

# AVENIR ET SCIENCES

Numéro 1

SPECIAL TESF

## LE MIRACLE DE L'ELECTRICITE SANS FIL

- > **WITRICITY:** L'avenir de l'électronique
- > **TESF:** Toute une ville bientôt alimentée!
- > **CSS:** Des centrales solaires dans l'espace

MO0712-123-F: 4,50 €





Nikola Tesla holding in his hands balls of flame

# EDITO

De nos jours la science progresse quotidiennement. Il y a trente ans de telles avancées seraient inimaginables, mais l'intelligence de l'Homme sait décidément rivaliser avec l'impossible. Les récentes découvertes au niveau du Transport d'Energie Sans fil ainsi que le contact de M. Guy Pignolet, chercheur à l'université de la Réunion (merci infiniment à lui), nous ont poussés à opter pour ce sujet aussi passionnant que sérieux dans notre premier numéro de *Avenir et science*. Nous avons rassemblé dans ce dossier assez exhaustif toutes les informations publiques disponibles, dénichées sur le net et dans certaines revues scientifiques spécialisées. Malheureusement, quoique la qualité de ces données n'est plus à vérifier, le TESH n'est encore qu'un sujet expérimental, et donc les études réalisées incomplètes. Nous vous souhaitons néanmoins une agréable lecture...

## SOMMAIRE

Avenir et sciences n°1

### Partie 1: Le TESF c'est quoi?

A. Petite Histoire du  
TESF p. 8

B. Comment ça  
marche? p. 9

### Partie 2: Le TESF Aujourd'hui

A. Witricity, le projet  
du MIT p. 14

B. L'expérience de  
Grand Bassin p. 16

### Partie 3: L'avenir du TESF

A. Les CSS,  
centrales solaires de  
l'espace p. 22

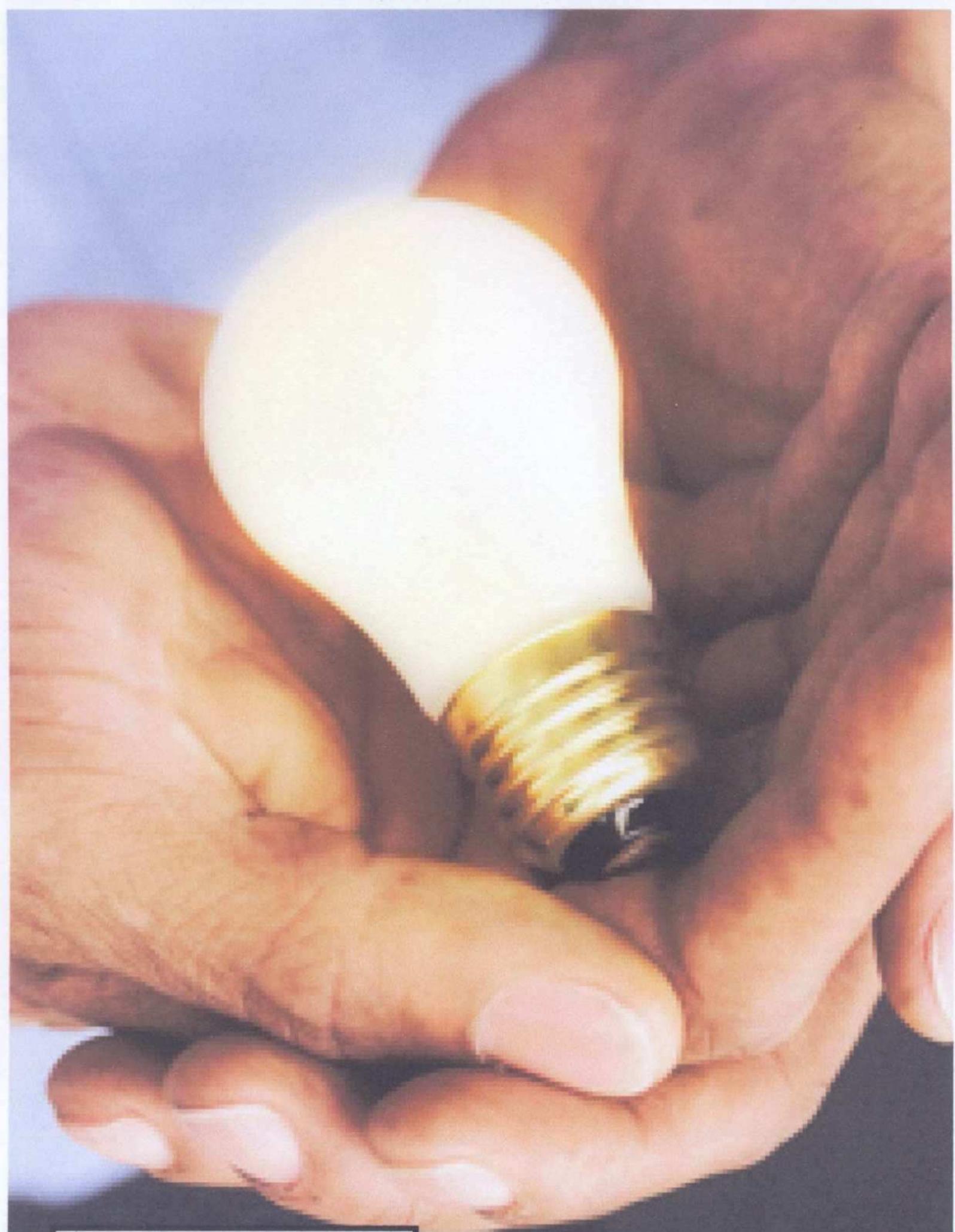
B. Les limites d'une  
technologie p. 24



Conclusion p. 26

Lexique p.27

Bibliographie p. 28

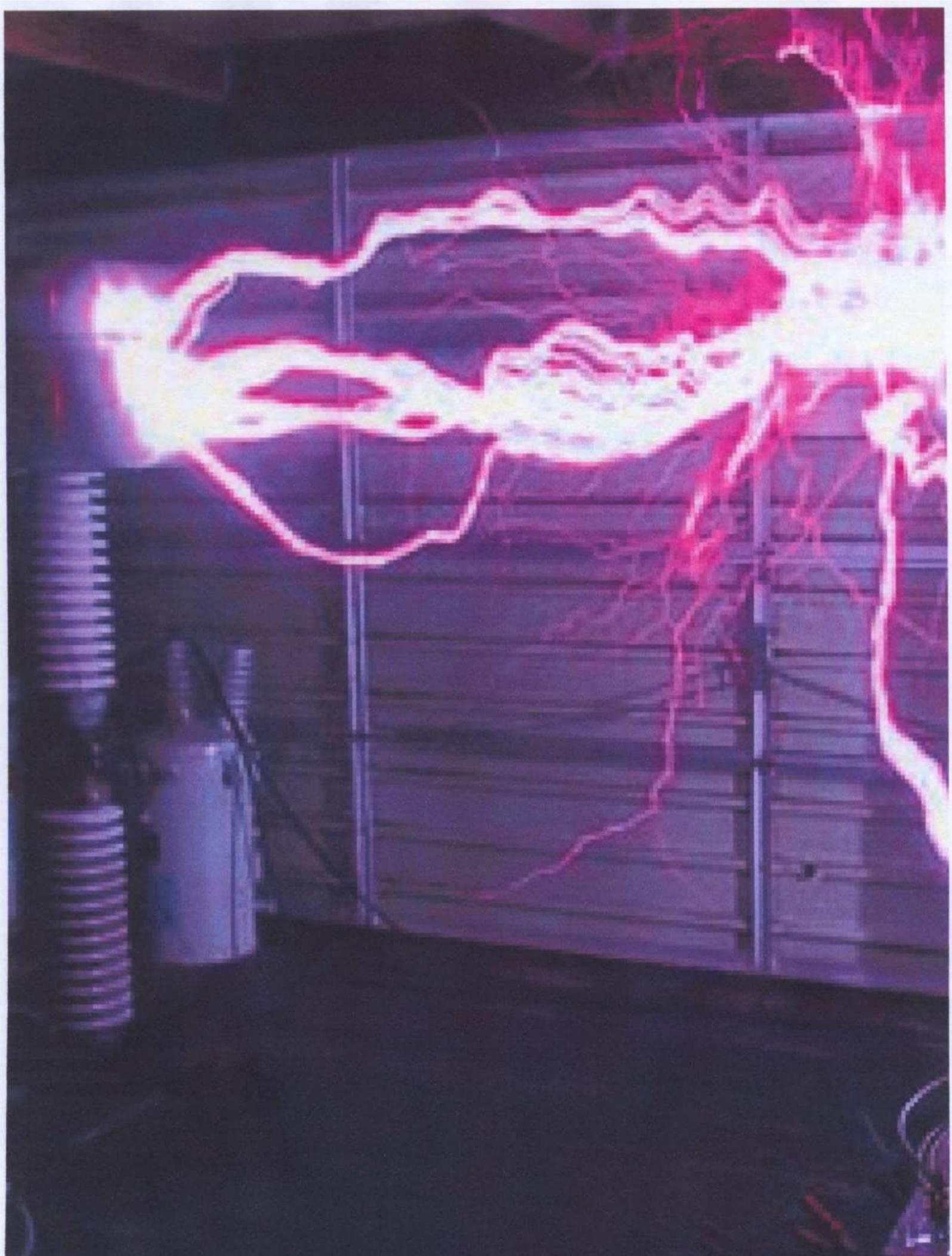


**“Toute l’énergie électrique...  
à portée de main”**

# INTRODUCTION

Le monde a connu deux principaux bouleversements technologiques ces dernières années : l'arrivée d'Internet, et le développement de toutes les communications sans fil. Pourtant, les appareils électroniques sont toujours restés dépendants d'un câble d'alimentation. Plus pour longtemps car depuis quelques années, des chercheurs de différents horizons travaillent sur la mise au point d'un concept révolutionnaire: celui de transporter de l'énergie sans le moindre fil de cuivre. Ce projet porte le nom de « TESHF », pour Transport d'Energie Sans Fil. Dès lors, c'est une véritable révolution scientifique, comparable à l'invention de l'électricité elle-même, qui va se dérouler sous nos yeux. Rallonges et multiprises deviendront obsolètes. De même, ce principe, en théorie propre et renouvelable, serait totalement bénéfique à notre environnement, surtout quand on sait que 70% de l'énergie électrique est actuellement générée par la combustion de ressources fossiles(charbon, pétrole ou gaz naturel). Le rêve...

On peut ainsi se demander de quelle manière le transfert *de l'énergie sans fil est-il assuré et comment le TESHF va t-il changer le monde.* Après une courte présentation du projet, nous effectuerons un tour d'horizon sur les différentes expériences réalisées jusqu'à présent, puis sur ses perspectives d'avenir envisageables.





# Le TESF c'est quoi?

Le transport d'énergie sans fil a longtemps excité la curiosité de nombreux scientifiques à travers le monde. Mais peu de gens savent réellement en quoi consiste ce transport.  
Explications...

## SOMMAIRE

A. Petite Histoire du  
TESF p. 8

B. Comment ça  
marche? p. 9

# Petite histoire du TESH

*L'idée de pouvoir transporter de l'énergie sans fil n'est pas nouvelle, toute novatrice qu'elle soit...*

En 1825, William Sturgeon invente l'électroaimant, un fil conducteur enroulé autour d'un noyau de fer. Le principe de l'induction électromagnétique - un champ magnétique fluctuant induit un courant électrique dans un fil électrique - est découvert par Michael Faraday en 1831. Combinant ces deux découvertes, Nicolas Joseph Callan est le premier en 1836 à faire la démonstration d'une transmission d'une énergie électrique sans fil. L'appareil à bobine d'induction de Callan est constitué de 2 bobines isolées -appelées bobinages primaire et secondaire- placées autour d'un noyau de fer. Une batterie connectée par intermittence au primaire 'induit' une tension dans le secondaire, provoquant une étincelle.

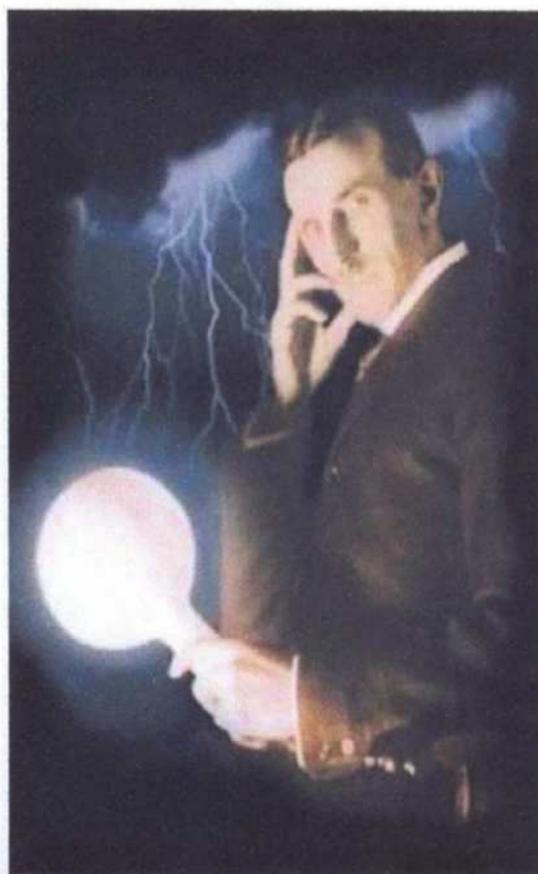
La transmission d'énergie se fait par simple couplage électromagnétique aussi connu sous le terme d'induction mutuelle. Avec cette méthode, il est possible de transmettre de l'énergie sur de grandes distances. Cependant, pour diriger l'énergie dans la bonne direction, les deux bobines doivent

être placées suffisamment proches.

Par la suite, Nikola Tesla, un physicien américain d'origine croate, imagine d'utiliser les ondes électromagnétiques pour transporter l'électricité n'importe où dans le monde, sans ligne, suite à ses études sur la foudre. Au début du siècle, il fait construire une tour de transmission à Long Island (New York) mais à l'époque les connaissances en TESH ne sont qu'empiriques et le projet est abandonné.

Alors que les techniques sans fil se développent au début du XXe siècle, des recherches sont effectuées sur des méthodes de transmission alternatives. Le but était de générer un effet localement et de le détecter à distance...

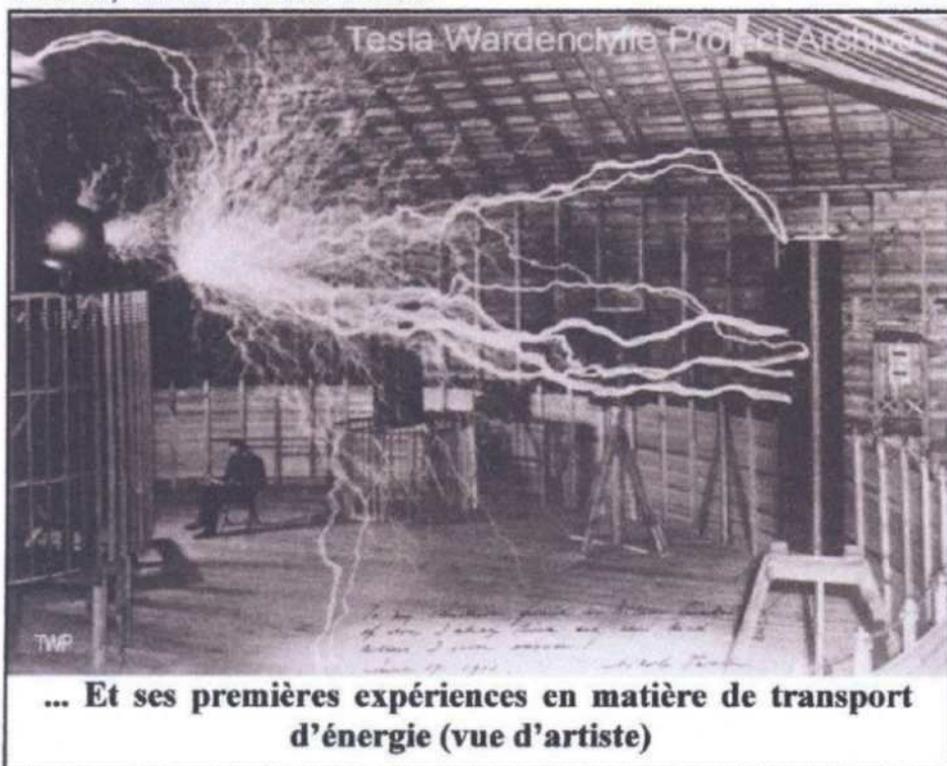
En 1968, Peter Glaser imagine le concept des centrales solaires spatiales (ou SPS : Solar Power Satellite) qui, associé aux études sur le TESH, pourrait être une solution écologique alternative en matière de fourniture énergétique de notre planète.



**Nikola Tesla, inventeur de génie...**

En 1991, les meilleurs spécialistes des questions SPS et WPT (Wireless Power Technology, autre appellation du TESH) se sont réunis à Paris lors du congrès international SPS-91. Lors de la conférence de clôture, en présence de Peter Glaser et de Bill Brown, initiateurs de ces concepts, plusieurs pistes de développements scientifiques et technologiques ont été évoquées et discutées.

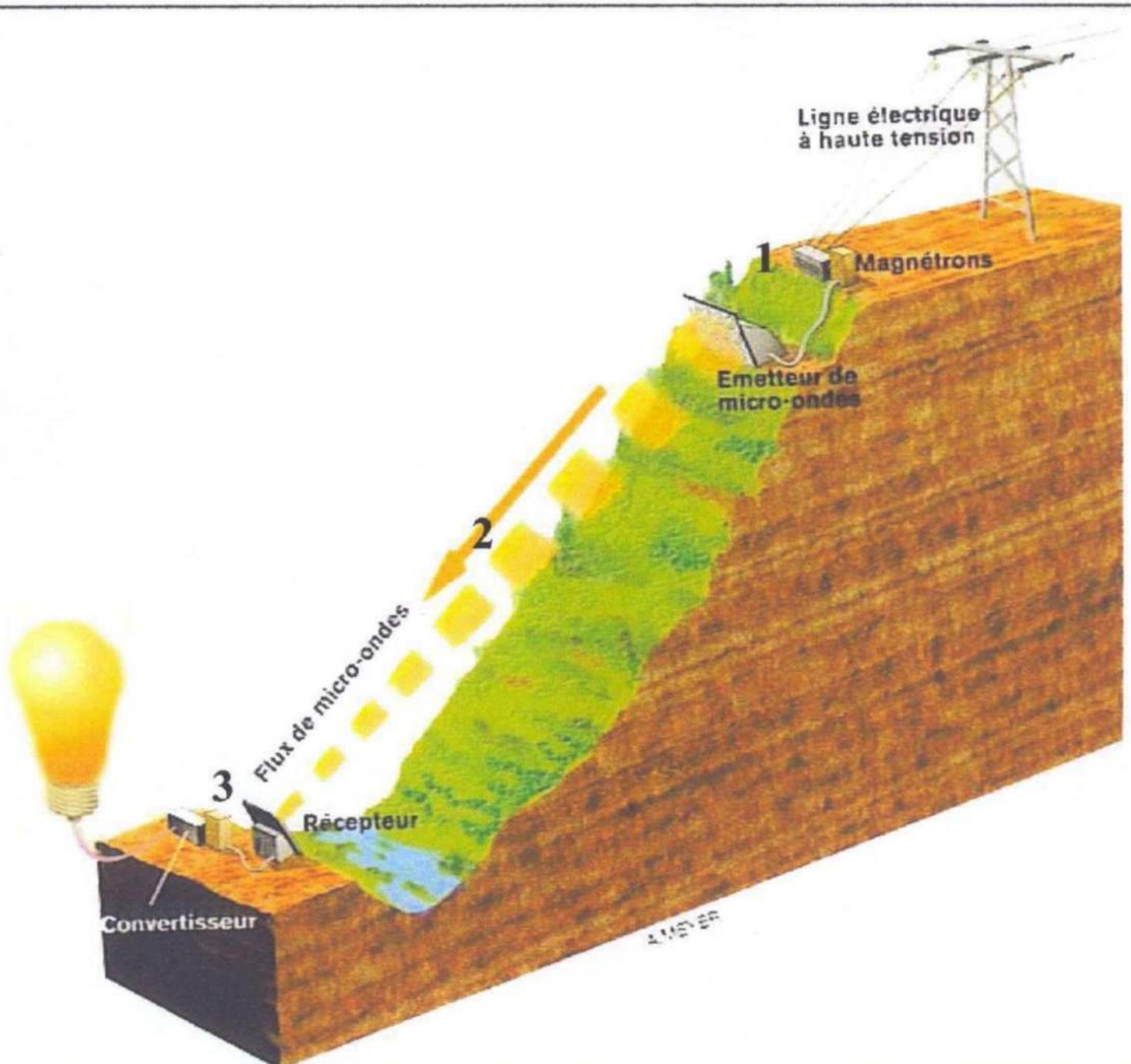
En Avril 1994, lors d'une conférence au CNES à Paris, Peter Glaser a proposé une voie dans la conduite du projet SPS. Une des étapes de base est la réalisation de nouvelles démonstrations terrestres originales et écologiques de transport d'énergie sans fil. Ainsi, depuis 1994, une étude et des réalisations sont en cours à l'île de La Réunion pour une première réalisation opérationnelle au profit du village de Grand-Bassin...



**... Et ses premières expériences en matière de transport d'énergie (vue d'artiste)**

# COMMENT CA MARCHE?

«Téléporter» l'électricité est physiquement facile. Bien sûr, il ne s'agit pas d'une opération à la Star Trek: ce type de téléportation instantanée est impossible car l'énergie, même si elle voyage sans fil, prend quand même la voie des ondes (cf encadré). Ce voyage se fait, au mieux, à la vitesse de la lumière. Il suppose trois opérations relativement simples: la conversion de l'électricité en ondes, la transmission de ces ondes et enfin leur reconversion en électricité après réception...



**Schéma (simplifié) d'un système opérationnel TESF**

## Etapes

## EXPLICATIONS

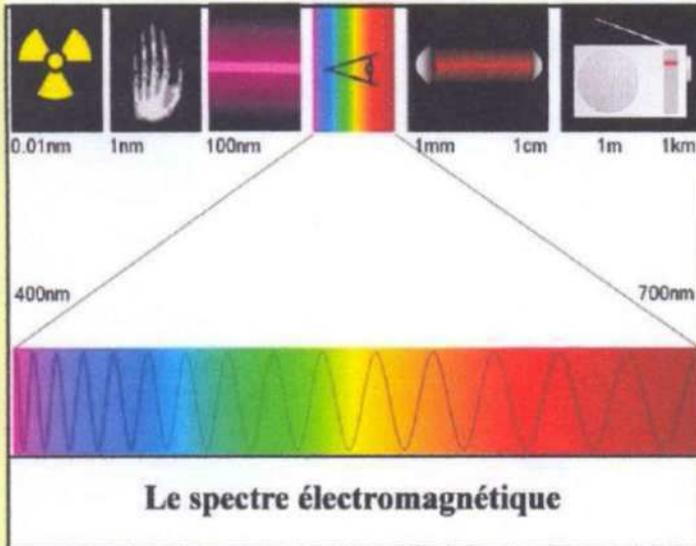
### 1. La conversion



Un convertisseur en laboratoire

La première étape est des plus banales. C'est ce que nous faisons quand nous allumons la lumière: l'électricité est transformée en une onde ultracourte lumineuse. Le courant arrive dans l'ampoule et chauffe un filament métallique dans le vide. Résultat, ce filament produit une onde comprise entre 0,4 et 0,8  $\mu\text{m}$ , la lumière visible. Mais pour faire voyager l'électricité, il vaut mieux utiliser des micro-ondes, qui ont une longueur d'onde\* plus importante (environ 12 centimètres) et qui sont pratiquement insensibles aux perturbations atmosphériques.

### 2. La transmission



Le spectre électromagnétique

La deuxième étape, le transport, n'offre pas non plus de difficultés: toutes les ondes transportent de l'énergie. Les ondes sonores par exemple, possèdent une énergie propre: elles font vibrer nos tympans. Les ondes sismiques contiennent une énergie suffisante pour détruire des immeubles! Globalement, les ondes électromagnétiques comme la lumière sont constituées de quanta d'énergie, les photons\*. Suivant la quantité d'énergie des photons, on distingue les radiations hertziennes (les moins énergétiques), la lumière infrarouge, visible et ultraviolette, et jusqu'aux dangereux rayons X et gamma. Les micro-ondes font partie des ondes hertziennes.

Là encore, le transport d'énergie par micro-ondes est largement utilisé, notamment par les fours du même nom. Ces derniers produisent des radiations qui agitent les molécules d'eau des aliments et des liquides. Cette agitation moléculaire, synonyme de chaleur, amène les aliments à la température voulue. Dans le cas du transport d'énergie sans fil (TESF), l'électricité est transformée en un rayon micro-ondes, similaire au rayon laser du projet américain «Guerre des étoiles»\*, mais invisible. Le faisceau est dirigé vers une antenne de réception, «rectenna», composée de milliers de radiopiles.

### 3. La reconversion



Une antenne «rectenna», composée de radiopiles (modules rectangulaires)

C'est la dernière étape, la réception des micro-ondes et leur conversion en électricité. «Depuis les années 60, explique un chercheur du CNES\*, on sait produire de l'électricité à partir des micro-ondes en redressant les courants produits dans une antenne avec une diode à haute fréquence, qui nous donne du courant continu.» L'élément combinant une antenne haute fréquence et le composant redresseur s'appelle radiopile. Chaque radiopile ne produit qu'un peu d'électricité, mais en associant des dizaines, des milliers, des millions... on obtient à la sortie le nombre de gigawatts demandés.

Le rendement global prévu du TESF est de 22%. Par comparaison, le rendement économique du photovoltaïque de nos jours n'est que de 6 à 20%. Un avantage de plus, qui tend à rendre la recherche de moins en moins sceptique...

## ZOOM SUR

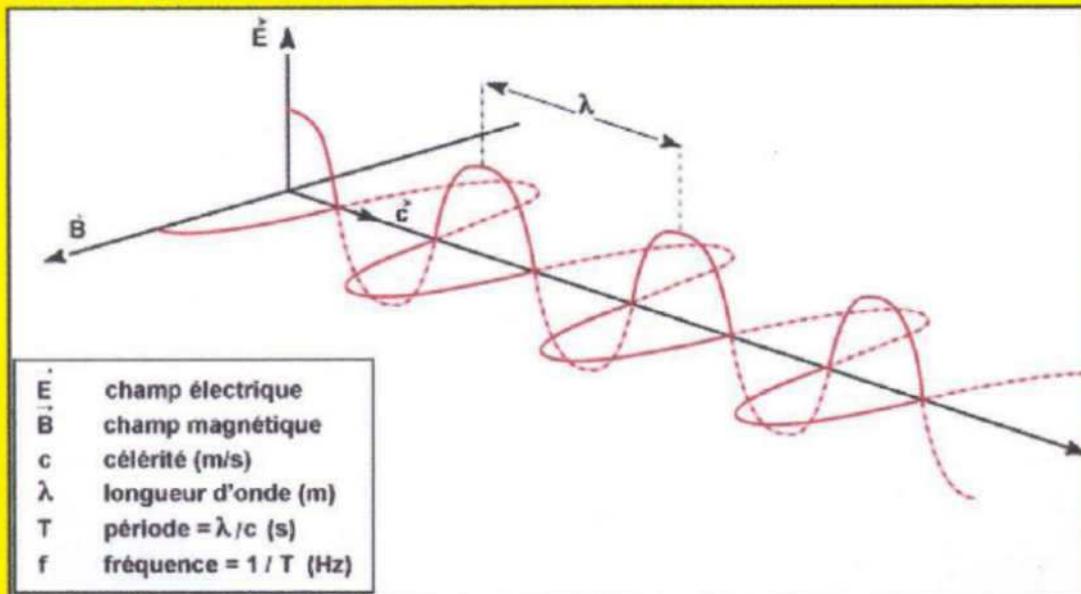
### LES ONDES



Une onde, c'est une perturbation qui se propage - que ce soit à la surface de l'eau, sur une corde, dans l'air ou une perturbation du champ électromagnétique qui nous entoure. Cette perturbation se déplace sans se déformer, et sans emporter de matière avec elle. Elle est donc idéale pour transporter de l'information. C'est pour cela que nous sommes dotés de récepteurs d'ondes : les yeux pour recevoir la lumière, les oreilles pour recevoir le son. Ces ondes nous apportent des informations à distance, ce qui est un gros avantage. Elles sont à la base de notre perception du monde.

Une onde est définie par un mouvement ondulatoire sinusoïdal, c'est à dire que lorsque l'on fait varier son intensité, l'amplitude augmente et diminue. Ce schéma est comparable à celui d'une vague.

Une onde est composée de deux champs : le champ magnétique\* et le champ électrique\*. Ces deux champs sont alternatifs. Le champ magnétique est du même type que celui d'un aimant et le champ électrique peut être ressenti par exemple lorsqu'on approche les mains du téléviseur.

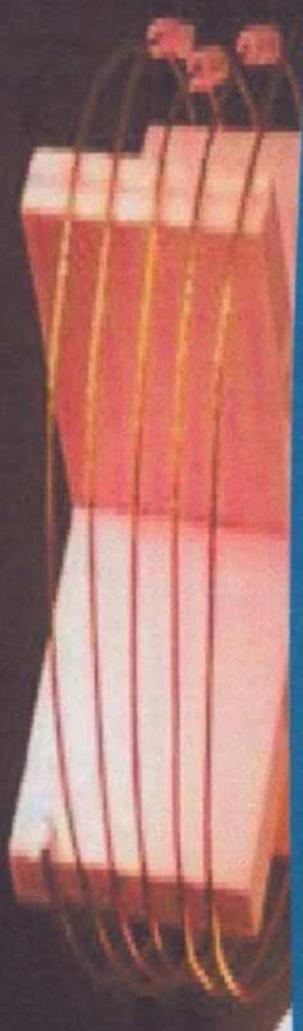


En basse fréquence on dissocie les deux ondes pour les analyser mais en haute fréquence elles deviennent indissociables et sont appelées « ondes électromagnétiques » ou bien « champ électromagnétique ».

Une onde électromagnétique est définie par deux critères : la fréquence et la longueur d'onde.

Les différentes fréquences d'ondes sont utilisées au quotidien, principalement dans la transmission de données, la plus connue et répandue est sans doute l'utilisation des téléphones portables, de la radio ou bien de la télévision. Cependant leurs utilités se retrouvent aussi dans la transmission de données informatiques, par le wifi ou le bluetooth mais peuvent être aussi utilisées pour leur propriété d'agitation des liaisons entre hydrogène et oxygène afin d'échauffer les molécules d'eau : c'est le principe du micro-ondes. Ce mode de transmission est utilisé par remplacement des câbles, elles sont donc utiles car elles permettent le franchissement de nombreux obstacles sans grandes installations ou la transmission de données dans des endroits avec peu d'accessibilité ou encore sur de moyennes voir grandes distances.





# Le TESF aujourd'hui

Le transport d'Énergie Sans Fil est une idée très actuelle, même si elle ne fait pas la Une de tous les journaux. Des études et expériences sont en cours dans les laboratoires les plus réputés du monde. Etudes qui ouvrent la voie à de nombreuses applications. Tour d'horizon des dernières recherches...

## SOMMAIRE

A. Witricity, le projet  
du MIT p. 14

B. L'expérience de  
Grand Bassin p. 16

# WITRICITY, le projet du MIT

*Les pionniers de l'électricité Thomas Edison et Nikola Tesla seraient fiers, des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) viennent de mettre en application leur théorie de transfert d'énergie baptisée « Witricity » (pour Wireless electricity).*



L'expérience en images

Ils ont démontré qu'une ampoule de 60 watts, située à 2 m d'une source électrique, pouvait parfaitement capter l'énergie qui lui est nécessaire, exactement comme un poste de radio capte ses programmes. Le secret de ce tour de magie (légèrement différent de la pratique évoquée précédemment) est appelé

« induction magnétique ». Concrètement, le procédé est tout ce qu'il y a de plus conventionnel. A savoir: deux bobines de cuivre de 60cm de diamètre, Parfaitement banales, placées à 2 m de distance, dont l'une sert d'antenne émettrice et l'autre d'antenne réceptrice.

Lorsque la première, reliée à une source électrique, est parcourue par un courant alternatif, elle émet un champ magnétique, alternatif lui aussi, dont les vibrations induisent alors dans la bobine réceptrice un courant capable d'alimenter l'ampoule.

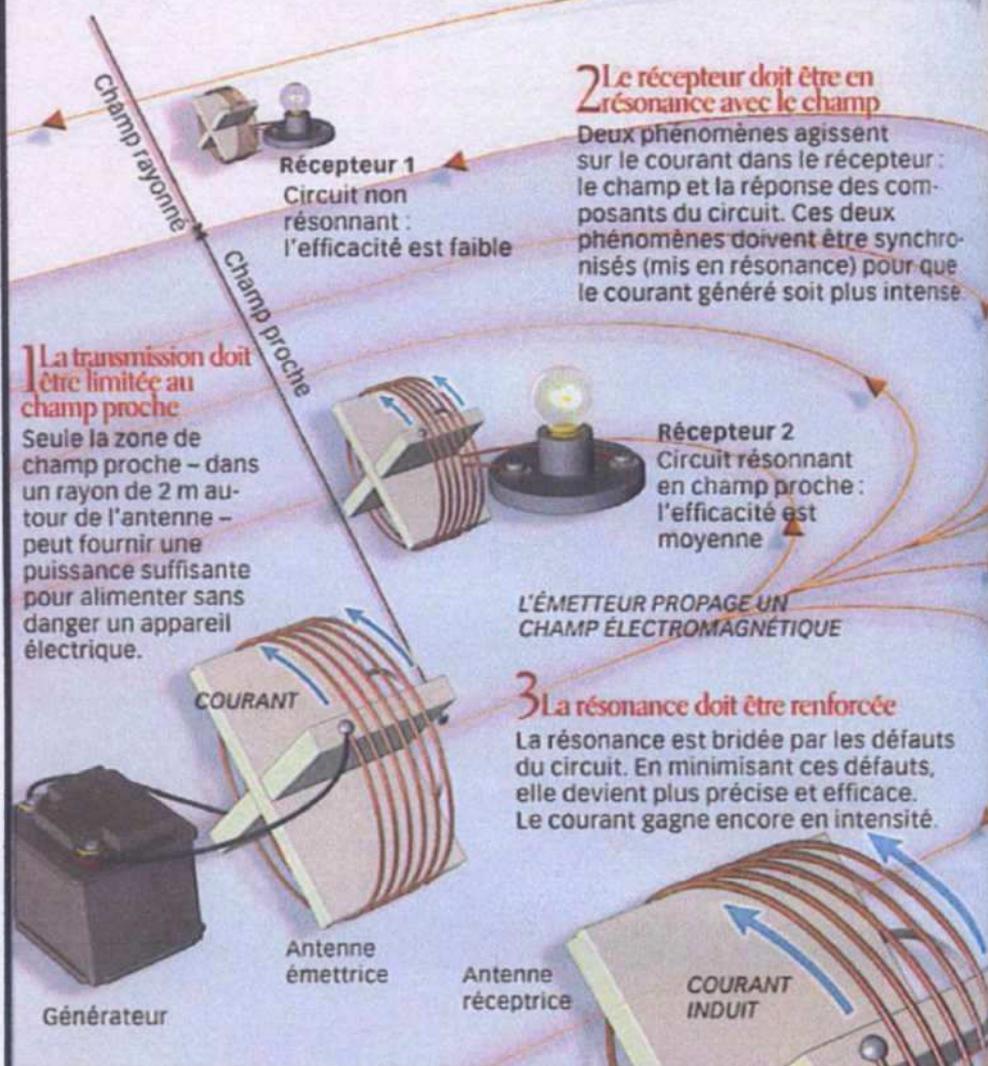
Pour comprendre, il faut savoir que toute antenne produit deux types de champs: le champ « lointain » (ou rayonné) et le champ « proche ». Le premier se propage loin de l'antenne et inonde totalement l'espace environnant, tandis que le second reste confiné au niveau de l'antenne émettrice. S'agissant d'alimenter des

appareils électriques où qu'ils se trouvent, la plupart des solutions misent logiquement sur le champ lointain. Problème: en envoyant des ondes au hasard sans savoir où se trouve l'appareil électrique, ou même s'il y a un appareil électrique dans les parages, on gâche beaucoup d'énergie inutilement. Et il n'est pas question de soumettre des objets ou des personnes à un rayonnement intense et continu d'ondes électromagnétiques, surtout que la législation française limite la puissance des rayons à 50 mW/cm<sup>2</sup>, soit vingt fois moins que le rayonnement solaire.

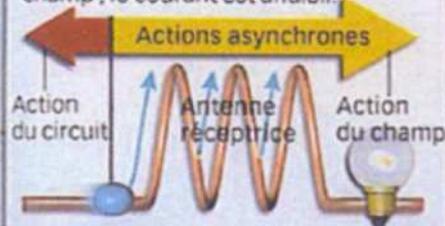
Pour contourner ce problème, l'équipe du MIT a donc eu l'idée d'utiliser l'autre partie du champ, celle qui reste confinée au niveau de la bobine émettrice et qui, du coup, ne dissipe pas d'énergie. L'inconvénient, c'est que l'intensité du champ proche décroît très rapidement à mesure qu'on s'éloigne de la source, ce qui réduit la portée du système. Reste à améliorer son efficacité. Pour cela on recourt à un phénomène physique permettant d'amplifier l'effet du champ magnétique: la résonance. C'est elle, par exemple, qui fait qu'un verre éclate lorsqu'on se met à chanter une note particulière: il se brise lorsque les vibrations sonores dont il est le siège atteignent une énergie telle que les forces de cohésion internes de la matière n'y résistent pas. Et si ce seuil d'énergie est atteint, c'est parce que la fréquence d'onde, acoustique dans ce

## Les 3 clés de la transmission à distance

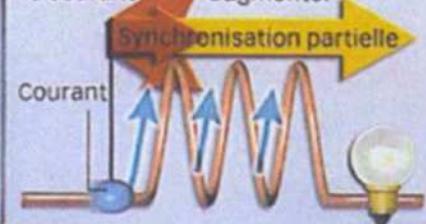
C'est par l'intermédiaire des champs magnétique et électrique que le courant de la bobine émettrice meut à distance les électrons libres de l'antenne réceptrice. Il se forme ainsi un courant induit, utilisable pour des applications électriques. Les pertes étant énormes, le procédé n'est viable qu'à trois conditions...



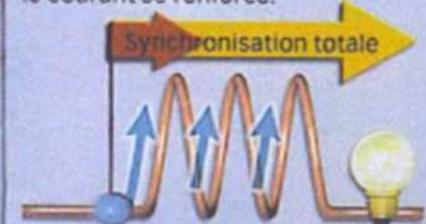
**Circuit non résonnant** : le circuit, désynchronisé, s'oppose à l'action du champ ; le courant est affaibli.



**Circuit résonnant** : champ et circuit sont partiellement synchronisés ; le courant augmente.



**Circuit fortement couplé** : la synchronisation est maximale ; le courant se renforce.



Récepteur 3 / Circuit fortement couplé en champ proche : l'efficacité est bonne

cas, est exactement égale à la fréquence de résonance « propre » du verre. Or, tous les systèmes physiques ont une fréquence de résonance qui leur permet d'emmagasiner très facilement l'énergie portée par une onde (mécanique ou électromagnétique). Dans le cas du système mis au point par le MIT, il a suffi de choisir la fréquence d'oscillation du champ magnétique et les paramètres de l'antenne réceptrice pour réussir, comme dans le cas du verre, à emmagasiner très efficacement l'énergie émise par la source et,

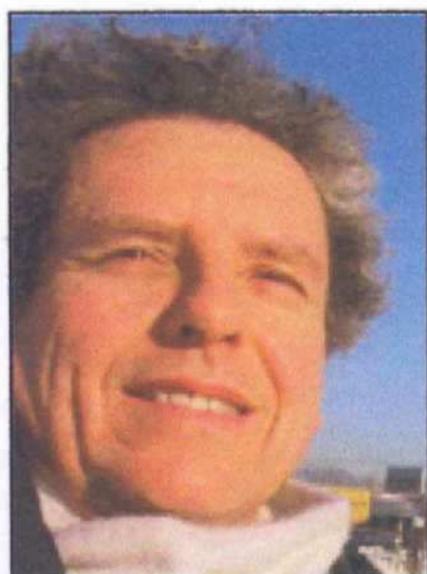
dès lors, compenser la faiblesse du champ.

L'efficacité du système atteint aujourd'hui 40% et, bien que les pertes soient encore conséquentes, les chercheurs estiment qu'il est déjà possible d'envisager des applications concrètes d'ici 3 à 5 ans. D'ici là, il faudra adapter le système aux diverses applications envisagées, dont les dimensions jouent un rôle majeur : plus elles sont petites, plus les performances se dégradent. Et pour cause : plus l'antenne réceptrice est petite,

moins le flux magnétique qui la traverse est grand, et moins le courant électrique généré intense. Chaque application devra donc faire l'objet d'une étude précise pour savoir quelles tailles, quelles géométries d'antennes seront les plus adaptées. A partir de là, on peut déjà prévoir nos appareils nomades (téléphones, ordinateurs portables...) rechargeables sans fil, voire à plus grande échelle, l'électroménager et les véhicules électriques...

# L'expérience de Grand Bassin

*Dans le canyon de Grand Bassin, dans le sud-ouest de l'île de la Réunion, un homme aux cheveux ébouriffés et aux gestes amples harangue les quelques spectateurs qui l'entourent. Il leur adresse un large sourire et soudain, à ses pieds, une ampoule de 200 watts s'allume. Aucune pile, aucune prise électrique à proximité. Guy Pignolet n'a pourtant rien d'un sorcier créole, il est ingénieur au Centre National d'Etudes Spatiales. Et son public n'est pas constitué de touristes et de badauds. Ce sont des chercheurs japonais, américains, russes et français qui travaillent sur le même sujet : l'électricité sans fil. Il ne s'agit pas non plus d'un tour de prestidigitant : l'énergie qui fait briller l'ampoule, a été transmise par micro-ondes à partir d'un générateur électrique situé à 40 mètres de là.*



**Guy Pignolet, instigateur du projet à Grand Bassin**

Cette petite lueur au fond du canyon, en ce 16 Mai 2001, n'est qu'une première étape. La deuxième, encore en préparation, permettra d'alimenter le village de Grand-Bassin tout entier. "De quoi installer comme prévu une machine à laver dans les gîtes qui accueillent les randonneurs, raconte Guy Pignolet, les installations solaires actuelles ne délivrant effectivement pas la

puissance requise. On sort enfin du domaine de la recherche en laboratoires, pour passer aux applications industrielles". Les premiers prototypes d'émetteurs et de récepteurs sont en effet construits par des entreprises réunionnaises.

A Grand-Bassin, l'utilité d'un tel système est évidente. L'environnement est préservé : les émetteurs et les récepteurs se fondent dans le paysage, à la différence des lignes électriques aériennes ou des panneaux photovoltaïques. Le système est également moins coûteux qu'une ligne enterrée et plus économique, à terme, qu'un groupe Diesel : son coût total est de 550 000 euros.

Pour les chercheurs, ce site permet de tester leur technologie en « grandeur nature ». Le principe est le même que celui expliqué en première partie: l'électricité est fournie par les centrales de

l'île de la Réunion, elle arrive en haut du canyon par une ligne à haute tension, puis est envoyée vers Grand Bassin à l'aide de magnétrons qui, comme dans les fours à micro-onde, convertissent l'énergie électrique en faisceau d'ondes électromagnétiques. Les magnétrons ont l'avantage d'être bon marchés, mais leur durée de vie est courte et leur fréquence difficile à contrôler. Guy Pignolet l'admet volontiers: « le problème le plus sérieux vient des émetteurs ». A l'avenir, les



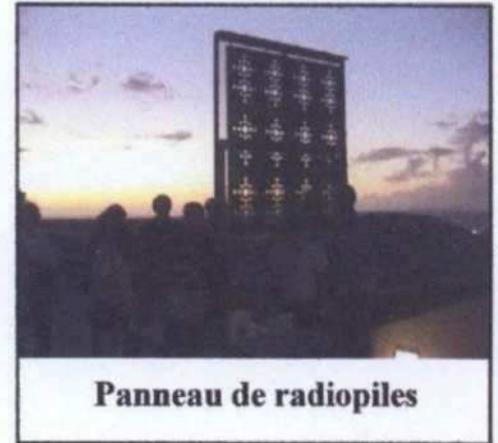
**Le village de Grand Bassin, à la Réunion**

magnétrons pourraient être remplacés par des klystrons, utilisés dans les systèmes radar. Leur fréquence est parfaitement contrôlable, leur longévité est correcte, mais ils sont mille fois plus coûteux que les magnétrons. Une troisième solution, basée sur des composants semi-conducteurs, fait l'objet de recherches et n'en aboutira peut être que dans une dizaine d'années. Une fois l'électricité transformée en micro-ondes, une petite antenne en forme de cornet et un réflecteur parabolique les envoient 700 m plus bas, dans la vallée, où elles sont retransformées en

électricité.

Divers systèmes électriques convertissent l'énergie des micro-ondes en courant électrique continu à haute tension, puis à basse tension, et un convertisseur transforme enfin ce courant continu en un classique courant alternatif stabilisé à 220 volts.

Les spécialistes invités ont tous salué ce premier pas, mais dans les hélicoptères qui les ramenaient à l'hôtel de ville, où les attendait une réception en leur honneur, leurs esprits s'élevaient encore un peu plus haut, à des milliers de kilomètres



Panneau de radiopiles

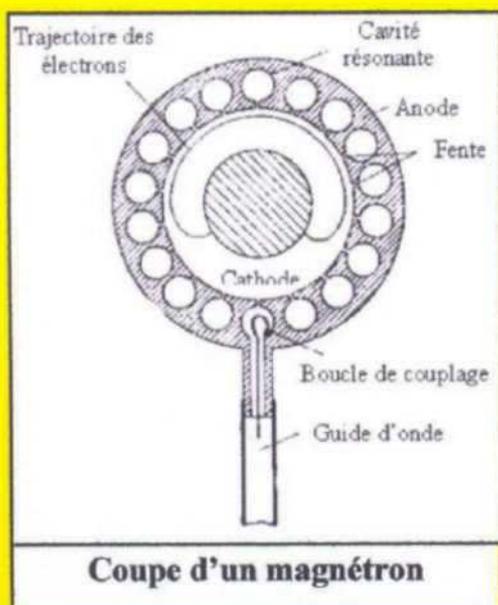
au-dessus de leurs têtes. Cette expérience n'est pour eux que la première étape d'un projet bien plus fou : construire des centrales solaires dans l'espace...



## ZOOM SUR

## Magnétrons et klystrons

## A. Le magnétron (ou générateur de micro-ondes)



Un magnétron est un dispositif qui transforme l'énergie électrique en énergie électromagnétique, sous forme de micro-onde. C'est un tube à vide sans grille, avec une cathode\* centrale, chauffée par un filament, et une anode\* massive et concentrique dans laquelle sont creusées plusieurs cavités résonnantes.

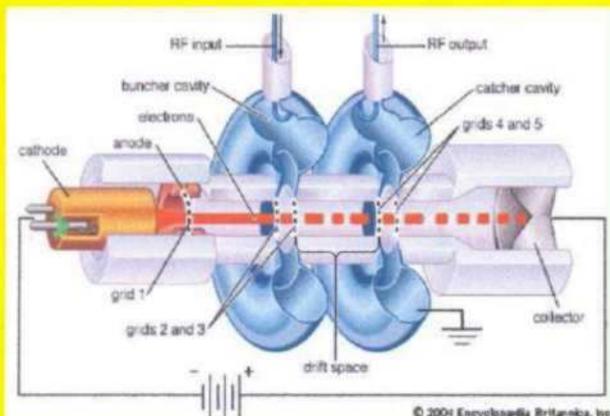
Un champ magnétique axial produit par un aimant permanent ou un électro-aimant, sert à incurver la trajectoire des électrons. Pour une valeur correcte de la tension anode-cathode, et du champ magnétique, les électrons peuvent être considérablement accélérés. Des cavités résonnantes sont positionnées dans l'anode de telle façon que le couplage entre ces cavités et le faisceau d'électron maintienne un régime stationnaire. Dans cette condition, les électrons dans leur parcours cèdent de l'énergie à l'onde hyperfréquence\* entretenue par la structure périodique des cavités.

Le magnétron est la source hyperfréquence la plus répandue à l'heure actuelle.

## Différents magnétrons



## B. Le Klystron

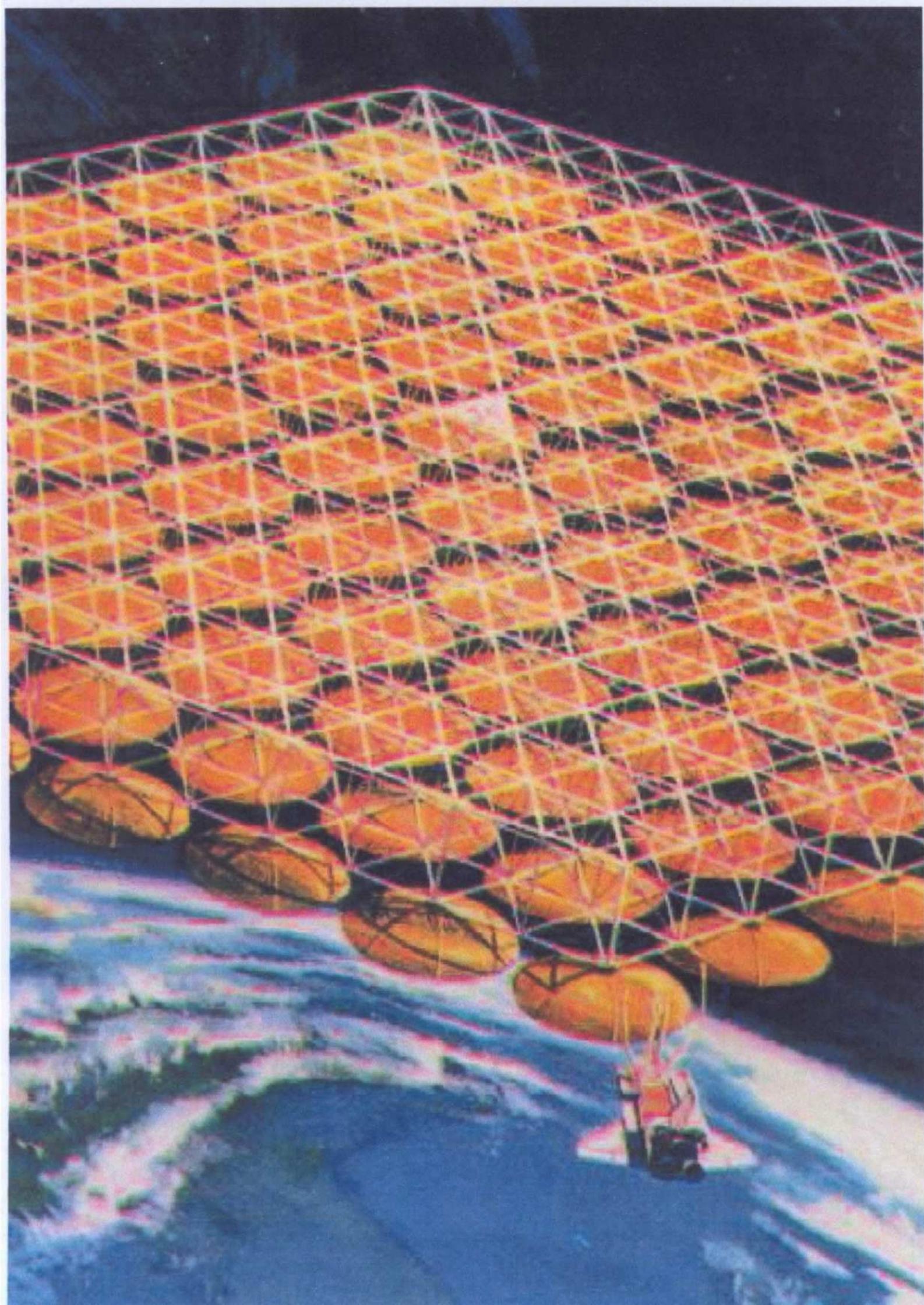


Le klystron est un tube à vide qui permet de réaliser des amplificateurs de moyenne et forte puissance à bande étroite en hyperfréquences. Les klystrons sont utilisés comme un oscillateur ou plus souvent comme un amplificateur de micro-ondes. Le signal HF en entrée d'un klystron est amplifié de manière cohérente grâce à un faisceau d'électron. Pour cela, on imprime une modulation de la vitesse au faisceau d'électron. Cette modulation de vitesse des électrons se transforme en une modulation de densité, soit en un courant. On fait alors interagir ce courant avec une onde électromagnétique (l'entrée HF) par l'intermédiaire de cavités résonnantes. Les électrons cèdent alors leur énergie cinétique sous forme électromagnétique.

La modulation de vitesse est due aux différentes vitesses des électrons. En effet, tous les électrons n'ont pas les mêmes vitesses d'oscillation. Les électrons ayant la même vitesse se regroupent en paquet. C'est cette variation de rapidité qui s'appelle modulation de vitesse.

**C. Un tableau comparatif Magnétrons/ Klystrons**

	<b>Vainqueur</b>	<b>Explication</b>
<b>rendement</b>	<b>Le magnétron</b>	Le rendement d'un magnétron est en général supérieur à celui d'un klystron de même puissance. Cette supériorité est due au fait que le champ est mieux confiné.
<b>durée de vie</b>	<b>Le klystron</b>	La durée de vie des klystrons est plus importante que celle des magnétrons pour une puissance identique. La présence d'arcs électriques entre l'anode et la cathode des magnétrons utilisés à pleine puissance représente l'une des causes. Aussi les constructeurs ne manquent pas d'indiquer que la durée de vie de ces systèmes est multipliée par deux pour un fonctionnement à la moitié de leur puissance maximale et en assurant un taux d'onde stationnaire faible (bonne adaptation à la charge).
<b>Valeurs maximales de puissances disponibles</b>	<b>Le Klystron</b>	Le klystron est supérieur au magnétron dans ce domaine. Ainsi, on trouvera dans les catalogues des constructeurs, des puissances pouvant être supérieures à 50 kW (Thomson CSF) pour les klystrons, contre une valeur maximale de 30 kW (California Tube Laboratory) pour les magnétrons à la fréquence de 2,45 Ghz.
<b>Prix</b>	<b>Le magnétron</b>	Le développement de l'utilisation des magnétrons utilisation dans les fours à micro-ondes a considérablement fait chuter son coût. Ainsi il est 1000 fois moins coûteux que le klystron.



# L'avenir du TESF

Quel avenir pour une technologie si révolutionnaire? Gros plan sur le principal projet qui l'exploiterait ainsi que sur ses risques éventuels...

## SOMMAIRE

A. Les CSS, centrales solaires de l'espace p. 22

B. Les limites d'une technologie p. 24

# Les CSS, centrales solaires de l'espace

*Des centrales solaires terrestres existent à travers le monde, toutefois le rayonnement solaire est huit fois moins intense sur la surface terrestre que dans l'espace (à 36 000 kilomètres d'altitude, un panneau solaire photovoltaïque (cf encadré) reçoit en moyenne 140mW/cm<sup>2</sup>). Pourquoi donc ne pas le capter dans l'espace et propulser son énergie vers la Terre sous la forme de micro-ondes qui pourraient pénétrer l'atmosphère plus efficacement ? Telle est la question que se posent des chercheurs américains (en parallèle à ceux de la Réunion)...*



Une hypothétique station solaire spatiale

Ces derniers ont proposé à cet effet de placer sur orbite d'énormes satellites, des structures gonflables dotées de panneaux photovoltaïques (cf encadré) et d'antennes. Des stations de réception au sol transformeraient l'énergie transmise en électricité, voire en carburants synthétiques, qui contrairement à l'électricité produite par les stations solaires terrestres, alimenterait le réseau électrique quelles que soient les saisons, les conditions météorologiques ou les zones géographiques.

## Des études menées dès les années 90

Le ministère de l'énergie et la NASA étudient cette idée depuis plusieurs années. Au milieu des années 1990, une étude de la NASA réalisée sous la direction de M. John MANKINS a abouti à l'établissement d'un plan de recherche et de développement qu'a adopté le Conseil national de la recherche. Les auteurs de cette étude avaient envisagé de placer sur orbite géostationnaire, d'ici à 2050, plusieurs dizaines de centrales solaires capables de transmettre de 2 à 5 gigawatts d'électricité à de multiples stations de réception au sol. Toutefois, a indiqué M. Mankins, ce projet n'a pas eu de suites parce qu'aucun organisme n'est chargé à la fois de programmes spatiaux et de la sécurité énergétique.

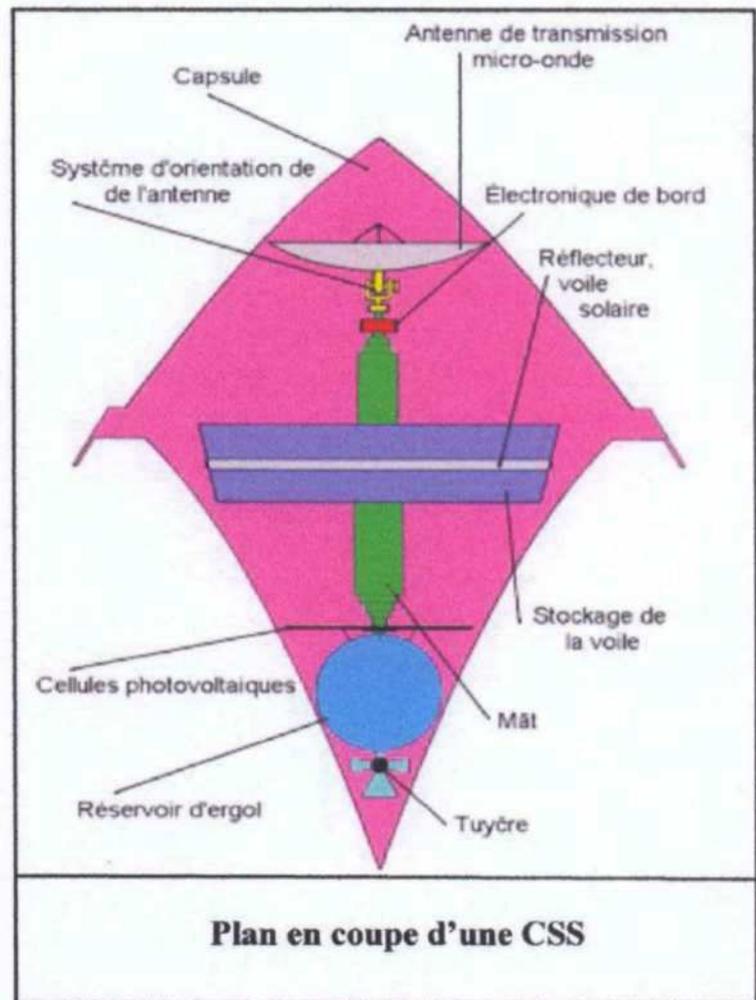
Ces dernières années, on a fait des progrès techniques immenses dans ce domaine, a dit M. Mankins. Par exemple, le rendement des centrales solaires et de la transmission de l'électricité sans fil a plus que quadruplé, ce qui permet de réduire fortement la taille et le coût des centrales solaires. M. Martin HOFFERT, qui était à la tête du département des sciences appliquées de l'université de New York, a déclaré en août que la recherche-développement dans le domaine des centrales solaires spatiales pouvait se poursuivre avec les moyens techniques existants.

### Un coût élevé:

Toutefois, les frais demeurent élevés, ce qui a pour effet de décourager le secteur privé et le secteur public d'investir dans ce domaine. Le coût le plus important a trait au transport du matériel et des dispositifs à bord de la navette spatiale: 20.000 dollars le kilogramme. Les partisans de l'énergie solaire spatiale estiment que ce projet pourrait devenir rentable si l'on pouvait abaisser les frais de transport à 200 dollars le kilogramme et les frais de montage en orbite à moins de 3.500 dollars le kilogramme.

Il est peu probable que l'on puisse y parvenir de sitôt. La construction d'un lanceur réutilisable, qui permettrait de réduire considérablement les coûts, exigerait des investissements du secteur public, a précisé M. MANKINS. Toutefois, un petit projet de démonstration d'une centrale solaire spatiale pourrait contribuer à convaincre les sceptiques et à fournir de bonnes justifications sur le plan politique pour de tels investissements. M. MANKINS estime probable que Washington reprenne l'idée de centrales solaires spatiales grâce à la multitude de ses avantages et de ses applications, dont l'une serait de fournir de l'énergie aux engins spatiaux et aux installations d'exploitation commerciale des ressources spatiales.

En septembre 2006, la sous-commission scientifique de la Chambre des représentants a examiné cette idée dans le cadre de travaux sur les changements climatiques. En outre, le ministère de la défense effectue une étude de faisabilité sur la production d'énergie dans l'espace, dont l'achèvement était prévu pour septembre. En conclusion, M. MANKINS a déclaré: "Lorsqu'on considère le genre de choses auxquelles la société moderne consacre des milliards de dollars, l'idée d'obtenir des quantités illimitées d'énergie propre depuis l'espace n'est pas un mauvais objectif."



Pendant que les Américains se perdent en beaux discours, les Japonais, en revanche, s'emballent. Leur ministère de la Recherche et de l'Industrie s'est exprimé en faveur de la construction de centrales solaires dans l'espace vers 2040. Tout est une affaire de politique. Les Etats Unis choisissent le pétrole, envers et contre tout, tandis que le Japon, qui manque cruellement de place et d'énergie, travaille d'arrache-pied à l'élaboration de nouvelles sources d'électricité. Les Européens comptent les points. Pour eux, le projet aboutira sans doute...mais pas avant une centaine d'années.

## ZOOM SUR

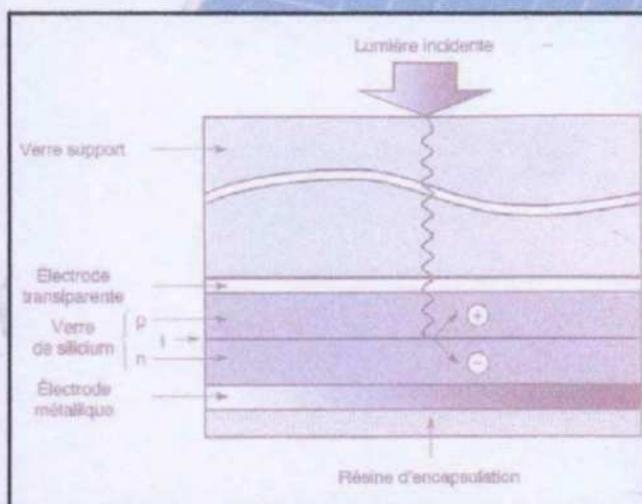
## L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque (ou encore photoélectrique), conversion de la lumière en électricité, a été découvert par Becquerel en 1839. Mais il n'a reçu une application industrielle qu'en 1954, en particulier dans le domaine spatial.

Comment ça marche ? Les photons (particules constitutives de la lumière) sont capables de déloger les électrons périphériques de certains atomes d'éléments semi-conducteurs, et de produire ainsi du courant électrique (le courant électrique est un déplacement d'électrons). La plupart des capteurs photovoltaïques (aussi appelés photopiles) utilisent les propriétés du silicium.

## Fonctionnement détaillé d'une photopile

Les photopiles ou cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.



**Schéma détaillé expliquant le fonctionnement d'une photopile Au silicium**

Le matériau de base est dans la plupart des cas le silicium. Selon le procédé de fabrication, on obtiendra des photopiles plus ou moins performantes, sous forme amorphe, polycristalline, ou monocristalline. D'autres matériaux sont utilisables : Arséniure de Gallium (AsGa), Tellure de Cadmium (CdTe).

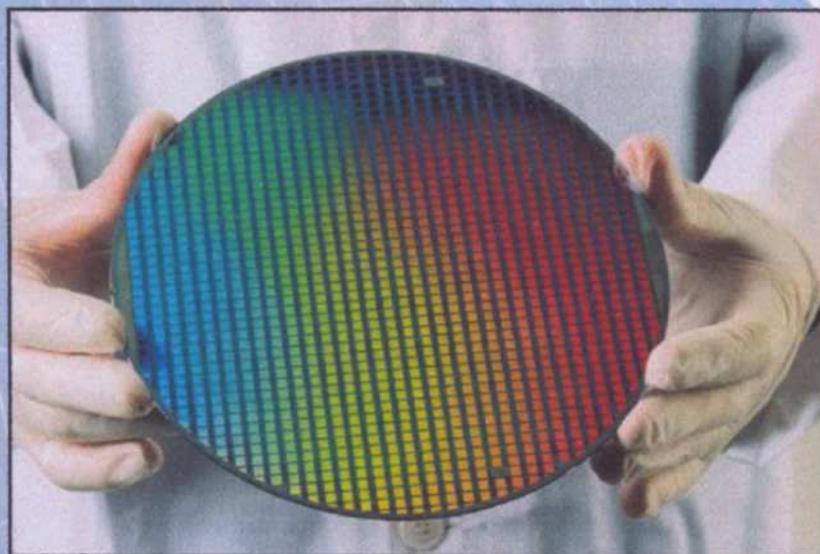
Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des "impuretés") sont substitués à des atomes de silicium dans un réseau cristallin : c'est ce que l'on appelle le dopage;

- Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera dit de type "N" comme négatif (ex : dopage au phosphore).
- Si l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le Silicium, le matériau sera déficitaire en électrons : il sera dit de type "P" comme positif (ex : dopage au bore).

Une cellule solaire sera obtenue en constituant une jonction de deux zones de type opposées appelée jonction PN (i sur le schéma). Au voisinage de la jonction, un champ électrique apparaît provoqué par le déséquilibre de charges. Il va contribuer à drainer les électrons qui auront été détachés par l'énergie des photons incidents.

L'épaisseur nécessaire pour réaliser ce phénomène n'est que de quelques dizaines de microns, mais pour des raisons mécaniques, les cellules atteignent généralement des épaisseurs de 200 à 400 microns ( $10^{-6}$  mètres).

Selon la technologie utilisée (amorphe en couche mince, polycristallin, monocristallin), le rendement de conversion s'échelonne de 6 à 20 % actuellement pour le silicium. Cela permet notamment une puissance qui peut aller de 60 Watts-crête/m à 100 Watts-crête/m (dépend de la forme du silicium)



Disque de silicium

# Les limites d'une technologie

*Comme toutes les technologies, le TESF n'est pas parfait. Il possède des inconvénients qu'on se doit de ne pas négliger...*



**Le seul danger supposé du TESF serait celui dit du "poulet grillé"**

Depuis les récentes recherches sur les ondes des téléphones portables, la question de la dangerosité des micro-ondes est toujours en suspens même si les chercheurs s'accordent à dire que le Transport d'Énergie Sans Fil est sans danger d'un point de vue médical. En effet les ondes du TESF sont des micro-ondes semblable à celle du rayonnement du soleil (avec 20 fois moins de puissance) et n'ont rien à voir avec les rayons X ou gamma, rayons ionisants très dangereux pour la santé et à l'origine de cancers. Il y a aussi aucun risque génétique

(mutations, cancers etc...) car l'énergie dégagée par les micro-ondes (proportionnelle à la fréquence) est 1 millions de fois plus faible que celle des rayonnements ultraviolets à partir duquel commence le danger.

Le danger le plus fréquemment évoqué est thermique. En effet les micro-ondes en absence de récepteurs comme les radiopiles se transforment en chaleur (agitation moléculaire, principe de l'appareil électroménager du même nom). La limite française de sécurité pour la densité de cette énergie est d'environ 500 W par mètre carré. Au delà on peut envisager des risque de brûlures et d'insolations. La puissance du soleil est de l'ordre de 1000 W par mètre carré est c'est pourquoi une exposition directe est dangereuse. Dans le système expérimenté à Grand Bassin

la puissance est aujourd'hui de 250 W par mètre carré et il serait même prévu au final de descendre jusqu'à 50 W par mètre carré pour supprimer tout risque éventuel.

Enfin il n'y a priori aucun risque de brouillage avec d'autres équipements, car les ondes utilisées pour le TESF sont des ondes pures et non modulées. Il y a quand même une légère menace de saturation pour les appareils électroniques sensibles exposés mais qui peut facilement le contrer grâce à l'utilisation de filtres...



**Pas de problème d'incompatibilité électronique avec le TESF**

# LEXIQUE

**Remarque:** Tous les mots marqués d'un \* sont définis ici.

**Anode:** Électrode d'arrivée des électrons responsable d'un courant électrique (potentiel positif)

**Cathode:** Électrode de sortie des électrons responsable d'un courant électrique (potentiel négatif)

**Champ électrique:** Un champ électrique est un champ de force créé par l'attraction et la répulsion de charges électriques (la cause du flux électrique) et se mesure en Volts par mètre (V/m). L'intensité du champ diminue à mesure qu'augmente la distance à sa source.

**Champ magnétique:** Un champ magnétique est un champ de force résultant du déplacement des charges (courant électrique). L'intensité d'un champ magnétique est mesurée en Gauss (G) ou Tesla (T). L'intensité du champ diminue à mesure qu'augmente la distance à sa source.

**CNES:** Centre National D'études Spatiales

**Longueur d'ondes:** La longueur d'onde est une grandeur physique, homogène à une longueur, utilisée pour caractériser des phénomènes périodiques.

**Onde hyperfréquence:** Radiofréquence suffisamment élevée pour permettre l'emploi de techniques telles que celles des guides d'ondes et des cavités. Les fréquences les plus basses correspondantes sont de l'ordre du gigahertz. Les ondes radioélectriques correspondant aux hyperfréquences sont parfois appelées micro-ondes.

**Photon:** Le photon est la particule élémentaire qui transmet l'interaction (la force) électromagnétique. Chaque onde électromagnétique (lumière visible mais aussi infrarouge, ultraviolet, rayons X, ...) transporte des photons qui ont une énergie bien déterminée (suivant la "couleur" ou longueur d'onde de la lumière). Cette énergie peut être transférée à la matière par paquet – ou quanta.

**Projet guerre des étoiles:** Ce programme militaire vise à protéger le territoire américain contre une attaque massive de missiles soviétiques. Le système de défense antimissile conçu par l'administration Reagan, qui fait appel aux technologies du laser et des satellites, est basé en grande partie dans l'espace. Il s'agit, en quelque sorte, d'un « bouclier de l'espace ».

# CONCLUSION

Au final, le projet TESF se révèle être un moyen de transmission énergétique novateur et efficace, tout en étant en symbiose avec l'environnement. En convertissant l'énergie électrique en ondes électromagnétiques, on peut ainsi la transporter sur de plus ou moins longues distances sans utiliser de câble conducteur. Combiné à d'autres technologies ce procédé serait la solution idéale pour pallier aux problèmes allant des grandes crises énergétiques et environnementales actuelles ( énergies fossiles de plus en plus rares, réchauffement de la planète du aux pollutions ...) à la simple recharge de batterie de téléphone portable. Au vu des dernières recherches scientifiques, le TESF est en passe de devenir une des découvertes majeures de notre XXI ème siècle, malgré des problèmes dérisoires mais récurrents. A partir de là, rien ne nous empêche d'imaginer un monde où l'énergie serait puisée depuis l'espace et duquel les ressources ne seraient plus épuisées inutilement...

# BIBLIOGRAPHIE

## Sites internet consultés



- [http://www.notre-planete.info/actualites/actu\\_1311.php](http://www.notre-planete.info/actualites/actu_1311.php)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Transmission\\_d%27%C3%A9nergie\\_%C3%A9lectrique\\_sans\\_fil](http://fr.wikipedia.org/wiki/Transmission_d%27%C3%A9nergie_%C3%A9lectrique_sans_fil)
- <http://membres.lycos.fr/nirrey/etsdsfr211.html>
- <http://www.c87.org/ondes/>
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Onde>
- <http://www.e-scio.net/ondes/>
- [http://rayonsx.france2.fr/accueil.php3?id\\_article=222](http://rayonsx.france2.fr/accueil.php3?id_article=222)
- <http://www.science-sainte-rose.net/GrandBassin/tesf/rayons-x.htm>
- [http://www.temoignages.re/article.php3?id\\_article=2902](http://www.temoignages.re/article.php3?id_article=2902)
- <http://www.lisa.ecp.fr/Projets/tesf/>
- <http://www.grandbassin.net/>
- <http://mediaplan.ovh.net/~up/projets/contrib/TEsfjul.pdf>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://fr.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla)
- <http://www.techno-science.net/?onglet=news&news=4474>
- <http://www2.canoe.com/techno/nouvelles/archives/2007/06/20070608-103225.html>
- <http://www.generation-nt.com/witricity-mit-recharge-sans-fil-actualite-41882.html>
- <http://www.presence-pc.com/actualite/MIT-Witricity-23797/>
- <http://www.witricpower.com/witricity/fr/>
- <http://www.sunsat.org/>

## Documents papiers



- Sciences et Vie n°1006
- Sciences et Vie Octobre 2007
  - Pour la science n° "30"
- Le journal de l'île du 17 Mai 2001

## Divers



- Reportage "Rayon X": L'électricité sans fil (frères Bogdanov)
- De nombreuses idées Youtube et Dailymotion

# Imaginons encore...

Capter et transmettre  
l'énergie solaire

Perspectives

Éliminer  
les déchets nucléaires

Exploiter  
les matériaux  
lunaires

