

DE L'IMPASSE ... A L'ESPOIR L'AVENIR ENERGETIQUE DE NOS PETITS ENFANTS

Ivan GILLET Université de Liège

MOTS-CLES : ENERGIE - SOURCES - FILIÈRES - SOLEIL - PILE À COMBUSTION

RÉSUMÉ : Sur la base d'expériences didactiques vécues depuis des années à propos de vulgarisation scientifique sur « l'énergie dans l'environnement », nous avons construit une structure de connaissances qui est résumée ici. Elle vise à réduire l'ignorance générale sur **l'impasse** énergétique dans laquelle nous sommes et sur **l'espoir** fondé de solutions radicales et durables.

ABSTRACT : On the basis of didactic experiences for years, in connection with popularizing scientific knowledge on energy in the environment, we have builded up an organized body of knowledge which is summarized here. It aims at reducing ignorance on the energetic **dead-lock** in which we are, and on the well based **hope** of developing radical and sustainable solutions.

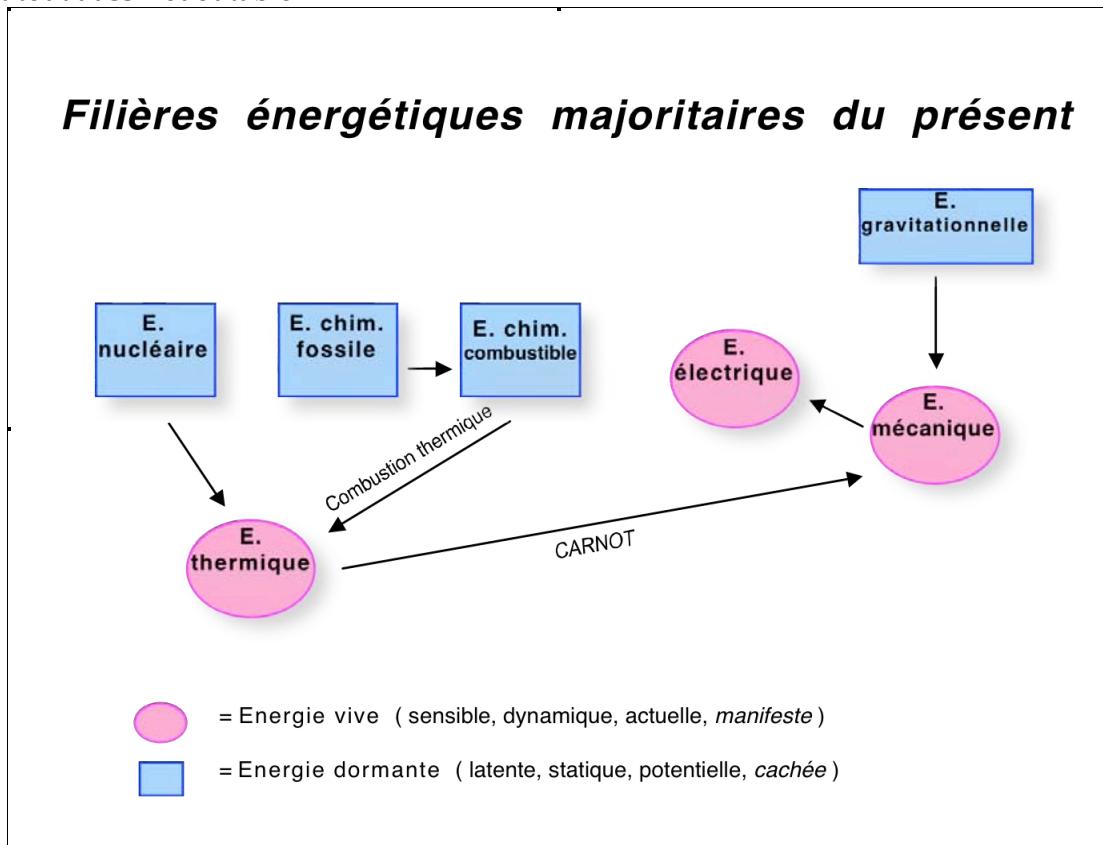
A. GIORDAN, J-L. MARTINAND et D. RAICHVARG, Actes JIES XXV, 2003.

INTRODUCTION

En s'engageant, il y a environ deux siècles, dans la voie des combustibles fossiles et de la machine à vapeur, **l'ère industrielle** nous a amené, à côté d'un développement spectaculaire, un **problème énergétique majeur** largement ignoré malgré **l'impasse** à laquelle il conduit !

POURQUOI L'IMPASSE ENERGETIQUE ?

L'impasse vient de problèmes énergétiques liés d'une part à nos **sources** d'énergie, et d'autre part aux **filières** de transformation d'énergie depuis les sources jusqu'aux utilisations finales. Pour les **sources**, il y a l'effet de serre, l'épuisement et les déchets nucléaires. La montée rapide de **l'effet de serre** perturbe les climats. Cela provient de l'usage des combustibles fossiles (80% de nos sources, dont 55% pour le pétrole et le gaz naturel) qui envoient du gaz carbonique dans l'atmosphère un million de fois plus vite qu'il n'y a été prélevé lors de la formation de ces combustibles. Or, le gaz carbonique constitue la contribution majeure à l'effet de serre. **L'épuisement** concerne le pétrole et le gaz naturel (55%) et aussi l'uranium pour le nucléaire (6%) (en tout 61% de nos sources). Leur fin est prévue dans le siècle actuel (environ 50 ans selon certains). Le charbon durera jusqu'au siècle suivant, mais c'est le plus polluant. Les **déchets radioactifs nucléaires** posent un problème non résolu et tout aussi redoutable !



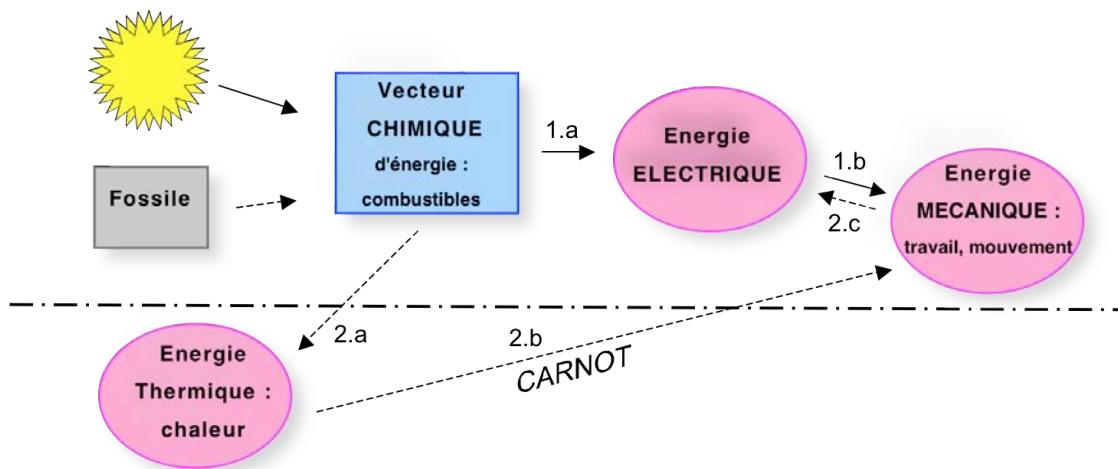
Les problèmes de **filières** concernent la combustion thermique et les moteurs thermiques.

Dans les filières dominantes, la **combustion thermique** (source de chaleur) (fig.1), est intrinsèquement polluante : à côté du gaz carbonique, elle produit des oxydes d'azote (autre gaz à effet de serre, nuisible à la santé et source de pluies acides), du monoxyde de carbone (gaz mortel) et des produits de combustion incomplète (source d'ozone en basse atmosphère par fort ensoleillement). Quant aux **moteurs thermiques** (à vapeur, à explosion, à réaction ...), ils combinent la combustion thermique et ses pollutions, avec une « conversion de Carnot » (fig.1) qui produit de l'énergie de mouvement à partir de chaleur. Or, Carnot a montré que cette conversion est affectée d'un plafond théorique de rendement indépassable. D'où un gaspillage considérable d'énergie et une amplification des pollutions : à partir de 100% d'énergie de la source, on obtient entre 33% et moins de 20% d'énergie utile, mais 100% de pollution ! Dans les centrales électriques classiques, on retrouve le principe du moteur thermique, avec pollutions et gaspillage d'énergie. Puis un alternateur produit de l'énergie électrique à partir de l'énergie mécanique. Dans les centrales nucléaires, la chaleur est produite par fission nucléaire (fig.1), mais on conserve la conversion de Carnot avec un gaspillage d'énergie encore plus important. Lors de la prise de conscience de tout ce constat accablant, des sentiments liés au découragement apparaissent chez beaucoup. **L'écoute de ces sentiments** est alors essentielle. Je pense que c'est une étape nécessaire avant d'envisager un projet d'avenir.

QUEL PROJET DE SOLUTION ?

Pour sortir de l'impasse, il faudra de nouvelles sources et de nouvelles filières énergétiques. Or, notre planète reçoit en un an du Soleil environ 10.000 fois notre consommation annuelle mondiale d'énergie. La question des **sources d'énergie** dérivées **du Soleil** n'est donc pas un problème de quantité, mais de mise en œuvre ; et cela à cause de **trois contraintes** techniques :

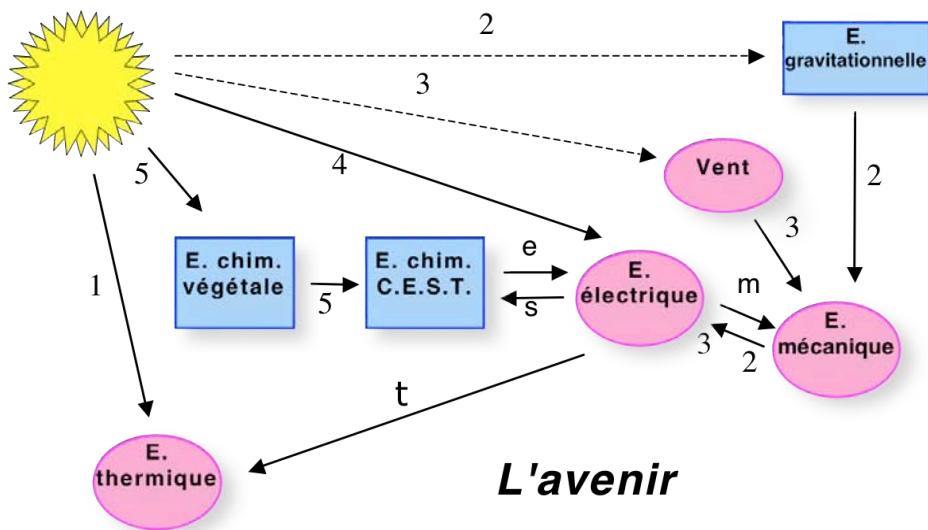
- 1 -La variété de nature entre le rayonnement solaire, la biomasse, l'éolien et l'hydraulique impose des **conversions** vers les formes d'énergie utile.
- 2 -La dispersion spatiale requiert des **transports** vers les lieux de consommation d'énergie.
- 3 -La variabilité dans le temps exige du **stockage** d'énergie pour répondre aux besoins. Avec les combustibles fossiles, on n'avait pas pris conscience de ces contraintes car leur qualité de source dissimulait leur fonction de **vecteur d'énergie stockable et transportable**, et l'aptitude des **combustibles chimiques** à remplir cette fonction. A partir des énergies du Soleil, il faudra donc fabriquer, des combustibles chimiques comme vecteurs d'énergie stockables et transportables.



Quant à l'indispensable **changement de filière énergétique**, considérons la figure 2 : Au centre de cette figure se trouvent d'une part le « vecteur chimique d'énergie », d'autre part « l'énergie électrique ». Cette dernière a une fonction centrale, car elle permet d'obtenir, facilement et avec de bons rendements, toutes les autres formes d'énergie utile. Or, de l'énergie d'un vecteur chimique (combustible) à l'énergie électrique (fig.2), il n'y a que deux filières techniques : la filière dominante actuelle (flèches 2.a, 2.b, 2.c) longue, polluante et gaspilleuse d'énergie ; et une filière courte (flèche 1.a). Cette flèche (1.a) représente ce qui se passe dans les piles électriques (classique ou à combustion). La « **pile à combustion électrochimique** » (pile à combustible) est un convertisseur direct d'énergie chimique en énergie électrique, alimenté **de l'extérieur** en réactifs au fur et à mesure des besoins. Dans la pile classique, au contraire, la réserve de réactifs est à **l'intérieur**.

La pile à combustion électrochimique peut fonctionner sans pollution grâce à l'absence de combustion thermique. Elle est **facilement décentralisable**, car le rendement énergétique est indépendant de la taille. Elle se prête donc à la cogénération d'électricité et de chaleur près des lieux d'utilisations décentralisés. Grâce à cette cogénération et à l'absence de « limite de Carnot » elle économise l'énergie. Cette économie d'énergie est d'autant plus manifeste que le rendement électrique d'une pile à combustion est à peu près le double de celui d'une centrale électrique classique. L'économie d'énergie se traduira nécessairement par une économie financière ; et cette dernière sera renforcée par le fait, connu depuis un siècle, que le transport d'énergie sous forme de combustible chimique (qui alimentera les piles décentralisées) coûte beaucoup moins cher que le transport sous forme électrique par lignes à haute tension. **D'un point de vue éthique, tout cela sera très favorable aux pays en développement.**

QUELS VECTEURS ENERGETIQUES ?



(pink circle) = Energie vive (sensible, dynamique, actuelle, *manifeste*)

(blue rectangle) = Energie dormante (latente, statique, potentielle, *cachée*)

C.E.S.T. = Combustible Electrochimique Stockable et Transportable

Au centre de la figure 3, le sigle « C.E.S.T. » (Combustible Electrochimique Stockable et Transportable) désigne le type de vecteur d'énergie nécessaire pour alimenter une pile à combustion électrochimique (flèche e). La figure 3 montre quatre possibilités différentes pour produire un tel vecteur à partir du Soleil : l'hydraulique (flèches 2 + S), l'éolien (3 + S), le photovoltaïque (4 + S) et la biomasse végétale (5). La flèche (S pour Stockage) représente l'électrolyse de l'eau pour produire du gaz hydrogène, excellent combustible électrochimique, stockable et transportable. A partir de la matière végétale et des déchets organiques, on peut produire (flèches 5) toute une série de combustibles, dont l'hydrogène et le méthanol, autre combustible électrochimique. Ceux-ci peuvent être stockés aussi longtemps qu'on veut, transportés aussi loin que nécessaire, et utilisés, en pile à combustion décentralisée, pour produire de l'énergie électrique (flèche e) et les autres formes d'énergie utile : mouvement mécanique (flèche m), chaleur (flèche t : résistance électrique, pompe à chaleur, etc...) etc... Quant à la flèche (1), elle représente l'utilisation thermique directe du rayonnement solaire, notamment pour le chauffage des bâtiments et de l'eau sanitaire. Du point de vue technique, l'**espoir** est donc permis : toutes les connaissances sont là pour développer un système énergétique mondial entièrement nouveau, propre, souple, durable et sécurisé par la décentralisation. Il concerne non seulement les installations fixes, mais également mobiles, notamment pour les transports par véhicules électriques de toutes espèces.

QUELLE MISE EN ŒUVRE ?

Répandre les techniques solaires. Résoudre le problème géographique : des pays exporteront de l'énergie du Soleil, d'autres en importeront. Deux vecteurs sont connus : l'hydrogène et le méthanol. D'autres sont possibles. Autre point crucial : la **recherche fondamentale** sur la **catalyse** électrochimique en pile à combustion. A présent, le catalyseur (facilitateur de réaction) est le platine. Mais ses réserves mondiales sont insuffisantes pour l'avenir. Il existe un bon nombre d'idées et de pistes de **recherches** pour trouver de nouveaux catalyseurs, et l'espoir est bien permis de résoudre le problème, si on y **met les moyens**. Ces moyens de recherches et de mise en œuvre, ce sont des **budgets** assez importants pour être à la hauteur des possibilités en vue et de **l'enjeu pour l'avenir**. Les **budgets** devraient couvrir non seulement les recherches, mais aussi la formation de chercheurs plus nombreux, et un enseignement plus développé de l'énergétique électrochimique. Pour mobiliser ces moyens, il faudra des **décisions**, de décideurs alertés et informés par des scientifiques. Mais, pour porter ses fruits, une décision doit tomber dans un milieu socio-culturel favorable. Il faut donc une **évolution culturelle** par une action considérable d'**éducation du public au souci de l'avenir à long terme** du monde entier, à la **sobriété** dans toutes les consommations afin d'économiser l'énergie pour partager et maintenir en vie l'espèce humaine. L'opinion publique doit donc être mobilisée par une information compréhensible, forte et persistante. Mais il y a des **obstacles** à surmonter : le désir de garder le système actuel est très fort, on connaît la puissance des intérêts privés, des lobbies etc... Il faut affronter le conservatisme, l'ignorance de la nécessité de bifurquer, la peur du changement, les préjugés de l'époque et la difficulté de voir plus loin que le court terme. Pour l'éducation du public et l'évolution culturelle, les **enseignants** ont un rôle essentiel à jouer, à côté des associations, des médias, d'internet, etc... Mais aussi chaque **citoyen** peut faire quelque chose en s'informant et en parlant car le bouche à oreille reste un outil efficace. Tout cela, décision, recherche, développement, évolution, demandera **du temps**... à peu près le temps qui nous reste jusqu'à l'épuisement de nos principales sources d'énergie ! Il est donc **urgent** de s'y mettre. Cela étant dit, je pense qu'il est bon de cultiver un optimisme lucide et volontaire, basé sur la vision des possibilités, car « l'inespéré n'arrive pas à celui qui n'espère pas ».

BIBLIOGRAPHIE

<http://www.ulg.ac.be/lem/> (références dans les articles d'Ivan GILLET)