2.17
- Tritons, 3.10, 3.39
- Troglodyte (oiseau), 3.7
- Tropique du Cancer, 4.70A, 4.98-99
- Tropique du Capricorne, 4.99
- Tube capillaire :
 - pour déterminer le point de fusion, 2.3
 - pour déterminer le point d'ébullition, 2.6B
- Tube gradué, 4.111
- Ultraviolet, 2.224
- Uranus, 4.79
- Urée, 2.89
- Vaporisation (chaleur de), 2.17
- Véga, 4.76B, 4.78B
- Vent :
 - action sur les sols, 4.64
 - anémomètre à déflexion, 4.109
 - comment mesurer la vitesse des vents éloignés du sol, 4.139
 - échelle des vents, 4.137
 - girouette, 4.107, 4.113
 - indicateurs de vitesse (anémomètres), 4.108-109, 4.113
 - tri de particules, 4.64
 - vitesse des ouragans et des tornades, 4.144
- Ventilation, 4.119
- Vénus (Étoile du matin et du soir), 4.79-80
- Verre :
 - coupe de tubes de verre, 1.2
 - coupe du verre, 1.1, 1.2
 - coupe-verre à résistance électrique, 1.3
 - double épaisseur, 1.1
 - glace, 1.1
 - laine de verre, 1.28
 - passage des bords à la flamme, 1.2
 - simple épaisseur, 1.1
 - verre de sécurité, 1.1
- Vers de farine, 3.24, 3.61
- Vers de terre :
 - alimentation, 3.32
 - comment conserver des vers de terre vivants, 3.32
 - rôle dans l'aération du sol, 4.63
 - servant de nourriture, 3.38
- Vide, 2.196
- Voie lactée, 4.71, 4.73

299

Index

Voix (émission de la), 2.198

Vorticelle, 3.35

Wood (alliage de), 1.53

Xylène, 2.48

Zénith, 4.74

Zinc :

décapant pour souder le zinc, 1.5

électrode dans une pile, 2.84-85, 2.88, 2.150

emploi dans les réactions de déplacement du cuivre,
2.83

préparation de l'hydrogène, 2.33-34, 2.74

Document produit par reconnaissance optique de caractères (OCR). Des erreurs orthographiques peuvent subsister.
Pour accéder au document d'origine sous forme image, cliquez sur le bouton "Original" situé sur la 1ère page.

