

Elle cuit, elle refroidit,  
Elle fournit de  
l'électricité...  
Qui est cette fée  
du logis ? Score, une  
cuisinière nouvelle  
génération issue  
d'une technologie  
thermoacoustique  
et destinée,  
à l'origine, aux  
populations  
défavorisées.



# Score

**P**armi les 3 milliards d'humains qui vivent avec moins de deux dollars par jour, près de deux milliards cuisinent dans leur pièce principale, au sol entre trois pierres, le toit de leur maison en guise de cheminée. Si l'on fait abstraction du côté pittoresque de ce foyer inefficace qui accélère la déforestation de leur environnement proche, l'OMS estime que les fumées inhalées par les occupants provoquent plus de 1,5 million de décès annuels par bronchite, pneumonie ou cancer du poumon, principalement des femmes, soit autant que le HIV chaque année dans le monde, mais en revanche, avec peu de risque de retour contagieux pour les pays riches. Le projet SCORE entend concevoir des solutions techniques pour mettre un terme à cette situation sanitaire d'un autre âge, mais pas seulement.

### Défier la pauvreté

À l'origine de ce projet initié en 2007 avec un budget de 2 millions de livres sterling (2,3 millions d'euros), se trouvent quatre universités britanniques, l'organisation caritative fondée en 1966 Practical Action, dont le mot d'ordre est « *La technologie pour défier la pauvreté* », et des partenaires tels que le laboratoire public américain de recherche en physique de Los Alamos, ou encore des entre-

prises en Inde, aux Pays-Bas, au Tadjikistan ou en Afrique du Sud. Sous ce nom « Score », à la sonorité internationale et percutante, se cache en fait l'acronyme de « Stove for Cooking, Refrigeration, and Electricity », fourneau pour la cuisine, la réfrigération et l'électricité. Son objectif ambitieux est non seulement de supprimer les fumées de l'air du foyer en proposant une cuisinière à foyer fermé dotée d'un rendement énergétique élevé, mais aussi de produire de l'électricité, et du froid, pour un prix initial projeté de 20 millions de livres sterling (23 millions d'euros), pour un million de pièces produites.

Cet objectif extrêmement ambitieux pourrait paraître au premier abord fantaisiste tant que l'on ignore qu'il repose sur une technologie très sophistiquée, bien que simple d'aspect, potentiellement peu coûteuse à dupliquer, ultra-fiable, encore inhabituelle sur terre, mais particulièrement appréciée dans l'espace : l'effet thermoacoustique.

Nous entendons souvent dire que la musique peut nous transporter, qu'un son nous électrise, nous réchauffe ou nous glace le sang, bref, qu'il change notre état. Une machine thermoacoustique transpose ce ressenti étrange et subjectif du vivant face aux sons en une réalité industrielle, mécanique, thermique et électrique basée sur des ondes sonores.



L'équipe du projet Score autour d'un prototype.

# La cuisine des ondes sonores

## Découvert par hasard

L'effet thermoacoustique fut découvert par hasard par des souffleurs de verre qui remarquèrent qu'un son apparaissait parfois spontanément lorsqu'ils chauffaient des pièces tubulaires. En 1859, le professeur de physique P. L. Rijke, de l'université de Linden, aux Pays-Bas, réalisa un des premiers démonstrateurs de l'effet thermoacoustique en insérant une pastille de grillage métallique en travers d'une section de tube creux pour mettre en évidence l'apparition d'un son lorsque de la chaleur était apportée à une extrémité. En 1896, John William Strutt Rayleigh, dans *La Théorie du son*, en expliquera les principes généraux, sans toutefois en comprendre tous les mécanismes: « Si la chaleur est donnée à l'air, au moment de la plus grande condensation, ou est prise de lui au moment de la plus grande raréfaction, la vibration est encouragée. »

Aussi surprenant que cela puisse paraître, ensuite, plus rien, et il faudra attendre soixante-dix ans pour mieux comprendre le moteur thermoacoustique avec le travail de

mesure et de modélisation de Rott en 1969, Garrett et Swift, en 1988.

Actuellement, la recherche en thermoacoustique est en pleine effervescence, et d'ici un à deux ans, des entreprises comme Aster (Pays-Bas) ou FRG (USA) annoncent de possibles premières applications industrielles et en habitat collectif de production d'électricité à partir de chaleur résiduelle, cogénérée ou solaire.

**Une machine thermoacoustique transpose le ressenti étrange et subjectif du vivant face aux sons en une réalité industrielle, mécanique, thermique et électrique...**

## Le principe thermoacoustique

Tout moteur est un système de conversion d'énergie. Dans le cas des moteurs à combustible, le fluide de travail est le plus souvent de l'air. Le gaz y subit des transformations dites thermodynamiques telles que des variations de pression, de volume, mais aussi des transferts de chaleur, des déplacements ; donc, il change d'état. Le cycle thermodynamique décrit l'ensemble des transformations de ce gaz jusqu'à son état final.

Une machine thermoacoustique est un moteur où l'onde acoustique créée est déployée

dans des cavités et des tubes pour reproduire les mêmes effets thermodynamiques que ceux produits par le cycle d'un moteur traditionnel. Le son effectue les compressions, les détentes, induit les variations de température, les échanges de chaleur, les déplacements du gaz et ainsi remplace le piston, la bielle, l'arbre à cames, les paliers, les roulements, les soupapes, l'échappement et l'admission. L'onde acoustique, tout comme le courant électrique, transporte de l'énergie sans transporter de matière, et le déplacement, l'oscillation macroscopique du milieu de propagation, s'effectue longitudinalement dans la même direction que la propagation de l'onde.

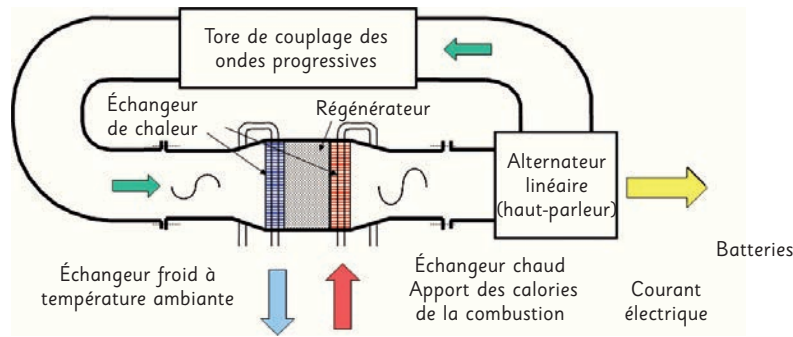


Schéma du prototype 2010 de la cuisinière thermoacoustique électrique Score.

par le laboratoire de Los Alamos pour diminuer le coût et augmenter le rendement est d'associer, l'un derrière l'autre, un moteur thermoacoustique à *stack* et deux régénérateurs, car ces derniers, lorsqu'ils sont mis en série, peuvent se contenter d'une

architecture interne plus simple.

Les échangeurs assurent les entrées et sorties du système, ce sont eux qui reçoivent et fournissent les énergies attendues par le cycle à réaliser. Ce sont en premier lieu des radiateurs, ou capteurs, pour le chaud et le froid. L'échangeur peut aussi être une membrane et des clapets ; dans ce cas la machine thermoacoustique devient une pompe très puissante. Pour la conversion en énergie électrique avec pièces en mouvement sont employées des génératrices linéaires à bobinage et aimant permanent, plus communément appelées haut-parleurs, ou des pastilles piézoélectriques telles qu'employées dans les buzzeurs d'alarme qui travailleront à des fréquences plus élevées et des puissances moindres.

### Le résonateur et les échangeurs

Une machine thermoacoustique utilise des ondes dites stationnaires ou progressives, et est constituée de deux ensembles : le résonateur et les échangeurs.

Le résonateur est d'une part l'amplificateur naturel de l'onde, tout comme l'est une caisse de violon pour ses cordes, et d'autre part le lieu où la pression et la température du gaz vont se modifier axialement, donc tout le long du trajet de l'onde. Ce résonateur est appelé « *stack* » pour les ondes stationnaires dont l'onde aller se superpose parfaitement à l'onde retour et dont la chambre close va induire un cycle de Brayton irréversible. Le *stack* est bon marché à construire, il ressemble à la matrice interne d'un pot catalytique, mais est 30 % moins efficace que son homologue dédié aux ondes dites progressives, dont l'onde aller est légèrement décalée par rapport à l'onde retour. Pour les ondes progressives, le résonateur sera alors nommé « régénérateur ». Sa chambre toroïdale est à double ouverture bouclée, et le cycle thermodynamique induit va tendre vers un cycle d'Ericsson, proche de celui de Stirling, donc réversible. Il est doté d'un très bon rendement, mais présente l'inconvénient d'être plus cher et plus complexe à construire.

Le *stack* et le régénérateur sont donc le lieu d'apparition de l'effet thermoacoustique qui, dans les deux cas, est obtenu par l'influence géométrique des parois sur la résonance et le comportement thermique du gaz. Le comportement thermique des parois internes du *stack* pour les ondes stationnaires est irrégulier, à l'inverse du comportement thermique du régénérateur pour les ondes progressives, qui sera parfaitement homogène.

### Ondes stationnaires, ondes progressives

Dans la pratique, les ondes stationnaires et progressives sont toutes deux présentes dans une machine thermoacoustique, ce qui ne facilite pas les choses. Une option proposée en 2002

### Un très bon frigo

En 2010, la machine thermoacoustique est déjà une réalité industrielle. Elle devient par exemple un très bon frigo lorsqu'elle est alimentée à partir d'une source chaude telle que la chaleur résiduelle d'une activité industrielle, la combustion d'un gaz, et bien sûr, le soleil. Le refroidissement des satellites ou des navettes spatiales ainsi que la liquéfaction et la séparation industrielle des gaz sont les principales applications actuelles du refroidissement thermoacoustique.

Pour revenir à Score, la première cuisinière à bois efficace, sans fumée, mais sans l'échangeur électrique et thermique, a été expérimentée *in situ*, sur la base d'une architecture comparable (voire meilleure) à celle de nos inserts à haut rendement, avec une heure de chauffe par kilo de biomasse combustible, mais réalisable par une fabrication locale, à bas coût. Dans la seconde version produisant de l'électricité, l'échangeur électrique associé au régénérateur est un moteur linéaire, donc un gros haut-parleur doté d'un rendement de 60 %, dont le prix de la pièce ne devrait pas dépasser 5 £ (6 euros) pour un million d'unités.

**Le budget initial de 20 £ (23 euros) de la cuisinière sera difficile à tenir et pourrait un peu dériver.**

### 23 euros la cuisinière!

La combustion de bois comme source chaude pose encore de sérieux problèmes pour la conception de l'échangeur de chaleur et du régénérateur. Le prototype actuel fournit 15 watts à partir de la combustion de gaz propane. À ce stade de recherche, la production de froid qui s'est révélée bien moins attendue que la production d'électricité, n'a pas encore été implémentée. Le budget initial de 20 £ (23 euros) de

la cuisinière sera difficile à tenir et pourrait un peu dériver.

Les prochaines étapes, actuellement en cours de test, sont l'augmentation de la puissance électrique nominale d'un facteur de 2 à 3, ainsi que le passage au bois.

Pour Paul Riley, le chef de projet Score, ces difficultés techniques ne sont pas les seuls obstacles qu'il reste à lever par son équipe. La phase opérationnelle de déploiement de la cuisinière actuellement en préparation relève maintenant du casse-tête frustrant façon *Catch 22*, car si, pour l'aspect recherche pure, les candidats étaient relativement nombreux, trop peu d'industriels semblent motivés par l'idée d'investir dans un projet destiné aux plus pauvres, donc fatalement à faible plus-value.

Si une telle situation perdurait, l'ensemble du projet pour-

**Trop peu d'industriels semblent motivés par l'idée d'investir dans un projet destiné aux plus pauvres, donc fatalement à faible plus-value.**

rait se voir condamné puisque les bailleurs de fonds sociaux suspendront leur participation, aides et financements en cas d'absence de partenaires industriels significatifs.

Malgré tout l'équipe de Score demeure résolument optimiste. En juillet 2010, faisant écho à l'enthousiasme suscité, elle a commencé une campagne de transfert de compétences d'une nouvelle version de leur poêle à bois thermoacoustique, mais cette fois-ci, à destination du marché domestique anglais. Le projet pour-

rait-il ainsi se généraliser pour répondre aussi aux attentes des pays industrialisés? Sans aucun doute, car le besoin de confort, de chaleur et d'électricité propre, fiable et autonome est commun à tous les hommes. ●

Contact : [www.score.uk.com](http://www.score.uk.com)

# Pseudo Direct Drive

## Une révolution dans les starting-blocks

**D**ans la course aux moteurs électriques à entraînement direct, une équipe anglaise a pris une longueur d'avance.

# 1543

, port de Barcelone, le capitaine et inventeur espagnol Blasco de Garay fait la démonstration à ses supérieurs de son bateau mû par la vapeur d'un chaudron et des roues à aubes.

Depuis, et jusqu'à nos jours, les transports motorisés, au sens le plus général du terme, du convoyeur d'une chaîne d'usine au vélo électrique, en passant par la voiture thermique, puis électrique, ont eu pour contrainte d'associer un moteur, le plus souvent à rotation rapide et variable, à un organe de sortie, comme la roue à aubes de Blasco, qui nécessite une plage de vitesses de rotation lente et précise.

Ce problème de désaccord des vitesses a donc subsisté avec le moteur à explosion, puis avec les moteurs électriques, qui tous deux, pour

