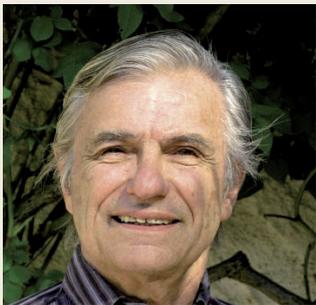


ITER: chronique

Un « avis favorable sous recommandations » vient d'être rendu par la commission d'enquête publique du projet ITER, malgré les problèmes techniques insolubles qui laissent présager une catastrophe industrielle majeure. La députée européenne Michèle Rivasi a demandé à Jean-Pierre Petit, spécialiste des plasmas, une enquête destinée aux membres du Parlement. Basé sur une thèse de doctorat validée par le CEA, ce texte déjà traduit en anglais suscite de vives réactions. **NEXUS** vous encourage à le communiquer à vos représentants élus.



Astrophysicien, ancien directeur de Recherche au CNRS, auteur, dessinateur, spécialiste émérite de la physique des plasmas, Jean-Pierre Petit, en expert inflexible, s'indigne, traque et dénonce les mensonges du monde de l'énergie qui empêchent les vraies solutions de voir le jour. À visiter sans modération aucune : www.jp-petit.org.

ITER est la première étape d'un projet pharaonique à 15 milliards d'euros qui n'attend que le feu vert de la Commission européenne et un financement pour prendre sa pleine puissance.

Très peu de gens connaissent les principes de base des machines qui, partant de cette première machine ITER, sont censées déboucher sur des générateurs électriques utilisant la fusion comme source d'énergie.

Pour l'immense majorité des gens, tout se résume à deux slogans : « *Le Soleil en éprouvette* » et « *De l'énergie illimitée* ».

Ces deux phrases ne sont pas dénuées de fondement, au sens où :

- la température au centre « *de la chaudière ITER est comparable et même supérieure à celle qui règne au cœur du Soleil* » ;
- les puissances en watts par mètre carré, rayonnées à la surface du Soleil ou collectées sur la face interne de l'enceinte d'ITER, sont du même ordre de grandeur ;
- les deux composants du « *combustible de fusion* », le deutérium et le lithium (qui sert à créer le tritium intervenant dans la réaction thermonucléaire), sont effectivement très abondants dans la nature.

Une thèse de référence

Très peu de gens savent comment les tokamaks (inventés en 1950 par le Russe Andreï Sakharov) fonctionnent. Les images de synthèse que l'on trouve partout n'en donnent qu'une image totalement idéalisée, et inscrivent dans l'esprit du public, des politiques et des décideurs l'idée que la fusion correspond à une technologie parfaitement contrôlée, susceptible de déboucher sur une gamme de machines assurant un fonctionnement continu, ce qui est totalement faux et mensonger.

Une thèse de doctorat a été soutenue en novembre 2010 à l'Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique (IRFM), dépendant du Commissariat à l'énergie atomique français, qui donne une très bonne présentation de ces machines, en pointant les problèmes non encore résolus. Cette thèse est celle de Cédric Reux*.

Dans le jury de cette thèse, on trouve des scientifiques du CEA, de l'IRFM, d'ITER ORGANIZATION, tous étroitement impliqués dans le projet ITER, ce qui valide les arguments et conclusions qui y sont présentés.

d'une faillite annoncée



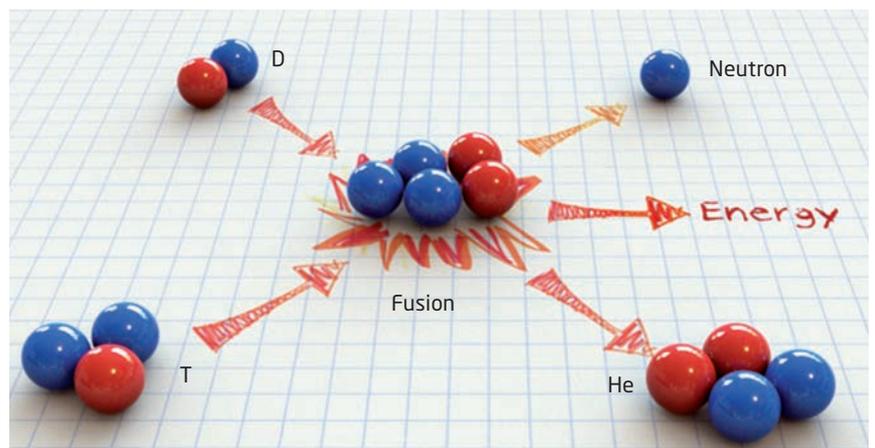
Opération de maintenance dans un tokamak.

De cette lecture, on retire que la fusion par confinement magnétique et la physique des tokamaks, extrêmement complexe, ne sont nullement maîtrisées par les théoriciens, depuis la construction des premières machines, il y a plus de soixante ans. Aucune modélisation du comportement du plasma contenu dans ces machines n'est fiable et représentative, au sens où il est et restera longtemps impossible de gérer, même avec les supercalculateurs les plus puissants au monde, un problème mettant en jeu de 10^{20} à 10^{22} particules électriquement chargées, interagissant toutes les unes avec les autres.

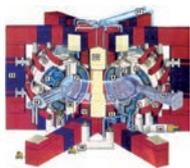
Aucune technoscience n'est plus immature que celle-là

Le pilotage expérimental des tokamaks, entaché d'innombrables aléas, relève en fait de l'empirisme le plus complet.

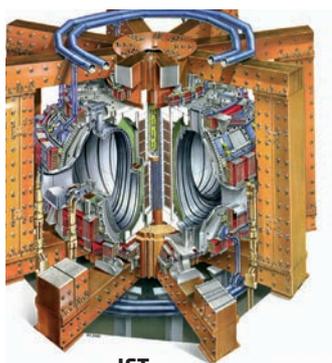
Ce que le public ignore, c'est que, dans un tokamak, le confinement du plasma est foncièrement instable, et cela



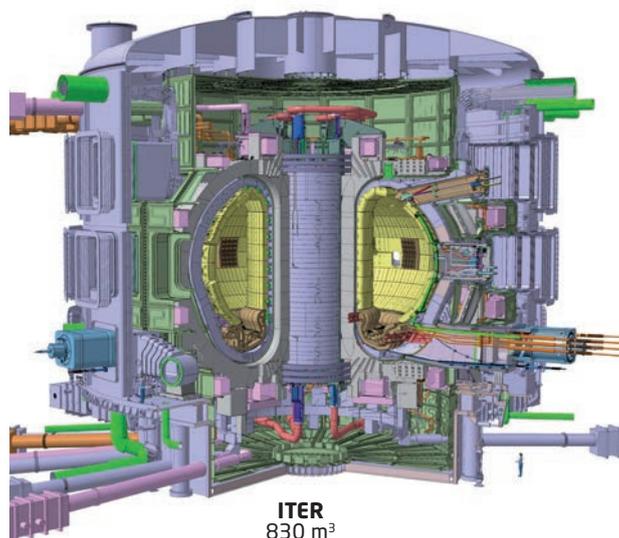
depuis 1950. Tous les tokamaks du monde, y compris Tore Supra et le JET, sont maintes fois devenus subitement totalement ingérables, sous l'effet de causes extrêmement variées, allant du détachement de poussières de leur paroi, à l'entrée de gaz froid consécutif à un manque d'étanchéité de l'enceinte. Toutes les machines présentes et à venir ont connu et connaîtront des phénomènes de « disruption ».



Tore Supra
25 m³
~0 MW_{th}



JET
100 m³
~16 MW_{th}



ITER
830 m³
~500 MW_{th}

Pourquoi est-on passé à des machines de plus en plus grosses ? ITER sera le premier tokamak dont la température du plasma sera contrôlée par les réactions de fusion et non par l'énergie qu'on y injecte.

Quand survient la disruption

Quand on a amené un tokamak à son régime de fonctionnement, un courant plasma (d'un million et demi d'ampères dans Tore Supra et jusqu'à quatre million et demi d'ampères dans le JET) se boucle sur lui-même, les lignes de courant disposant selon des cercles ayant pour axe de symétrie celui de la machine.

Quand une disruption se manifeste, la température du plasma s'effondre extrêmement brutalement, en un millième de seconde, d'un facteur 10 000, en passant de 100 millions de degrés à quelques dizaines de milliers de degrés. L'énergie est dissipée par conduction thermique turbulente à la paroi et par rayonnement.

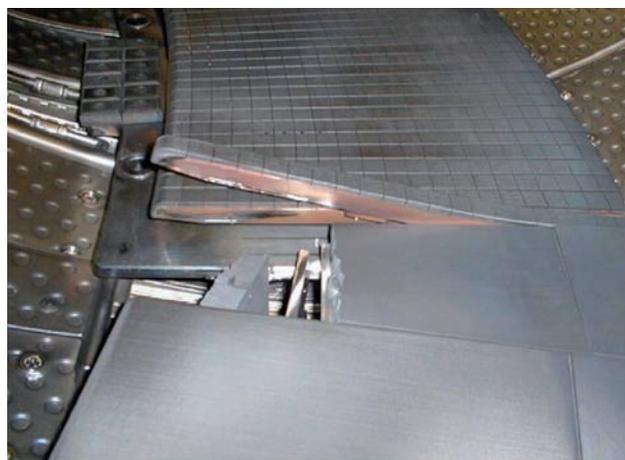
Comme le rappelle Cédric Reux dans sa thèse : « Personne n'est aujourd'hui à même d'expliquer ce phénomène, de le prédire avec certitude et de le maîtriser (...). Personne ne comprend le mécanisme de ce "quençh" thermique ».

Le chaos en une milliseconde

Ce phénomène induit un changement drastique de régime. Alors qu'une milliseconde plus tôt, la géométrie de la machine présentait la plus parfaite régularité, que les lignes de champ magnétique formaient d'harmonieuses lignes spiralées, que le plasma était confiné dans un volume ayant la forme d'un tore bien lisse, tenu à distance des parois par le puissant champ magnétique, tout cet ordre se trouve instantanément détruit. Ce champ n'étant plus à même de confiner, de brider le plasma, la structure de ce dernier devient totalement chaotique.

Le courant plasma, en s'effondrant, devient la source de puissants courants induits

Le contenu énergétique des futurs tokamaks et réacteurs étant de plusieurs ordres de grandeur supérieur à celui des machines actuelles, les conséquences des disruptions seront d'autant plus graves.

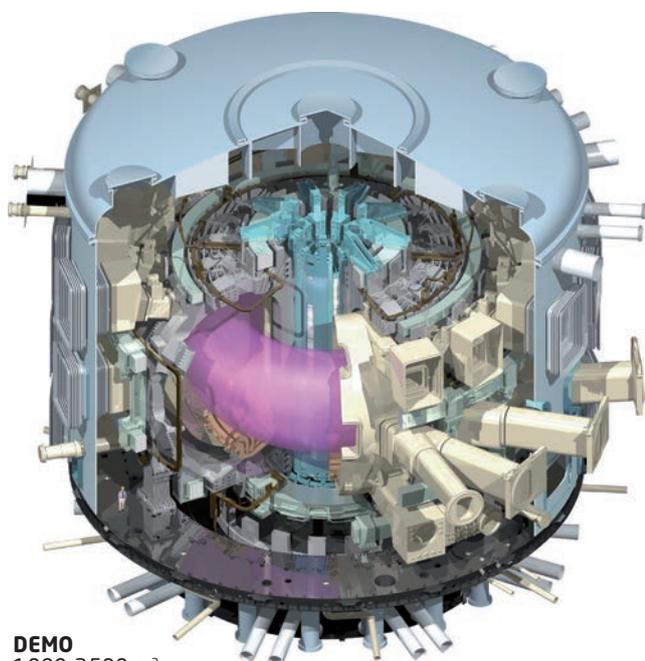


Cet élément du limiteur de Tore Supra et la couverture en carbone ont été endommagés sous l'effet d'une disruption.

circulant dans toutes les structures des machines qui, combinés avec le champ magnétique ambiant, engendrent des forces se chiffrant en centaines de tonnes, lesquelles, dans les machines actuelles, sont capables de tordre et de déformer les structures pariétales comme des fétus de paille. Il se crée un jet d'électrons relativistes, à haute énergie (de 10 à 30 MeV) dont l'intensité est de l'ordre de celle du courant plasma, équivalant à un foudroiement, qui s'en va frapper n'importe quelle région de la face interne de l'enceinte à vide, en vaporisant le matériau dans la région touchée.

Un phénomène ingérable avec ITER

Comme le note Cédric Reux, et nous abondons dans son sens, ce qui était jusqu'ici gérable dans des tokamaks comme Tore Supra et JET ne le sera plus dans une machine comme ITER, qui contiendra mille fois plus d'énergie (et a fortiori dans les suivantes). Les concepteurs mêmes de la machine



DEMO
1000-3500 m³
~2000-4000 MW_{th}

prévoient que les « coups de foudre », qui s'y produiront inmanquablement, atteindront 15 millions d'ampères (et 150 millions d'ampères sur son successeur, DEMO). Des impacts d'une telle puissance perforeront l'enceinte à vide. La couche de béryllium, d'un centimètre d'épaisseur, constituant la première paroi, celle qui est « face au plasma », sera volatilisée et dispersera le matériau dont elle est constituée, un polluant hautement toxique et cancérigène, en même temps que le tritium, radiotoxique, contenu dans la chambre.

Si les modules tritigènes (régénérateurs de tritium), situés immédiatement derrière la première paroi en béryllium, sont conçus sur la base d'une circulation d'un mélange lithium-plomb à l'état liquide, refroidi par eau (solution CEA), il y aura émission de vapeurs de plomb et de lithium, toxiques. Le lithium étant inflammable, explosif si mis au contact d'eau, ces substances pourront s'ajouter aux dispersions de polluants précités, et la combustion du lithium, impossible à éteindre, pourra entraîner la destruction pure et simple de la machine.

Les forces de Laplace, se chiffrant en milliers de tonnes, pourront déformer les structures de la machine, imposant leur remplacement, voire la réfection totale de l'installation.

Un pilotage totalement empirique

La conséquence la plus importante se réfère à une future exploitation commerciale de ce type de machine. Personne ne pourrait envisager de fonder une production d'électricité sur des générateurs qui pourront, inmanquablement et de manière imprévisible, être mis hors service pour de longs mois, voire des années. Comme vous le découvrirez, le pilotage d'un tokamak (donc d'ITER) relève de l'empirisme le plus complet. Une base de données contient l'enregistrement de séquences ayant conduit à des disruptions dans le passé. Fort de cette expérience accumulée, l'ordinateur pilotant la machine a la possibilité, s'il voit émerger une

► Repères

Deutérium : isotope naturel de l'hydrogène (extrait de l'eau de mer) dont la fusion avec un autre isotope de l'hydrogène (le tritium) donne un atome d'hélium qui s'accompagne d'un dégagement d'énergie considérable.

Disruption : ouverture brusque d'un circuit, provoquant la dissipation de l'énergie accumulée. L'équilibre d'un plasma de tokamak est gouverné par les équations de la magnétohydro dynamique. Un plasma réel est sujet à des perturbations pouvant détériorer cet équilibre et déclencher des instabilités menant à la perte complète de l'équilibre. La disruption entraîne une perte de l'énergie et les flux de chaleur peuvent endommager les composants face au plasma...

Électron : cette particule élémentaire, chargée négativement appartient à la famille des leptons. L'électron est un des composants de l'atome (avec le proton et le neutron).

Fusion thermonucléaire : processus qui se produit naturellement au cœur du Soleil et de la plupart des étoiles. C'est l'agglomération de deux noyaux atomiques légers en un seul de masse plus élevée. Il ne s'agit pas, comme dans la fission, de la cassure d'un noyau atomique lourd, mais bien de faire fusionner les deux noyaux initiaux. La fusion dégage une quantité d'énergie considérable, utilisée dans les missiles thermonucléaires, qu'ITER doit permettre de maîtriser grâce à une réaction contrôlée.

Lithium : il permet d'obtenir le tritium utilisé dans la fusion, par la réaction : lithium + neutron → tritium + hélium 4.

Neutron : particule subatomique électriquement neutre utilisée pour ses aptitudes à provoquer des réactions nucléaires.

Plasma : c'est l'état dans lequel se trouve la matière portée à très haute température ; les atomes sont alors ionisés et forment un gaz. Dans le processus de fusion, le plasma est contenu par des champs magnétiques dans une chambre en forme de tore (tube courbé sur lui-même).

Supraconductivité : absence de résistivité électrique de certains métaux. Les bobines toroïdales supraconductrices servent à confiner les noyaux maintenus à l'état de plasma dans le réacteur.

Tokamak : il se présente sous la forme d'une chambre à vide de forme torique contenant le plasma de fusion. L'histoire de la recherche sur la fusion a été jalonnée par l'augmentation de la taille des tokamaks.

Tritium : un isotope artificiel (il n'est présent dans la nature qu'à l'état de trace) et radioactif de l'hydrogène, qui peut être obtenu par irradiation du lithium par des neutrons.

séquence d'événements de ce type, de tenter de stopper la machine en étouffant le plasma par jets de gaz froid, ce qui n'est pas toujours possible étant donné la rapidité du développement de cette instabilité, la lenteur de certains instruments de mesure et le temps de réponse de « l'extincteur ».

Personne n'est à même de définir le domaine de fonctionnement d'un tokamak. ITER devra construire sa propre base de données d'événements, de manière totalement empirique, au fil d'incidents, imprévisibles, qui pourront s'avérer catastrophiques. Les bases de données des autres machines ne sont d'aucun secours car il n'existe aucun moyen d'extrapoler et de réutiliser les données existantes (pas de « relations de similitude disponibles » pour extrapoler les résultats obtenus avec des machines de taille plus modeste). Ces incidents, inévitables lors de la mise en œuvre, pourront amener la destruction d'ITER dès les premiers essais.

Maîtriser les disruptions du plasma

« Afin de faire fonctionner les futurs tokamaks dans de bonnes conditions de fiabilité, sûreté, sécurité et performance, écrit Cédric Reux dans sa conclusion, il apparaît de plus en plus nécessaire de maîtriser les disruptions du plasma. Ces phénomènes violents correspondant à une perte de confinement du plasma sont à l'origine de trois types d'effets néfastes. Les effets électromagnétiques, comprenant les courants induits, les courants de halo et les forces de Laplace qui en résultent, peuvent endommager l'enceinte à vide du tokamak ainsi que des éléments de structure. Les effets thermiques provoqués par la perte de l'énergie contenue dans le plasma sont susceptibles de provoquer des dégâts irréversibles sur les éléments de paroi en contact avec le plasma. Enfin, des faisceaux d'électrons relativistes, accélérés pendant la disruption, peuvent perforer l'enceinte à vide. »

« Même si les disruptions sont étudiées depuis les premiers tokamaks des années 1950, poursuit le doctorant, elles n'ont représenté jusqu'à une période récente qu'une gêne mineure au fonctionnement des machines. Ce n'est qu'avec l'avènement des tokamaks de grande taille que leurs dangers ont commencé à se faire de plus en plus présents. Le contenu énergétique des futurs tokamaks et réacteurs étant de plusieurs ordres de grandeur supérieur à celui des machines actuelles, les conséquences des disruptions seront d'autant plus graves. La nécessité de les éviter

ou de les maîtriser devient donc indispensable, l'évitement n'étant pas toujours possible. »

Un examen attentif de ces problèmes montre que la détermination de conditions de fonctionnement excluant le phénomène de disruption est impossible. Par ailleurs, plus les machines seront puissantes, plus elles seront instables et plus ces phénomènes seront rapides, ingérables, violents et destructeurs. Ce phénomène de disruption était à la fois prévisible et naturel. C'est un simple phénomène dissipatif à travers lequel un système physique s'efforce de dissiper l'énergie qu'il engendre en son sein (par la fusion) vers l'extérieur. La disruption est une instabilité MHD (magnétohydrodynamique), qui présente un rapport de cousinage avec un autre type de phénomène dissipatif : l'éruption solaire.

Le souffle du dragon

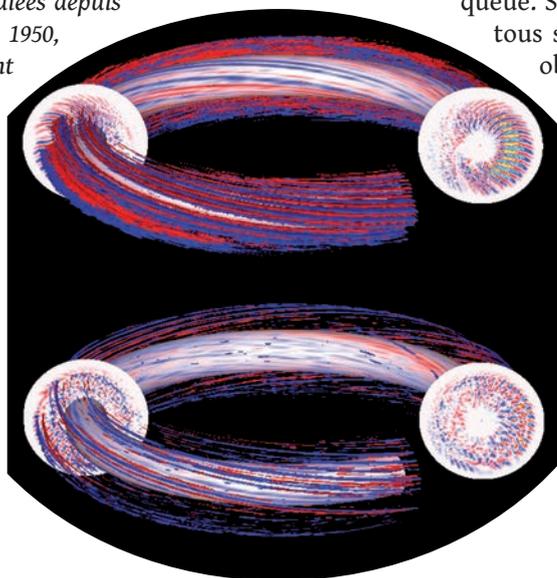
Espérer faire un jour fonctionner un tokamak sans disruption est aussi déraisonnable que d'envisager un Soleil sans éruptions solaires, une météorologie sans vents ni nuages, une cuisson dans une casserole emplie d'eau sans tourbillons.

Ces disruptions découlent d'un passage complet du plasma d'un régime non turbulent à un régime turbulent. La turbulence est présente dans d'innombrables systèmes physiques, par exemple en aéronautique, de manière locale. Dans les tokamaks, le couplage dû au champ électromagnétique donne naissance à une macro-turbulence, qui intéresse aussitôt la totalité du plasma. Pour un non-scientifique, on peut donner une image de ce qu'est le plasma d'un tokamak. Imaginez un dragon qui se trouve emprisonné dans une cage en forme de tore, où il tourne à vive allure en se mordant la queue. S'il lâche prise, il s'agit aussitôt en

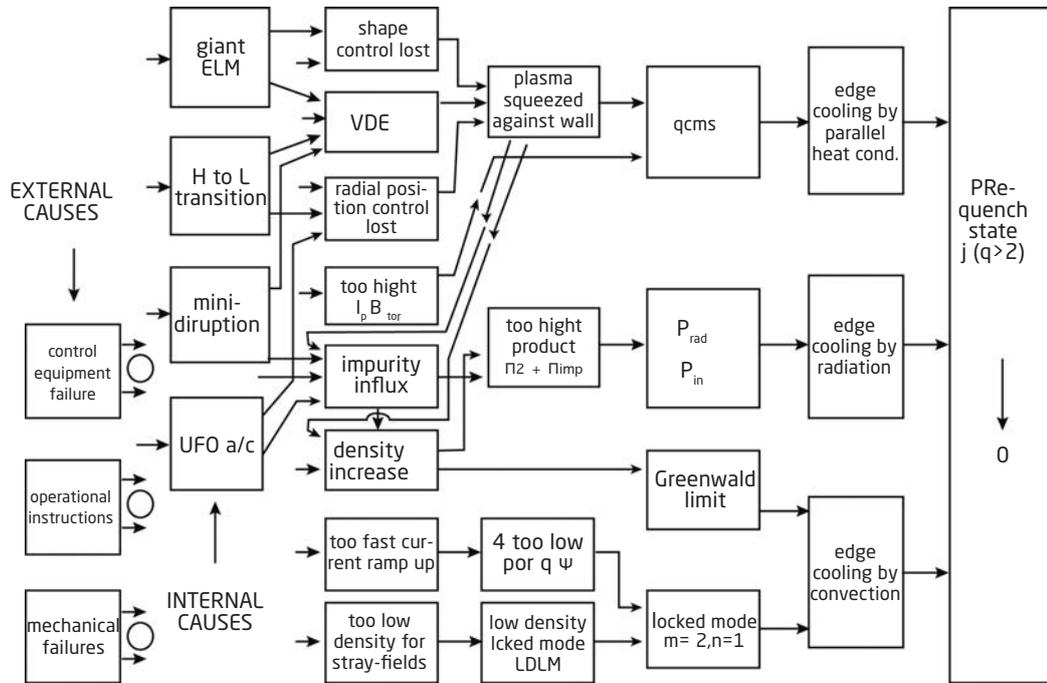
tous sens et s'en ira mordre le premier objet qui se trouvera sur son passage, sur la paroi. Comme tous les dragons, il exhale un souffle brûlant, qui se trouve être ici un jet d'électrons atteignant 99 % de la vitesse de la lumière et qui, de par sa forte énergie, peut déposer celle-ci non en surface, mais en profondeur dans toutes les structures touchées, quelles qu'elles soient.

Dans la thèse de Cédric Reux, aucun procédé n'est envisagé pour prévenir l'apparition des disruptions « qui peuvent avoir des causes

Espérer faire un jour fonctionner un tokamak sans disruption est aussi déraisonnable que d'envisager un Soleil sans éruptions solaires, une météorologie sans vents ni nuages...



Turbulence du plasma.



On peut s'étonner qu'une machine aussi capricieuse et problématique ait pu servir de modèle pour l'élaboration d'un projet pharaonique censé déboucher sur une famille de générateurs électriques exploitant l'énergie de la fusion.

Chaînes d'événements susceptibles de provoquer une disruption (Schuller).

innombrables » et peuvent endommager n'importe quels éléments d'un tokamak, y compris son système supraconducteur de magnétisation, dont on rappelle qu'il contient « l'énergie du porte-avions Charles-de-Gaulle lancé à 150 km/h » (voir figure ci-dessous).

Magnet Energy Comparison



Image extraite du document Powerpoint diffusé par le CEA comparant l'énergie du porte-avions Charles-de-Gaulle à celle du supraconducteur de magnétisation d'un tokamak.

Perspectives

L'évolution des disruptions est si rapide que, lorsque les instruments de mesure détectent leur démarrage, comme le souligne Cédric Reux, il est souvent déjà trop tard pour intervenir. Les seules interventions envisagées reposent sur un étouffement du plasma par injection ultra-rapide de gaz froid à l'aide de tuyères.

Si l'on voulait offrir une image « de la mise en œuvre d'un tokamak » (en fait entièrement contrôlée par un ordinateur), il faudrait se représenter un machiniste qui

est face à une chaudière et à quelques instruments de mesure. Si l'aiguille de l'un d'eux accuse le moindre frémissement, sa seule action possible consiste à noyer le foyer à l'aide d'une lance à incendie.

On peut s'étonner qu'une machine aussi capricieuse et problématique, prétendant préfigurer un engin susceptible d'assurer un fonctionnement en continu, ait pu servir de modèle pour l'élaboration d'un projet pharaonique censé déboucher sur une famille de générateurs électriques exploitant l'énergie de la fusion. S'étonner également que l'Autorité de sûreté nucléaire n'ait jamais fait mention de cette dangerosité, par exemple dans les documents préparatoires qu'elle a fournis aux commissaires chargés de l'enquête publique, laquelle a rendu un avis « favorable avec recommandations » le 5 septembre 2011, sans tenir compte de ces aspects, puisqu'elle en ignorait l'existence.

Cette critique s'ajoute au fait qu'on souhaite construire la machine ITER sans disposer de la moindre donnée fiable concernant la tenue d'une première paroi en béryllium à un flux intense de neutrons de 14 MeV (2 MeV pour les neutrons générés par la fission) et sa résistance aux chocs thermiques et à l'abrasion (ce dernier aspect ayant entraîné l'abandon du carbone, testé sur Tore Supra, pourtant bon conducteur de la chaleur et présentant une excellente tenue thermique, mais en outre véritable « pompe à tritium »).

Ce problème, sans solution, insoluble, des disruptions sur les tokamaks, devrait à lui seul entraîner l'abandon immédiat d'un tel projet. ●

Jean-Pierre Petit

* La thèse de Cédric Reux est téléchargeable à : <http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00599210/en/> Pour les anglophones, la thèse d'Andrew Thornton, janvier 2011. http://etheses.whiterose.ac.uk/1509/1/AT_thesis_FINAL.pdf.

Imaginez un cycliste en train de gravir une côte de plus en plus pentue tout en forçant de moins en moins et en accroissant simultanément sa vitesse. Pas très naturel, n'est-ce pas? Eh bien, c'est précisément la prouesse que réalise l'alternateur de l'inventeur canadien Thane Heins. Explications.

Par rapport à un générateur électrique traditionnel, le dispositif dit à « accélération régénératrice » produit 200 % d'énergie supplémentaire tout en consommant 40 % de puissance mécanique en moins. Ces caractéristiques rêvées risquent de faire froncer bien des sourcils. Et pourtant. En 2008, le professeur Markus Zhan du Massachusetts Institute of Technology (MIT), expert en systèmes électroniques et électromagnétiques, déclare dans le journal canadien *The Toronto Star*: « C'est un phénomène inhabituel que je n'aurais pu prévoir. Mais je l'ai vu. C'est réel. » Et ce n'est pas le seul scientifique à prendre au sérieux cette découverte¹. Même si l'inventeur canadien affirme avec raison (voir plus loin)² que le principe de sa technologie est très simple et accessible à tous, elle contredit néanmoins les lois incontestables de l'électrotechnique. Rappelons en effet une règle de base qui s'applique à tous les générateurs électriques traditionnels et qui découle directement de la loi de conservation de l'énergie: plus la puissance électrique délivrée par un générateur est grande, plus la puissance mécanique à apporter à celui-ci doit être importante. Il doit donc y avoir proportionnalité entre l'énergie électrique produite et l'énergie mécanique rentrante (qui fait tourner l'arbre de la génératrice). Cette propriété est expliquée par la loi de Lenz de l'électrocinétique (voir encadré). Le seul ennui, c'est que le générateur dont nous parlons ici ne vérifie pas cette relation de proportionnalité...

Des bâtons dans les roues

Le principe des générateurs à accélération régénératrice a été étudié pendant deux ans et demi à l'université d'Ottawa sous la direction du Dr Riadh Habash. Tout récemment, un nouveau directeur du département d'Ingénierie a été

nommé, le Dr Emil Petriu. De façon plutôt surprenante pour un scientifique, celui-ci a refusé catégoriquement de prendre connaissance des tests et expérimentations effectués sur l'invention de Thane Heins. De surcroît, il a œuvré pour chasser ce générateur exceptionnel des locaux de l'université d'Ottawa, tout en pressant le personnel de prendre ses distances avec son inventeur.

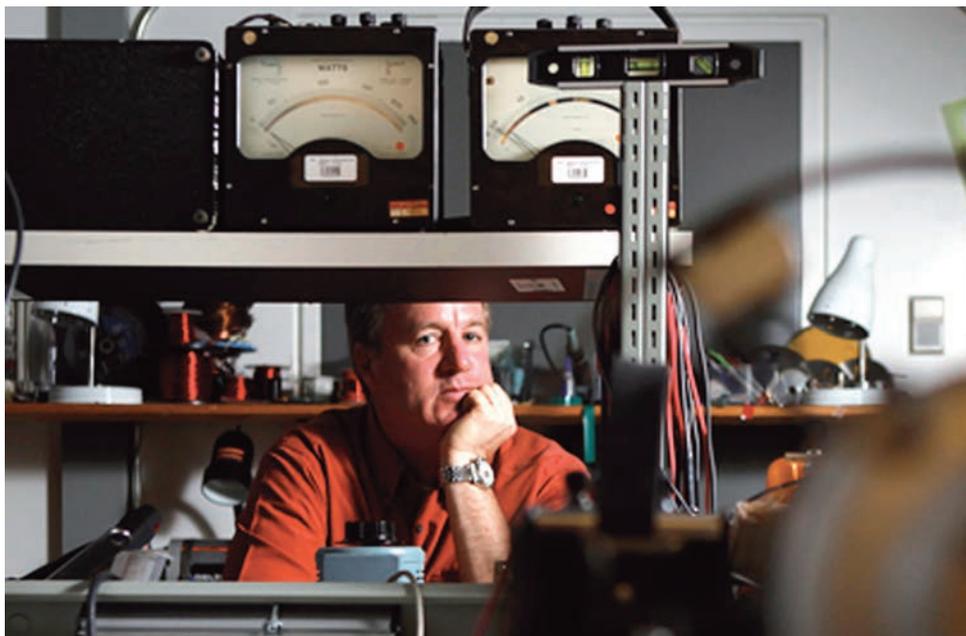
Comme si cela ne suffisait pas, un ami de Thane Heins, technicien au laboratoire de technologie photonique de l'université d'Ottawa, a payé très cher son soutien au procédé à accélération régénératrice. En effet, interviewé en juillet dernier par la chaîne CBC (Canadian Broadcasting Corporation), il a émis quelques critiques discrètes à l'encontre de son université, arguant qu'elle était quelque peu réticente à explorer de nouveaux modes de production d'énergie. La réponse ne s'est pas fait attendre. Quelques jours après, il était renvoyé de son poste malgré seize ans de bons et loyaux services. Il demeure toutefois autorisé à travailler dans son laboratoire, mais sans recevoir aucun salaire...

De façon plus générale, on peut remarquer que les nombreux contacts prometteurs établis, entre autres, avec des constructeurs automobiles (Chrysler, Mercedes-Benz, Nissan...) sont restés sans suite à ce jour. Pour une technologie qui a été reconnue valide (mais pas forcément comprise) par plusieurs équipes universitaires, c'est pour le moins surprenant...

Ex-Peripeteia

L'idée de ce générateur qui défie la loi de Lenz de l'électromagnétisme est née il y a plus de vingt-cinq ans, en 1985. M. Heins avait initialement baptisé son invention « Peripeteia » (voir NEXUS n° 57, page 86), nom issu du grec ancien *peri-peteia* signifiant « passage soudain d'un état à son contraire » et qui est à l'origine du mot péripétie. Les médias, à l'époque, ont accueilli cette

par l'accélération régénératrice



Thane Heins dans son laboratoire.

nouvelle technologie plutôt fraîchement, en lui collant rapidement l'étiquette de machine à mouvement perpétuel. En réalité, cette appellation n'est pas rigoureusement exacte en mode de fonctionnement direct, car la génératrice doit être continuellement alimentée (mécaniquement) par une source extérieure. Néanmoins, cela a suffi à rendre ce nouveau procédé quasiment infréquentable en faisant fuir les chercheurs compétents ainsi que des investisseurs potentiels. Cette mauvaise publicité a retardé le développement de la génératrice aux propriétés si particulières.

Notons au passage que, contrairement à ce que l'on voudrait nous faire croire, la notion de mouvement perpétuel ne peut pas être condamnée aveuglément par la physique moderne. En effet, cette dernière reconnaît parfaitement, preuve expérimentale à l'appui³, la présence de l'énergie des fluctuations quantiques du vide, appelée plus couramment « énergie du vide ».

➤ Capacités parasites dans un bobinage¹

Rappelons qu'un condensateur est constitué de deux conducteurs métalliques (appelés armatures) très proches l'un de l'autre et portés à des potentiels électriques différents. De façon similaire, deux spires de fil électrique qui sont voisines l'une de l'autre dans une bobine ne sont pas au même potentiel électrique². Ces deux spires vont alors se comporter comme un condensateur. Or un condensateur est traversé par un courant électrique si ce courant est variable dans le temps. Il en découle que des courants parasites prennent naissance *entre* les spires d'un même bobinage si ce dernier est traversé par un courant variable. Ces courants parasites sont d'autant plus importants que la fréquence est élevée.

1. En anglais seulement : http://en.wikipedia.org/wiki/Parasitic_capacitance

2. La résistance électrique du fil est responsable d'une chute de tension par application de la loi d'Ohm.

Et même si, officiellement, il ne serait pas possible d'extraire cette énergie du vide⁴, le concept même de machine à mouvement perpétuel, en tant que système ouvert (pouvant recevoir de l'énergie de l'extérieur), ne peut être ridiculisé par des physiciens dignes de ce nom. Pour se débarrasser de cette réputation sulfureuse qui avait été attachée à son invention, Thane Heins a abandonné l'appellation *Perepiteia* au profit d'une dénomination plus descriptive de « *générateur à accélération régénératrice* ». Il l'a fait aussi pour tourner la page de la première interprétation du fonctionnement de son générateur qui était avéré erronée.

Comment ça marche ?

Les explications données par l'inventeur sont tout aussi déroutantes que les propriétés de son générateur. Étonnamment, elles font appel à des notions peu connues mais néanmoins parfaitement *classiques* de l'électrotechnique. Voici en version résumée les éléments principaux qui justifient le fonctionnement très inhabituel d'un générateur à accélération régénératrice.

1. Pour une fréquence de rotation suffisamment élevée, les bobines de la génératrice n'ont plus un comportement inductif⁵ (comme tout circuit bobiné), mais capacitif⁶ ! La capacité parasite (voir encadré) d'un bobinage joue en effet un rôle de premier plan à haute fréquence. L'énergie électrostatique est donc stockée *entre* les fils du bobinage (et non plus à l'extérieur des fils avec un champ magnétique).

2. Lorsqu'un aimant du rotor se trouve rigoureusement en face d'une bobine (position appelée en anglais « *Top Dead Center* » ou TDC), la tension stockée entre les fils est maximum. D'autre part, pendant un instant infinitésimal à TDC seulement, le courant induit dans la bobine s'annule. En effet, à TDC, l'aimant n'est ni en phase

L'énergie du vide ne jouerait aucun rôle ici. Le surplus d'énergie s'expliquerait par le « retournement » de la loi de Lenz qui, au lieu de freiner la génératrice, l'accélérait.

d'approche ni de recul par rapport à la bobine (le flux magnétique reste sensiblement constant dans la bobine, d'où l'absence de courant induit).

3. À la position TDC, les capacités parasites de la bobine se déchargent et créent un courant qui produit un champ magnétique *décalé*. Celui-ci repousse alors l'aimant du rotor qui s'éloigne et, simultanément, attire celui qui s'approche de la bobine. Ces forces tendent à accélérer le rotor de l'alternateur, au lieu de le décélérer dans un générateur conventionnel.

4. La haute tension (de l'ordre de 1 000 V) qui provient des bobines du générateur est ensuite rabaissée pour s'adapter aux spécificités de la charge.

Ces explications sont-elles complètes? Oui, selon Thane Heins. En d'autres termes, l'énergie du vide ne jouerait aucun rôle ici. Le surplus d'énergie s'expliquerait par le « *retournement* » de la loi de Lenz qui, au lieu de freiner la génératrice, l'accélérait. Toutefois, cela reste à prouver, mais ce n'est pas si simple (la mesure de la puissance mécanique apportée à la génératrice nécessite une mesure de couple de force qui est délicate).

Faites-le vous-même !

Nombreux sont ceux qui ont reproduit avec succès l'effet d'accélération régénératrice du générateur de Thane Heins⁷. Et pour cause, contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'expérience est d'une simplicité désarmante et requiert très peu de matériel. Plus précisément, il faut :

- un moteur commandé en vitesse pouvant tourner jusqu'à 3 000 tours/min ;
- un plateau entraîné par le moteur sur lequel sont fixés des aimants puissants ;
- une bobine avec un grand nombre de spires possédant donc un coefficient d'auto-induction élevé (environ 2 henry) ;
- un wattmètre mesurant la puissance électrique apportée au moteur ;
- une ampoule électrique qui servira de charge à la bobine ;
- quelques fils électriques, et c'est tout !

Mesure de précaution: la vitesse de rotation du plateau étant élevée (quoique habituelle pour ce type d'application), il faut soigner la fixation des aimants.

► Induction magnétique et loi de Lenz

Énoncée en 1834 par Heinrich Lenz, cette loi qualitative permet de déterminer *sans calcul* le sens du courant électrique induit par une variation de flux magnétique. Elle s'appuie sur la loi de Michael Faraday, qui a modélisé mathématiquement en 1831 ce phénomène de l'induction magnétique. La loi de Lenz peut s'énoncer ainsi : « *Les effets du courant induit tendent à s'opposer aux causes qui lui ont donné naissance.* » Pour comprendre concrètement sa signification, considérons un aimant qu'un opérateur approche d'une bobine de fil immobile, connectée à une ampoule électrique.

Selon la loi de Lenz, le sens du courant électrique induit dans la bobine s'oppose à sa cause, c'est-à-dire à l'augmentation du flux magnétique due à l'approche de l'aimant. Sans effectuer aucun calcul, on peut donc affirmer que la bobine va présenter un pôle nord à l'aimant. Car comme chacun sait, les pôles magnétiques de même nom se repoussent.

Donc l'opérateur qui déplace l'aimant va devoir dépenser de l'énergie pour l'approcher de la bobine immobile et vaincre la force de répulsion magnétique. Cette énergie mécanique apportée par le manipulateur est en conséquence transformée en énergie électrique qui alimente l'ampoule. On comprend alors sur cet exemple élémentaire pourquoi la loi de Lenz exprime aussi la loi de conservation de l'énergie. D'autre part, elle traduit aussi la loi de l'action et de la

réaction de la mécanique (3^e loi de Newton). En effet, la force qu'exerce l'opérateur pour faire avancer l'aimant est exactement opposée à la force subie par la bobine.

Profitions de ce dispositif expérimental très simple pour mieux comprendre les caractéristiques d'un générateur électrique classique.

Commençons par la vitesse de translation de l'aimant. Celle-ci modifie la tension électrique aux bornes de la bobine : plus l'opérateur déplace rapidement l'aimant, plus la tension électrique délivrée par la bobine est grande. De façon similaire, c'est la vitesse de rotation qui définit la tension électrique aux bornes d'un alternateur ou d'une dynamo. D'autre part, la force qui doit être exercée sur l'aimant pour le déplacer à vitesse constante est d'autant plus grande que le courant débité par la bobine est important. Cela dépend bien sûr de la « charge », c'est-à-dire de ce que l'on branche sur la bobine. Aux deux extrêmes :

- rien n'est branché sur la bobine et l'opérateur exerce une force minimale (juste pour vaincre les frottements) ;
- la bobine est en court-circuit et la force pour mouvoir l'aimant est maximale.

On retrouve exactement les mêmes propriétés pour un générateur électrique classique.

Propriétés qui sont par ailleurs, rappelons-le, totalement contredites par le générateur à accélération régénératrice de Thane Heins...

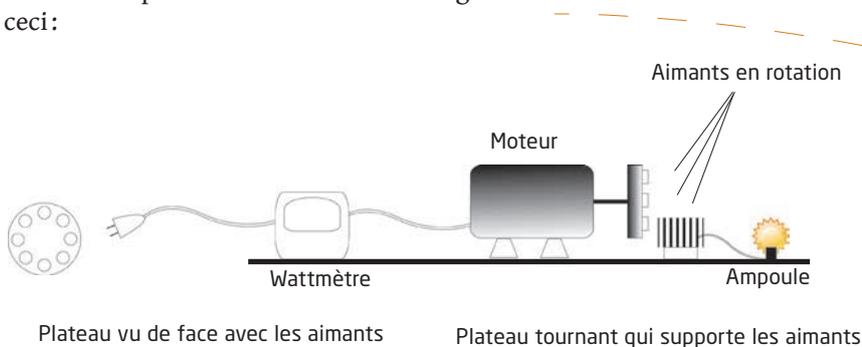
➤ Autres réalisations de Heins

La créativité de l'inventeur canadien ne se limite pas à son générateur aux performances si étonnantes. Jugez plutôt sa production :

- Le transformateur bi-toroïdal (Bi-Toroid Transformer ou BiTT) : c'est une nouvelle technologie qui agit comme une diode magnétique et isole la source d'électricité de son utilisation. Actuellement sous étude et co-développé avec un ingénieur de l'entreprise Philips aux Pays-Bas, cet appareil mériterait qu'on lui consacre un article à lui tout seul...
- L'absorbeur de chocs régénérateurs : il s'agit d'une suspension spéciale qui capte l'énergie des vibrations et oscillations d'un véhicule en mouvement. Ce nouveau système est actuellement étudié par les bureaux d'études de nombreux fabricants. La version de Heins exploite bien sûr la technologie de son générateur régénérateur et de son transformateur bi-toroïdal BiTT.

- Le système de stockage d'énergie par volant suspendu magnétiquement : nouvelle technologie développée par l'entreprise Potential Difference Incorporated (ou PDI) de l'inventeur canadien avec la collaboration d'une équipe de l'université de Virginie (Rotating Machinery and Controls Laboratory). Peut être utilisé comme un système de récupération de l'énergie cinétique dans un véhicule, mais aussi comme système de génération d'énergie cinétique.
- Les paliers magnétiques coniques : nouvelle technologie développée par l'entreprise PDI de Thane Heins. Elle est constituée uniquement d'aimants permanents. Un brevet a été déposé par la Nasa.
- Les technologies déjà existantes de récupération d'énergie par freinage et des panneaux solaires sont aussi étudiées par l'entreprise Potential Difference Incorporated.

Un carter de protection entourant le système n'est pas inutile non plus... Le schéma de montage ressemble à ceci :



D'après Heins, plusieurs entreprises ont déjà lancé la fabrication de produits basés sur ses inventions. En particulier, un vélo électrique dont les batteries se rechargent automatiquement une fois en mouvement.

Perspectives

Thane Heins a fondé, dès 1999, une entreprise devenue une société de recherche et développement à responsabilité limitée en 2005, baptisée « *Potential Difference Incorporated* ». Celle-ci a déjà délivré des licences d'exploitation de cette nouvelle technologie aux USA bien sûr, mais aussi en Europe, en Russie et en Chine. D'après Heins, plusieurs entreprises ont déjà lancé la fabrication de produits basés sur ses inventions. En particulier, un vélo électrique dont les batteries se rechargent automatiquement une fois en mouvement devrait être commercialisé dans un futur proche. Comme quoi l'image du vélo qui accélère dans une montée n'est pas si éloignée de la réalité.

Heins offre gratuitement (excepté les frais de dossier et d'accompagnement, soit 10000 \$) la licence d'exploitation à toutes les entreprises qui feront usage de son procédé dans leur fabrication. Il ne demande en échange que des royalties une fois le produit mis en vente. L'assistance technique auprès des ingénieurs de l'entreprise pour la mise en place⁸ de sa technologie à accélération régénératrice est comprise dans cette offre. Incontestablement, il y a un bel accord entre l'abondance énergétique de ce nouveau dispositif et la générosité de son inventeur... ●

Jérôme Dangmann

Notes

1. Plusieurs équipes universitaires et en particulier celle de l'université d'Ottawa ont étudié la technologie à accélération régénératrice. En outre, Thane Heins a échangé des informations avec la Nasa, l'US Air Force, l'Académie russe des sciences, l'agence spatiale canadienne, l'association canadienne pour l'avancement des sciences...
 2. Voir cette vidéo montrant un dispositif ultra-simple (un moteur mettant en rotation un disque bordé d'aimants devant une grosse bobine) fabriqué par un ingénieur néerlandais : <http://www.youtube.com/watch?v=kzxc3Ai4T3A&feature=related>
 3. L'effet Casimir, qui prédisait l'existence de l'énergie du vide dès 1948, a été vérifié à 1 % près en 1998 : http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Casimir
 4. Voir la page de Wikipédia : http://fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_du_vide

5. L'énergie électrique est stockée sous forme de champ magnétique à l'extérieur des fils de la bobine.
 6. L'énergie électrique est stockée sous forme de champ électrique entre les fils de la bobine qui jouent alors le rôle d'armatures du condensateur.
 7. Reproduction de l'expérience aux Pays-Bas : <http://www.youtube.com/watch?v=kzxc3Ai4T3A>; en Suède : http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=VeXadyVSxj4; au Canada : <http://www.youtube.com/watch?v=JrzMbSdQZlo>; encore au Canada, par des étudiants de l'université d'Ottawa : <http://www.youtube.com/watch?v=fEjXB1UYkY8>
 8. Cela prend environ trois ans du premier prototype à la chaîne de fabrication finale.

Un circuit surunitaire



Dr Steven E. Jones

Surunitaire ou pas ?
Selon le Dr Steven E. Jones¹, professeur retraité de la Brigham Young University, voici un circuit capable de fournir au moins huit fois plus de puissance en sortie qu'il n'en absorbe à l'entrée. *NEXUS* l'a testé.

Impossible diront certains. Impossible pour un circuit dit « fermé » (qui n'échange pas d'énergie avec l'extérieur), cela ne fait aucun doute. La loi de conservation de l'énergie reste ainsi vérifiée. Mais s'il s'agit à l'inverse d'un système dit « ouvert », alors tout est envisageable. En particulier si ce système capte² l'énergie des fluctuations quantiques du vide. Encore et toujours l'énergie du vide...

Notons qu'une grande majorité – si ce n'est la totalité – des dispositifs qui capteraient l'énergie du vide tire profit du phénomène de résonance. C'est justement le cas du montage qui nous intéresse ici, grâce à la présence d'un condensateur et d'une bobine présents dans une des mailles de ce circuit somme toute très modeste³.

► Description du montage

Les composants

$R_1 = 1 \Omega$; $R_2 = 3,1 \Omega$; $R_0 = 9,8 \text{ k}\Omega$; $R_b = 2 \text{ k}\Omega$; Q : transistor MPS2222 ; C = 150 pF ; D : LED rouge ; V_{in} : 2 piles AA.

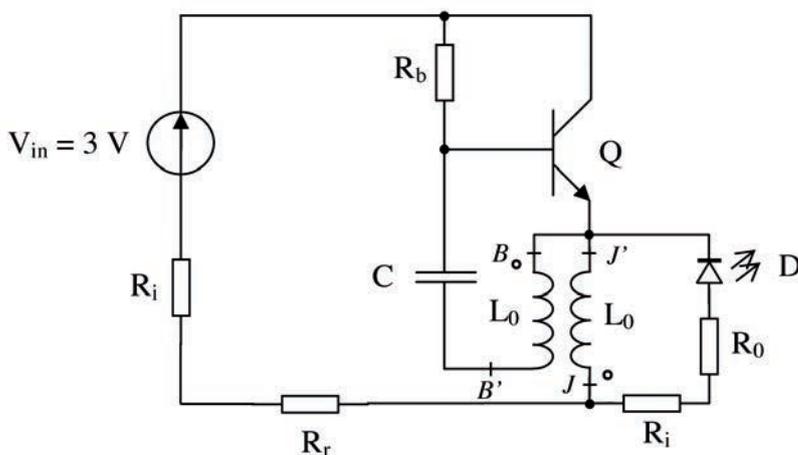


Figure 1 : schéma du circuit.

Le transformateur est bobiné à la main sur un petit tore (taille approximative : diamètre extérieur $\approx 2,5 \text{ cm}$; hauteur $\approx 1,5 \text{ cm}$) en ferrite. Il faut choisir un modèle dont les pertes sont faibles en haute fréquence, aux alentours de 60 MHz.

Principe du bobinage

Soit un fil par exemple jaune, dont les extrémités sont notées J et J' . Idem avec un fil bleu d'extrémités B et B' . Les deux fils sont placés côte à côte (J avec B et J' avec B') et bobinés ensemble autour du tore en faisant neuf spires environ. Puis on relie électriquement les extrémités B et J' par exemple. L'extrémité J est alors connectée entre les résistances R_r et R_i tandis que B' est reliée au condensateur C (voir schéma ci-contre).

testé et... à prouver

Quelques essais

Les tests que nous avons effectués à l'aide d'un oscilloscope professionnel quatre voies Tektronix 3054B semblent effectivement montrer une puissance de sortie supérieure à celle injectée à l'entrée. Il faut toutefois rester très prudent ici, à l'instar des électroniciens professionnels interrogés sur la fiabilité d'une mesure de puissance. En respectant rigoureusement le circuit

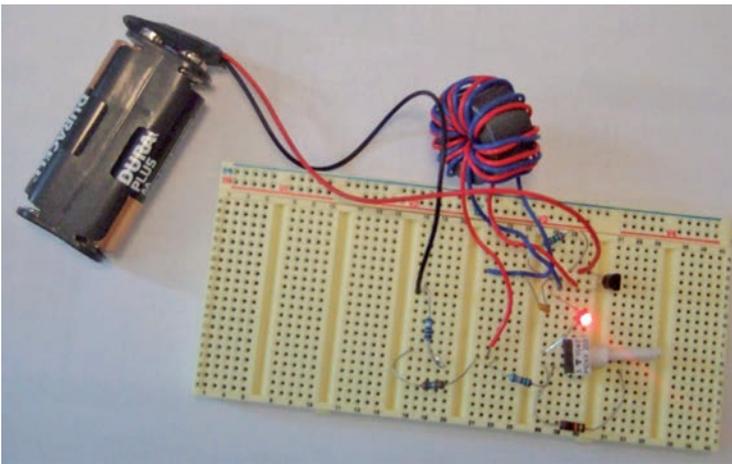


Figure 2 : circuit en fonctionnement.

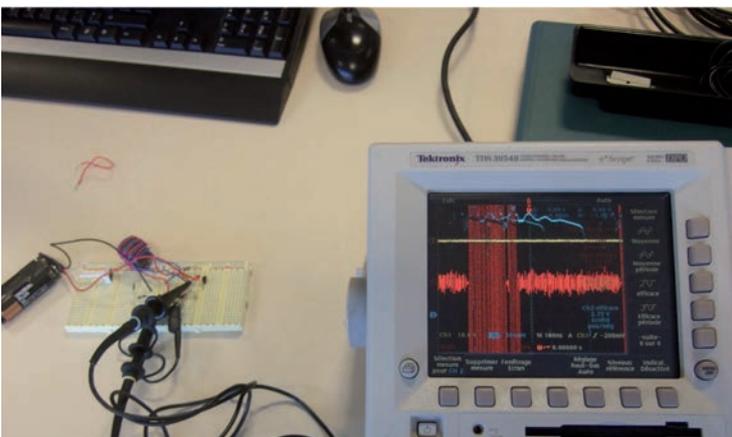


Figure 3 : mesure de puissance avec l'oscilloscope Tektronix 3054B

➤ Comment mesurer une puissance ?

La puissance électrique dissipée dans un composant (encore appelé « dipôle » car il possède une borne d'entrée et une borne de sortie) est le produit de l'intensité du courant qui le traverse par la tension à ses bornes. Lorsque ces deux grandeurs, intensité et tensions, varient aléatoirement, il n'y a pas d'autre choix que de les multiplier soit à l'aide d'un oscilloscope numérique qui fournit un résultat en temps réel, soit par traitement informatique *a posteriori* à partir d'enregistrements des tensions et intensité. On réalise cette opération pour mesurer la puissance délivrée par la source d'alimentation (ici deux piles AA) et aussi pour mesurer la puissance de sortie du circuit. On compare alors les puissances de sortie et d'entrée.

fourni par le professeur Jones (voir le schéma), le surcroît de puissance mesuré, s'il existe, est assez modéré : environ 45 %. Par contre, si l'on remplace la résistance R_0 par un potentiomètre de 20 k Ω , on obtiendrait entre 60 et 100 % de puissance supplémentaire en sortie. Certes, nous sommes encore loin des 700 % espérés. Toutefois, en choisissant un noyau de ferrite plus performant et en ajustant la résistance R_0 de charge (adaptation d'impédance pour un transfert optimal de puissance), on peut espérer encore améliorer le rapport de puissances.

Pour conclure

La mesure rigoureuse des puissances à l'aide d'un oscilloscope numérique est délicate et certains prétendent même qu'on ne peut s'y fier en travaillant à des fréquences élevées. Pour convaincre les sceptiques les plus endurcis, il n'y aurait vraisemblablement qu'une seule méthode : parvenir à boucler⁴ le circuit sur lui-même afin qu'il s'auto-alimente. La vision d'une LED illuminée *ad vitam aeternam* en l'absence de toute source d'alimentation visible constituerait en effet un argument irrévocable.

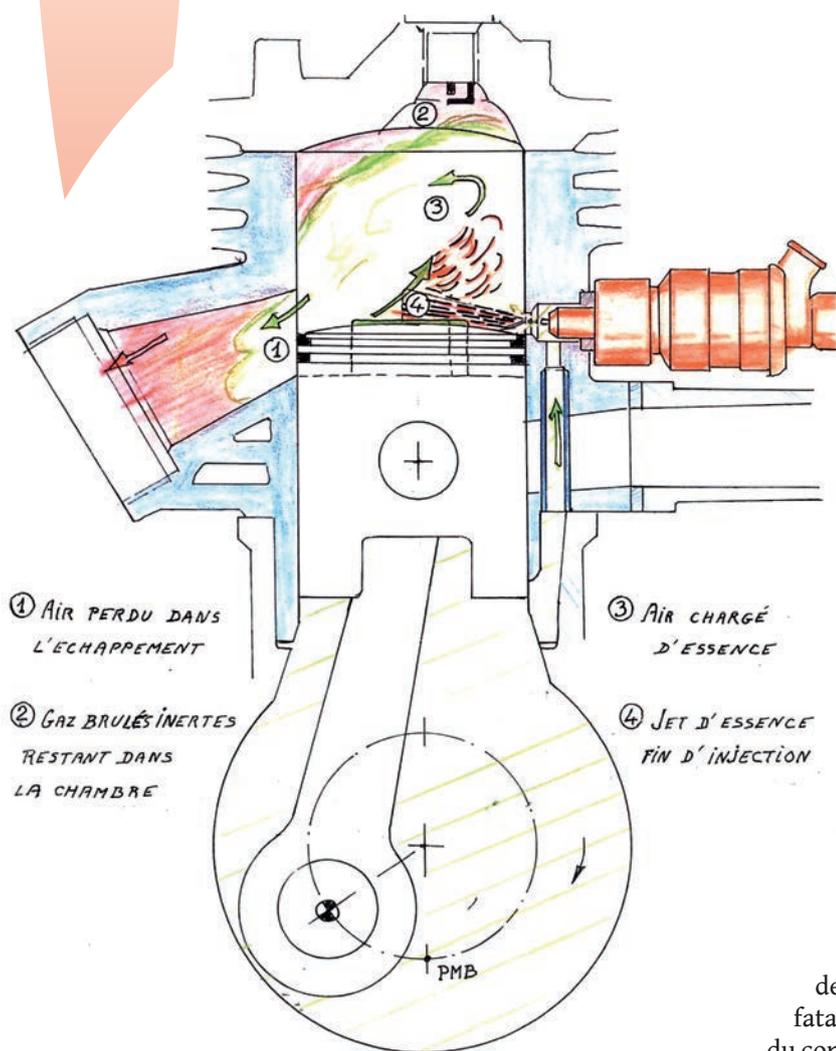
Si l'on parvient à atteindre un rapport de puissances $P_{\text{sortie}}/P_{\text{entrée}}$ suffisamment élevé (au moins 5), on peut raisonnablement penser que ce bouclage est possible. NEXUS sera heureux de publier les témoignages de lecteurs qui auront réussi à relever ce formidable défi... ●

NOTES

1. Fiche biographique du Dr Jones sur le site de la Brigham Young University : <http://www.physics.byu.edu/research/energy/>
2. Si c'est le cas, alors selon toute vraisemblance, c'est le transformateur qui capte cette énergie.
3. Ce circuit est une variante de l'oscillateur Hartley qui contient un seul condensateur et une bobine comportant trois bornes en tout : http://fr.wikipedia.org/wiki/Oscillateur_Hartley
4. Une liaison par transformateur vers un pont de diodes rapides à faible tension de seuil suivi d'un condensateur connecté à l'entrée pourrait peut-être convenir. À essayer...

Le 2-temps :

Dix ans déjà que les moteurs 2 temps modernes, propres et économiques, font l'objet de tests probants, de mesures concrètes et sont plébiscités par les ingénieurs passionnés. Alors, pourquoi restent-ils au stade de prototype ? Aperçu d'un formidable gâchis.



Croquis originaux de l'injection semi-directe de la main même d'Éric Jaulmes, le directeur du bureau d'études Motobécane (aimablement fournis par le grand historien de la marque Motobécane, Patrick Barrabès). Notez que cette injection fit l'objet d'un brevet le 19 octobre 1971 et de la réalisation de 4 prototypes 350 cm³ dont les deux ultimes avec un calculateur électronique, une magnifique première mondiale : on n'a pas fait beaucoup mieux depuis sur le principe !

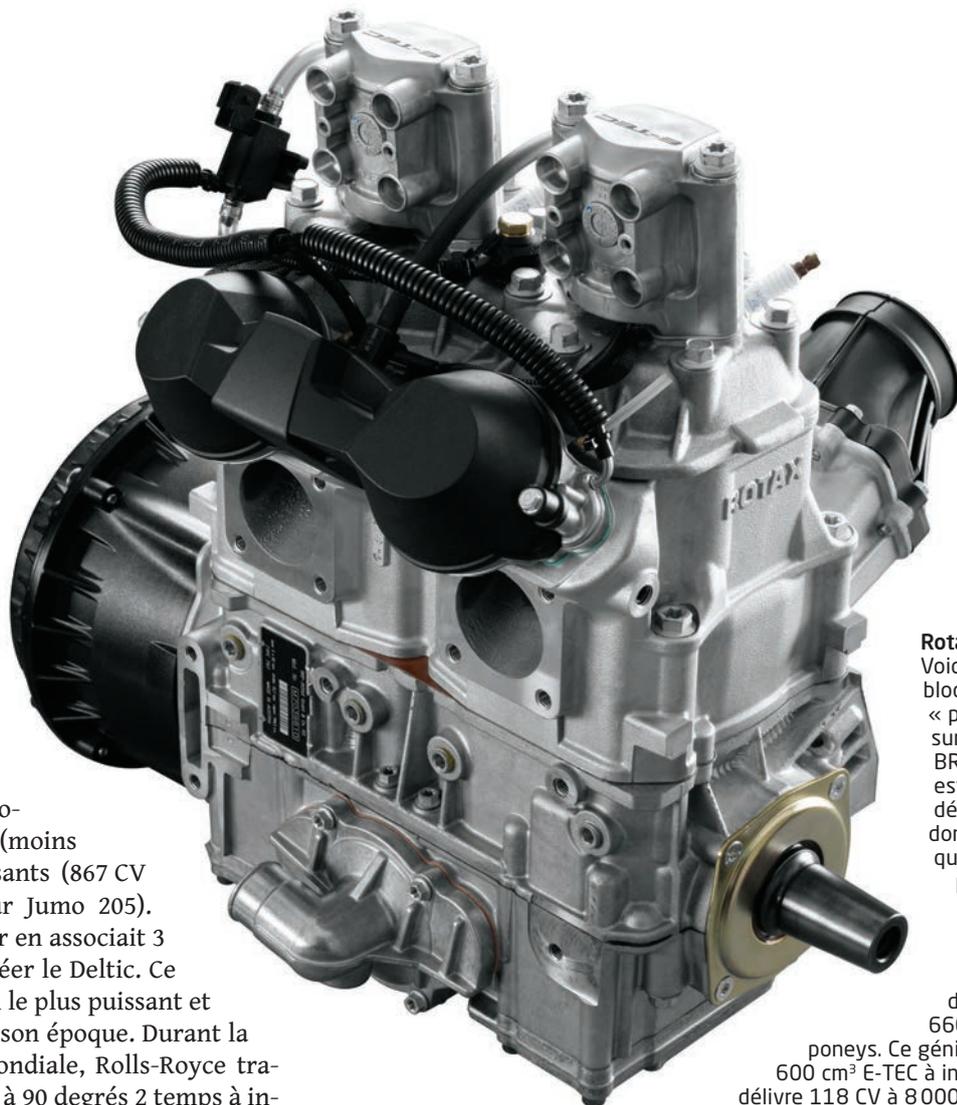
Encore une fois dans les colonnes de NEXUS, vous allez découvrir des faits étonnants connus des bons ingénieurs motoristes, et de leurs homologues militaires bien sûr, mais superbement ignorés par la presse grand public... Bien sûr, comme chez Peugeot Scooters pour le TSDI, ces différentes techniques d'injection directe pourtant validées sur tous les prototypes des ingénieurs devront séduire les tout-puissants services marketing des constructeurs. Ces derniers restant soucieux de rentabiliser leurs investissements 4-temps des années 90, sinon gare aux actionnaires... ! Les 2-temps sont donc hors plan marketing dans beaucoup de secteurs pour de triviales raisons économiques. Autres soucis récurrents, ces produits « différents » dérangent les habitudes dans les bureaux d'études (un comble !), les usines de fabrication, les réseaux de SAV, et nécessitent des formations supplémentaires entraînant fatalement un surcoût. Commençons donc par du concret avec un (mini) panorama non exhaustif des lauréats des moteurs 2 temps modernes...

Une spécialité allemande

Dans le domaine aéronautique où l'efficacité et la fiabilité priment encore sur la mode, les moteurs 2 temps ont connu leurs heures de gloire.

À tout seigneur, tout honneur, l'Allemagne reste la patrie des dieux de l'ingénierie. Dès 1932, la célèbre société

un moteur vraiment alternatif!



allemande Junkers fabriquait la série Jumo 204. Ces moteurs 2 temps diesel suralimentés à 2 x 6 cylindres opposés étaient légers (moins de 600 kg) et puissants (867 CV à 2800 tr/min pour Jumo 205). Sous licence, Napier en associait 3 en triangle pour créer le Deltic. Ce fut le moteur diesel le plus puissant et le plus compact de son époque. Durant la Seconde Guerre mondiale, Rolls-Royce travaillait sur son V12 à 90 degrés 2 temps à injection directe d'essence suralimenté (2500 à... 5000 CV!) pour succéder, en version détarée, au pourtant fameux 4-temps Merlin sur le Spitfire (en version détarée!) avant de basculer sur les réacteurs allemands pillés en 1945, comme le fit notre SNECMA...

Moteurs au kérosène

Plus près de nous, citons la célèbre société allemande Hirth, qui commercialise depuis quelques années des moteurs 2 temps à injection directe. Comme chez Evinrude pour ses blocs E-TEC, elle explique clairement son choix sur son site Web à travers un argumentaire intitulé « *The logic of a two stroke* » que je vous recommande! Ainsi, sa gamme de 2-temps déjà en injection indirecte s'est enrichie d'une famille de moteurs modulaires légers, compacts et alimentés... au kérosène ou au carburacteur semblable au

Pourquoi donc ces moteurs légers, économiques et fiables seraient-ils privés d'applications civiles ?

Rotax 800 E-TEC : Voici le plus récent bloc Rotax 2 temps « propre » monté sur les motoneiges BRP Ski-Doo. Il est étroitement dérivé du 600, dont on rappelle qu'il consomme presque deux fois moins de carburant que les concurrents 600 4 temps dont l'Arctic cat 660 cm³ EFI de 45 poney. Ce génial twin 2 temps 600 cm³ E-TEC à injection directe délivre 118 CV à 8000 tr/min seulement. Notez enfin que cette version 800 cm³ délivre au banc 161,7 CV à moins de 8100 tr/min et 14,5 m.kg à 7950 tr/min à peine avec toutes les autres qualités de son cadet !

diesel. Tous ces moteurs à plus de 2 ch/kg utilisent une licence Orbital et vont remplacer les moteurs actuels des drones militaires américains... Pourquoi donc ces moteurs légers, économiques et fiables seraient-ils privés d'applications civiles ?

Pied marin

Retour sur Terre ou plutôt sur mer, avec des moteurs 2 temps utilisés en marine. Outre certains moteurs Selva LPDFI, Nissan ou Tohatsu TLDI, Yamaha HPDI, le gros de la flotte est constitué par les Mariner ou Mercury Optimax

► Pierre Duret: « Le contexte est défavorable au 2-temps »



Pierre Duret est directeur du centre moteurs à l'IFP School (école de l'IFP énergies nouvelles, ex-ENSPM), expert pour les pouvoirs publics et la Commission européenne, concepteur des moteurs 2 temps IAPAC employés sur les moteurs hors-bord Selva et de sa variante économique SCIP.

« Outre la crise économique, nous avons un contexte global défavorable aux moteurs 2 temps sous la pression de certains constructeurs. Le moteur 4 temps se développe avec une image de moteur propre pour l'environnement, mais le moteur 2 temps à injection directe pollue pourtant moins que le 4-temps (en CO et NOx), il consomme moins, il est nettement plus performant en couple à iso-puissance et, dans le cas des applications marines, il utilise un lubrifiant biodégradable. Bien sûr, le plus gros du marché des moteurs reste celui de l'automobile (100 % 4-temps) où la réduction de la cylindrée (downsizing) se poursuit avec des tris et même des bicylindres (Fiat). Or, plus les moteurs sont petits et plus les avantages naturels en pertes (frottement et pompage en faible charge), en régularité cyclique et en

vibrations du cycle deux temps s'affirment. À long terme, les derniers moteurs thermiques seront sans doute de petits prolongateurs d'autonomie de quelques kW de véhicules électriques, donc pourquoi pas des petits moteurs 2 temps? Pour les autres marchés, comme le deux-roues, la limitation historique de la cylindrée en Europe à 50 cm³ sans permis reste favorable aux moteurs 2 temps nettement plus performants. Malheureusement, ce n'est pas le cas en Asie ou en Chine où le législateur limite seulement les performances dans deux pays qui représentent plus de 95 % du marché mondial ! On peut penser que les constructeurs japonais, voulant conserver ces constructeurs sous leurs « chères » licences, ont fait pression pour imposer l'achat de nouvelles licences sur d'antiques moteurs 4 temps à carburateur et bientôt à injection. Ces derniers seront devenus plus (!) chers à produire que les 2-temps à injection directe mais toujours moins performants et moins économiques en carburant ! Cela dit, avec le durcissement constant des normes, tous les moteurs devront réduire les émissions polluantes avec un surcoût malvenu, surtout en période de crise. Il est vraiment très regrettable de voir certains pays ou villes interdire les 2-temps au lieu de proposer une nouvelle réglementation à respecter (pollution, bruit, CO₂, etc.) et laisser les motoristes choisir la solution optimale pour y arriver ! Quel est l'avantage sociétal et environnemental d'une telle pratique ? »

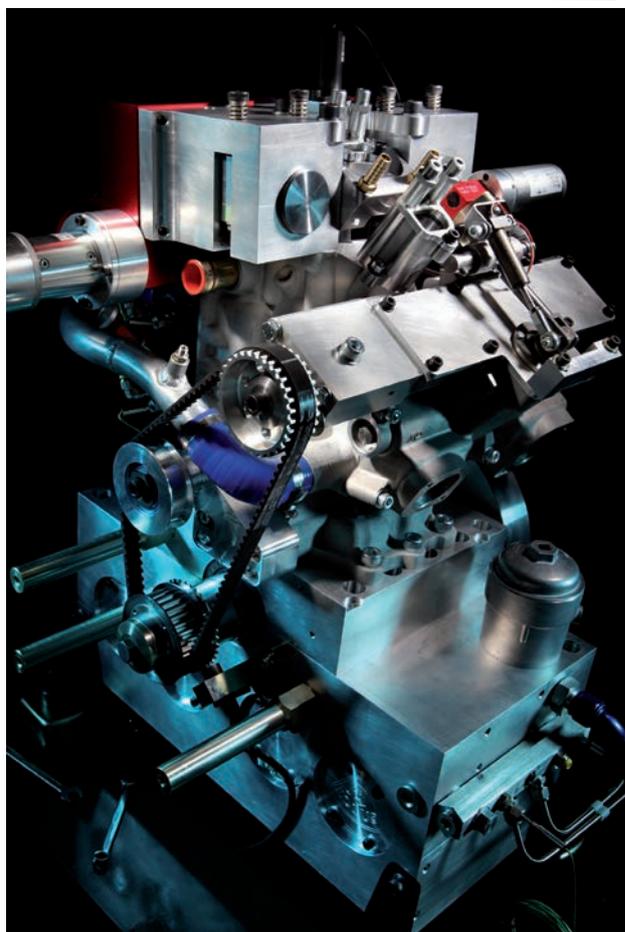
et les Evinrude E-TEC jusqu'à 300 CV. Les premiers utilisent l'injection directe Orbital, tandis que les seconds ont adopté un principe différent pour des résultats similaires et toujours excellents !

À l'autre extrémité des micromoteurs 2 temps de modélisme, il existe d'immenses moteurs « cathédrales » 2 temps à injection directe qui restent les plus puissants moteurs à pistons au monde. Citons le Wartsila-Sulzer RTA96-C cubant 25 480 litres qui développe 108 920 CV, 7,6 millions de newton-mètres de couple à 102 tr/min avec un rendement supérieur à 50 % : qui dit mieux ? Personne !

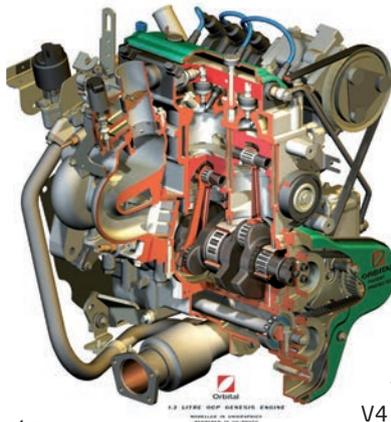
2-temps d'avenir !

Dans les secrets des bureaux d'études, et pas seulement du monde des deux-roues, de nombreux prototypes à succès ont vu le jour ces quinze dernières années. Il serait trop long ici de les énumérer tous, mais sachez qu'Aprilia a fait réaliser deux RS250 Ditech par Orbital Engine en plus de son fameux scooter SR 50, en série dès 1999. Cette année-là, les décideurs ont frileusement repoussé un génial prototype de scooter Gilera Runner

OmnivoreEngine1 : Chez Lotus aussi, on expérimente un mono 2 temps dérivé du fameux projet ELEVATE dirigé par l'IFP (un V4 2-temps de 120 kW stoppé par manque de crédits !) pour ses qualités supérieures aux 4-temps ! Grâce à sa compression variable et son injection directe Orbital FlexDI, il peut utiliser au mieux différents agrocarburants tels que l'éthanol. Enfin un moteur très flexfuel qui ne surconsomme plus !



d'à peine 115 kg mû par un bloc 2 temps de 175,8 cm³ 2 temps à injection directe Ditech. Pourtant, il passait avec succès les normes de pollution tout en délivrant 21,6 chevaux à 8 000 tr/min et presque 2 m.kg à 7 000 tr/min avec une consommation de 2,85 l aux 100 km (cycle ECE40).



I3Orbital: Pour avoir essayé en novembre 2000, la Ford Festiva équipée de ce fabuleux 1 200 cm³, 3 cylindres 2 temps de 85 kg, je peux vous dire que ce n'était que du bonheur! Souple, élastique et mélodieux comme un six en ligne BMW, il a effectué avec succès ses tests d'endurance en clientèle voici presque 10 ans, mais... il est resté au placard comme ses homologues de chez GM (Ultralite), Toyota, Chrysler, Mazda, Honda, Toyota, Subaru et bien sûr... Citroën avec son V4 P1 à balayage externe validé sur une DS !

Scoop!

Encore un dernier scoop sur les prototypes: des ingénieurs de Honda dirigés par M. Ishibashi ont validé un monocylindre 250 cm³ 2 temps à injection directe PDI et auto-allumage ARC moins polluant, moins lourd et moins encombrant que le bloc 400 cm³ 4 temps de « référence ». De plus, ce moteur révolutionnaire consomme 23 % de moins (cycle ECE 40) et, dans une autre déclinaison, il développe plus de 61 chevaux à 11 000 tr/min ! Le projet fut pourtant enterré et l'équipe dispersée en interne...

Et dans la rue ? En Europe, vraiment pas grand-chose excepté quelques rarissimes scooters 50 cm³ des marques Peugeot, Piaggio, Aprilia, Suzuki, ou Gilera, et à Taiwan il existe un Kymco X-Mode 100 cm³ KDI à injection directe Synerject/Orbital. Celui-ci fut élu n° 1 des meilleurs scooters écologiques sur 85 concurrents tant en pollution qu'en consommation avec moins de 2 l aux 100 km sur le cycle commun imposé! Sachez aussi que l'ADEME a procédé à des mesures de consommation publiées en 2005: sur le cycle normalisé européen R47, les scooters 2 temps injection directe consomment 35 % de moins que les 4-temps!

Actuellement, après l'extraordinaire TSDI, Peugeot revient enfin à l'injection, mais indirecte cette fois, dénommée H2I (double injection essence et huile par Scion Sprays). Le Lion annonce un gain de puissance de 35 % (à 6 CV) comparé à un 4-temps, de plus faibles consommations d'huile précisément injectée (-30 %) et de carburant (2,7 l/100 km soit -25 %) et la conformité aux normes Euro 3 de 2013.



► Un groupe électrogène hybride

Voici un projet français de prolongateur d'autonomie idéal pour véhicules électriques mené par un ingénieur Supélec expérimenté, Pascal Morand. « *Nous souhaitons mettre au point, explique-t-il, un groupe électrogène dépollué et silencieux fonctionnant à l'éthanol et aux gaz disponibles (GN, méthane, hydrogène, voire GPL), qui a ceci "d'hybride" qu'il permet de s'interfacer avec toute plateforme d'alimentation électrique comportant des batteries (véhicules routiers, maritimes, navals, remorques; systèmes fixes).* »

Ce groupe électrogène a été baptisé APU (comme Auxiliary Power Unit) et le projet, Hybrid-APU. Le moteur 2T autour duquel l'APU sera bâti sera mis au point pour une fabrication en petite série en utilisant au mieux tous les composants

existants sur le marché afin de le rendre commercialisable à court terme; les différents programmes de recherches donnant accès à des versions de plus en plus « *efficaces, à la fois énergétiquement et écologiquement* », mais de manière régulière à une périodicité de l'ordre de l'année.

Le montage de ce projet a débuté il y a neuf mois.

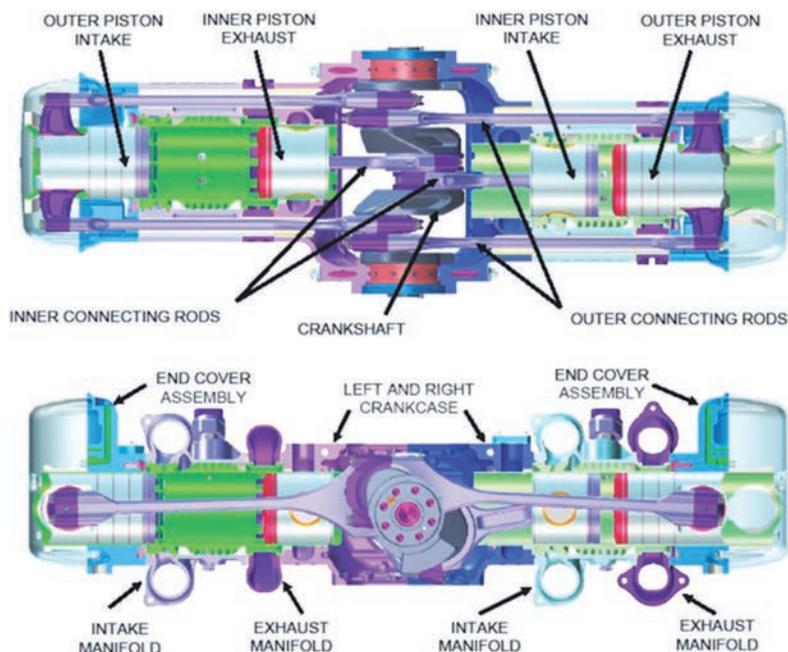
- Les partenaires (personnes physiques, TPE, PME, grands groupes) qui ont tous signé ce NDA avec moi se regrouperont en septembre 2011, pour transformer ce projet Hybrid-APU en la société APULIE.

- Le capital restera ouvert à quelques partenaires, notamment pour des « *applications cibles* » jusqu'à fin décembre 2011. Bienvenue à ceux de nos lecteurs qui souhaiteraient s'associer à notre projet.

Source : www.apulie-motors.com (site en construction)
mail : creatidees@wanadoo.fr

OPOC 2 : Comme les moteurs 2 temps Orbital, les OPOC EM65 et EM100 sont modulaires par paire de cylindres contenant donc au total 4 pistons chacun. Notez que ces modules jumeaux sont liés ou non par des embrayages selon la demande de puissance. Enfin, un turbocompresseur à assistance électrique permet le démarrage, la baisse des consommations et même la production d'électricité!

Du coup, Bill Gates a investi plusieurs millions de dollars qui vont sans doute accélérer la fiabilisation du prototype qui tourne déjà au banc depuis plus de 500 heures... avec des résultats étonnants : alésage 100 mm, poids à sec 150 kg, dimensions très réduites, puissance 325 ch à 3 500 tr/min, couple 91,8 m.kg à 2 100 tr/min!



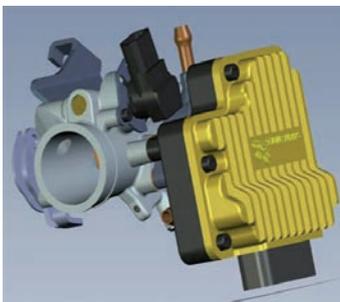
Marchés de niche

Pour finir, il faut bien comprendre que la technologie civile dominante est rarement la meilleure, mais toujours celle qui génère le plus de profits pour certains et à court terme.

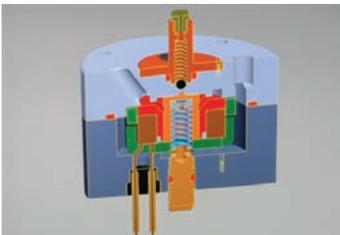
Leurs lobbyistes, au total plus de 900 rien qu'à Bruxelles d'où viennent plus de 85 % de « nos » lois, sont assez puissants et malicieux pour bloquer des technologies

concurrentes potentiellement meilleures via des directives techniques sur mesure que les députés s'empressent de signer sans en comprendre la portée exacte. D'autre part, pour les pouvoirs publics français, ces 2-temps restent trop performants dans un contexte de sécurité routière exacerbée. De ce fait, et au mieux, les moteurs 2 temps sont de plus en plus cantonnés à des marchés de niche. Pourtant, les lois de la physique seront toujours plus fortes que celles du marketing en place! Tous les départements de R & D mondiaux sont arrivés à la même conclusion: tout ce que vous avez lu sur les 2-temps est totalement faux lorsque vous adoptez l'injection directe! Le monde entier attend des innovations de rupture, plus que ces sempiternels effets de style purement marketing! Et n'oubliez jamais ce que disait le plus clairvoyant d'entre nous, notre éternel Coluche (si mystérieusement « disparu »???) : « *Ce n'est pas parce qu'ils sont nombreux à avoir tort, qu'ils ont raison!* » ●

Marc Alias



Double injection H2I : Incomparablement meilleur que le carburateur qu'il remplace, le QFI de Scion Spray utilise divers capteurs, mais son injecteur PCI (Pulse Count Injection) intègre la mise en pression et la maîtrise du débit de carburant par de multiples mini-injections à haute fréquence (jusqu'à 1 kHz). De plus l'allumage, les phases de ralenti et les mises en action à froid ou à chaud sont gérées par un unique calculateur (en jaune) lié au boîtier papillon! Si on n'évitera donc pas la perte de gaz carburés par l'échappement et sa pollution induite, cet ensemble va optimiser l'agrément de conduite. De plus, son papillon de gaz motorisé permet, enfin, un bridage non surpolluant. Ceci permet aux nouveaux 50 cm³ Peugeot H2i 2 temps de répondre à la norme Euro3...



Pour en savoir plus

- http://www.motoservices.com/technique_moto/moteur_2_temps.htm
- <http://www.evinrude.com/fr-CA/>
- http://www.youtube.com/watch?v=DxUsgH6bKic&feature=player_embedded
- <http://www.motoservices.com/actualite-moto/spip.php?breve22098>
- <http://www.kymco.com.tw/tw/event/xmode/kdi.htm>
- <http://www.hirth-uavengines.de/>
- <http://www.pivotalengine.com/>
- http://www.grouplotus.com/mediacentre_pressreleases/view/433

À propos de l'auteur

De formation scientifique (ingénieur INSA Génie Mécanique), **Marc Alias** est aussi pilote d'avions, de motos et collectionneur de Panhard grâce à son père. Il a d'abord collaboré trois ans au département Expérimentation Véhicules du Centre technique PSA à Vélizy avant de devenir professeur de maintenance automobile des STI systèmes motorisés dans deux lycées bien distincts où il était toujours le seul à traiter le cycle 2 temps, pourtant au programme officiel! Il est devenu ensuite rédacteur en chef de *Moto-technologie* où il a reçu le pseudo de presse « Mark Twostroke » et il poursuit cette carrière comme journaliste scientifique et ingénieur consultant freelance...

Les neutrinos supraluminiques

C'est une révolution en physique dont tous les médias ont parlé: la sacro-sainte ultime limite de la vitesse de la lumière dans le vide aurait été franchie par des particules élémentaires appelées neutrinos.

Une équipe de physiciens de l'Institut de physique nucléaire de Lyon menée par Dario Autiero est à l'origine de cette découverte historique. Depuis 2009 en effet, dans le cadre de l'expérience appelée OPERA (Oscillation Project with Emulsion Racking Apparatus), les chercheurs lyonnais ont émis des neutrinos (créés par des collisions de protons sur une cible solide) grâce à l'accélérateur de particules du Cern à Genève, en direction d'un détecteur de particules enterré dans un laboratoire sous le Gran Sasso, dans les Apennins, au centre de l'Italie.

60 nanosecondes d'avance. En voyageant à la vitesse de la lumière, les neutrinos auraient dû, entre ces



Le physicien Dario Autiero.

deux lieux, parcourir la distance de 730 km en 2,5 millièmes de seconde. Or une avance de 60 nanosecondes (60 milliardièmes de seconde) a été observée par rapport à cette durée théorique. Si ce résultat est confirmé (malgré les multiples vérifications

qui ont déjà été effectuées, les chercheurs lyonnais restent extrêmement prudents), Dario Autiero pense qu'il va bouleverser la notion d'espace-temps imaginée par Einstein au début du XX^e siècle.

Dimensions parallèles. D'autres chercheurs estiment au contraire qu'il n'en est rien et considèrent cette découverte comme une confirmation de l'hypothèse des dimensions parallèles, décrites dans la théorie des cordes. Dans les deux cas, ce sont des bouleversements fondamentaux qui se préparent en physique et dont on imagine mal toutes les retombées. Car si des neutrinos peuvent se déplacer plus vite que la lumière, pourquoi pas des êtres vivants? Cela réduirait singulièrement les distances entre les différentes planètes de l'Univers. Et cela pourrait nous rapprocher de nouvelles technologies plus rapidement que prévu... ●

Jérôme Dangmann

Une bactérie contre la radioactivité

On connaissait déjà la bactérie mangeuse de pétrole utilisée avec succès à échelle réduite, en 1989, dans la catastrophe de l'*Exxon Valdez*, voici la bactérie nettoyeuse de déchets nucléaires. Providentielle, *Geobacter* pourrait également générer de l'électricité!

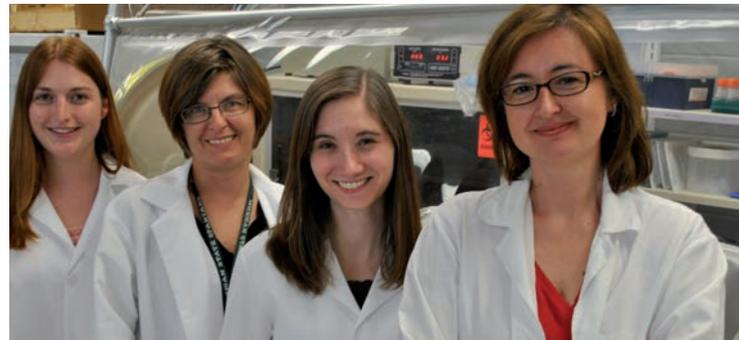
C'est en tout cas ce qu'affirme Gemma Reguera, chercheuse dans le département AgBioResearch de l'université d'État du Michigan (MSU).

En fait, les capacités d'immobilisation de l'uranium par *Geobacter* étaient déjà connues depuis un moment, mais les chercheuses viennent de découvrir que ce sont les propriétés conductrices des pili (appendices cellulaires) en forme de nanotubes qui assurent la plus importante tâche.

Éviter la dispersion. Gemma Riguera indique: «*La contamination par l'uranium peut se produire à toutes les étapes de la production du combustible nucléaire et ce procédé évite en toute sécurité sa dispersion et les risques d'exposition.*» Elle précise également

«*Nos découvertes identifient clairement les nanotubes comme le catalyseur principal de la réduction de l'uranium. Ceux-ci effectuent essentiellement une sorte de travail naturel de galvanoplastie avec l'uranium en immobilisant effectivement la matière radioactive et en lui évitant de se diffuser dans le sol.*»

Nanotubes. Découvrant que *Geobacter* était friande d'acétate, les chercheuses ont utilisé cette propriété pour stimuler la croissance des populations de bactéries. Ce sont les nanotubes de la bactérie qui lui permettent de survivre dans des environnements riches en radiations toxiques. Gemma Riguera et son équipe sont encore allées plus loin en modifiant les gènes de *Geobacter* pour en améliorer la production de nanotubes et ainsi augmenter



Gemma Reguera et son équipe.

sa capacité à immobiliser l'uranium. La façon dont cette bactérie pourrait aussi produire de l'électricité, et à quelle puissance, n'est pas explicitée. Cependant, même si cette *Geobacter* se contentait de becqueter les becquerels que nos amis Japonais, et la majeure partie de l'humanité d'une façon générale, s'en contenteraient. ●

Sources:

- <http://www.greenoptimistic.com/2011/09/12/geobacter-clean-nuclear-waste-electricity/>
- <http://news.msu.edu/story/9741/>
- AgBioResearch: <http://news.msu.edu/story/8798/>

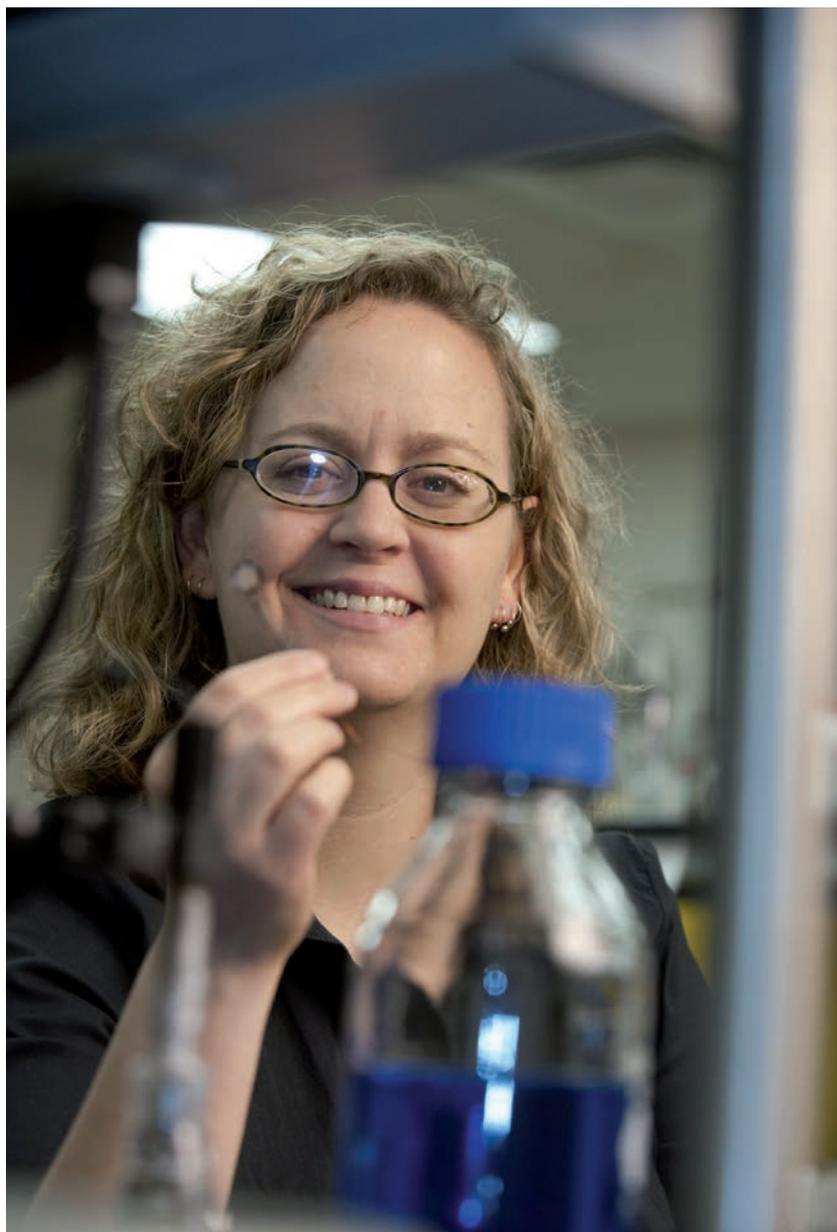
Une batterie rechargeable en cinq minutes!

Une batterie plus légère, plus petite, plus rapide à se recharger, plus durable, plus économique à fabriquer et plus soucieuse de l'environnement que les modèles actuels les plus performants... Voici Prieto, créée par Prieto Battery, Inc. team, entreprise présidée par la chimiste Amy Prieto. Objectif: « *Commercialiser une batterie à faible coût utilisant des matériaux non toxiques et qui délivre, sans altérer ses capacités énergétiques, 1000 fois plus de densité de puissance que toute autre technologie connue.* »

Le procédé utilise des nanotubes en alliage antimoine-cuivre et un électrolyte composé de polymères ultra-fins afin d'augmenter la surface de l'anode. C'est ainsi que 25 millions de ces nanotubes peuvent se concentrer sur la surface d'un penny (le diamètre d'un US penny est d'environ 19 mm; cela correspond à peu près à une pièce de 20 centimes d'euro). La cathode entoure les nanotubes qui sont imprégnés de cet électrolyte. Cette disposition permettrait aux ions de circuler plus efficacement entre la cathode et l'anode, ce qui augmenterait les performances de la batterie.

Autres avantages: un cycle quasiment illimité de recharges avec une durée de charge qui ne serait que de 5 minutes, c'est-à-dire le temps de faire un plein! Et cela même pour les plus puissantes. Que demande le peuple?

Imaginez donc! Une bicyclette électrique qui peut parcourir des centaines de kilomètres. Une voiture du même type qui vous mène de Brest à Bayonne avec une seule charge. Un bateau rapide qui n'engloutit pas l'équivalent d'un plein d'automobile moyenne en deux ou trois heures. Un téléphone cellulaire qui ne se charge que tous les mois (zut, une excuse en moins). Votre perceuse qui vous permet de finir votre travail de la journée sans avoir besoin de vous trimballer un pack de batteries. Votre ordinateur portable qui vous autorise à bos-



La chimiste Amy Prieto a donné son nom à sa batterie révolutionnaire.

ser ou à visionner des DVD) pendant de longues heures dans le train, etc., etc.

Pour quand? Cependant, l'entreprise est loin d'être encore au stade de la fabrication, mais plutôt à celui des premiers prototypes. Si elle atteint ses buts, compte tenu du sidérant marché mondial potentiel de telles batteries, sa fortune est assurée.

La question est donc: cela va-t-il sortir sur le marché dans des délais raisonnables? Ce n'est pas - à l'instar de Steorn (lire page suivante) - déclaré « surunitaire » (coefficient de per-

formance supérieur à l'unité), cela ne contredit pas la « science établie » (actuelle) qui ne devrait donc pas ignorer le procédé, tenter de l'étouffer ou le ridiculiser comme ce fut le cas pour la fusion froide, par exemple. Par contre, certains énormes intérêts financiers ne risquent-ils pas de tirer le nez voire de semer quelques embûches? ●

Sources :
 - <http://www.prietobattery.com/ev.htm>
 - http://pesn.com/2011/08/24/9501902_Prieto_Battery_Offers_1000x_Power_Densit/

Steorn : la saga continue !

« Chez Steorn, nous avons développé une technologie qui produit une énergie gratuite propre et inépuisable. » C'est par cette annonce décomplexée parue dans le célèbre magazine *The Economist* en 2006 que Steorn a commencé à faire parler d'elle. Depuis, NEXUS revient régulièrement sur l'actualité de cette PME irlandaise basée à Dublin, dont les innovations tiennent en haleine la communauté des chercheurs de l'énergie dite « libre ». Pour ceux qui auraient manqué le début, rappelons que Steorn a exploré trois pistes :

- **Le M-ORBO** est un moteur fonctionnant uniquement à aimants permanents. Cette piste est à présent abandonnée. L'appareil serait délicat à construire et difficile à mettre au point. Il n'a pas été dévoilé au public. En effet, une démonstration qui devait avoir lieu le 4 juillet 2007 au musée Kinetica de Londres a été annulée au dernier moment, provoquant un véritable tollé.
- **Le E-ORBO**, par contre, a fait l'objet de plusieurs jours de démonstration à partir de décembre 2009 au centre Waterways de Dublin. Ici aussi, une grande partie du public a été déçue. En effet, l'appareil, sorte de moteur à courant pulsé, était présenté comme surunitaire (plus de 300 %), mais fonctionnait avec une petite batterie de type D ! De plus, les explications données étaient très techniques et s'appuyaient sur des traces d'un oscilloscope extrêmement sophistiqué. Cependant, Steorn autorisait toute personne à apporter, sur rendez-vous, ses propres appareils de mesure et à tester elle-même le dispositif sous la direction d'un de ses ingé-



Moteur Steorn reproduit par Jean-Louis Naudin.

nieurs. De plus, cette petite batterie se rechargeait et le moteur se gaussait de la loi de Lenz (lire encadré). Le chercheur et expérimentateur français Jean-Louis Naudin a répliqué cet appareil et a observé le phénomène : chargé ou pas avec une lampe à LED de puissance, le courant mesuré à travers les bobines toroïdales statoriques était le même. La piste du E-ORBO a été également abandonnée.

- **L'ORBO sans pièces en mouvement** (solid state) a ensuite mobilisé l'équipe de Steorn. La firme avait mis en vente des kits (environ 350 livres sterling) pour permettre à chacun de tester le phénomène. Cela nécessitait l'accès à un oscillo de course. Leur site Web ne parle plus de ces kits... Sean McCarthy a démissionné de ses fonctions de directeur de l'entreprise.

Documents explosifs. Cela semble sentir la fin... Les sceptiques jubilent. Mais la saga Steorn continue ! La firme irlandaise joue-t-elle là ses dernières cartouches ? En effet, on peut lire dans le site de Sterling D. Allan, bien connu dans le milieu de l'énergie libre : « *Steorn lâche quatre documents explosifs pour valider ses ORBO.* » Ces documents « *apportent une confirmation de leur technologie magnétique surunitaire baptisée ORBO. Les trois premiers documents concernent les tests effectués sur des systèmes à aimants permanents et le document final traite du test d'un ORBO sans pièces en mouvement. Ces documents semblent valider la technologie Steorn et prouver que la technologie ORBO fonctionne selon les revendications de Steorn.* »

Le premier document est le plus ancien (2006). Son auteur serait un scientifique très crédible, titulaire de nombreuses qualifications. Seul le contenu du dernier document est rendu public. Dans ce test calorimétrique d'un ORBO « solid state », l'auteur, un ingénieur, a notamment répondu « oui » à la question : « *Les résultats des tests donnent-ils un clair et explicite support de la revendication ?* »

Est-ce à dire qu'ils sortiront prochainement un appareil ? L'avenir nous le dira. Les inventions « classiques » genre voiture à moteur à air comprimé se font attendre et ne violent pourtant aucune loi de la physique. Les lois du marché, peut-être ? ●

Sources :

- site de Sterling D. Allan : <http://pureenergysystems.com>
- http://pesn.com/2011/09/14/9501914_Steorn_Drops_Four_Bombshell_Documents_Validating_Orbo/
- quatrième document Steorn : <http://www.steorn.com/orbo/papers/jm-rice-report-28april-2008.pdf>
- La reproduction du moteur Orbo de Steorn par J.-L. Naudin : <http://jnaudin.free.fr/steorn/index.htm>
- <http://jnaudin.free.fr/steorn/html/orboeffect.htm>

► Loi de Faraday-Lenz

L'une des lois fondamentales de l'électromagnétisme est la loi de Faraday. Elle stipule essentiellement que la force électromotrice générée est proportionnelle à la vitesse de la variation du flux magnétique. La loi de Lenz, qui découle de celle de Faraday, annonce qu'un courant induit l'est toujours dans une direction telle qu'elle s'oppose au mouvement ou à la variation qui en est la cause. Cette loi lie l'électromagnétisme à la troisième loi de Newton qui déclare qu'à chaque action, il y a une réaction opposée en sens contraire. Les implications de ces lois sur les moteurs électrique font qu'elles en affectent négativement l'efficacité. Prenez une dynamo de vélo ancien modèle. Tournez sa molette à la main. Certes cela produit du courant. C'est sa fonction. Mais cela résiste aussi énormément. Vous avez une concrète perception de la loi de Lenz. En fait, tout générateur est aussi un moteur et inversement. Voilà pourquoi cela ne saurait être « surunitaire ».