



Groupe Prospective Transition Energie et Société

Réunion du lundi 3 décembre 2012

✚ Rappel du fonctionnement du *think tank* IDées

- Présentation des groupes de travail :
- Déroulé des réunions prévues :

La présentation Power point est disponible sur le site de la Fondation :
<http://www.fondation-tuck.fr/fondation-tuck-groupe-de-reflexion-idees.html>

Exposés

✚ « Des ruptures scientifiques pourraient-elles changer la donne énergétique ? »

Pierre PAPON
Professeur émérite à l'ESPCI

La présentation Power point est disponible sur le site de la Fondation :
<http://www.fondation-tuck.fr/fondation-tuck-groupe-de-reflexion-idees.html>

- Les ruptures scientifiques (physique quantique, relativité) changent la donne, induisent un changement de paradigme (T. Kuhn). On connaît aussi des ruptures techniques, telles que la machine à vapeur (début XVIII^e siècle) ou le transistor (1947).

- On peut distinguer ruptures « radicales », qui sont rares (nucléaire, photovoltaïque), et ruptures secondaires, mais néanmoins importantes, telles que moteur à air chaud (Stirling), moteur à explosion ou moteur à gaz.
- La prospective doit repérer des « zones de rupture », des failles, des verrous à faire sauter, sans pour autant pouvoir prévoir les ruptures elles-mêmes.
- Des ruptures sont envisageables dans le domaine de la physique fondamentale, qui n'est pas encore parvenue à réconcilier les paradigmes relativiste et quantique (nouvelle théorie masse/énergie à prévoir ?), ainsi que dans le domaine de la biologie, après les avancées spectaculaires réalisées dans le domaine de la biologie synthétique.
- Dans le domaine du nucléaire, on pourrait imaginer de nouveaux mécanismes de fission à partir de découvertes fondamentales concernant l'équivalence entre masse et énergie, mais cela ne sera sans doute pas avant 2050. Paraissent plus proches la mise en œuvre de nouveaux modes d'exploitation des déchets nucléaires et l'industrialisation de la filière de quatrième génération. Quant à la fusion thermonucléaire si son principe scientifique est connu, son exploitation reste encore problématique.
- La voie suivie pour la fusion avec le programme international Iter (deutérium + tritium → neutrons) ne produira pas de résultats avant 2030, et il faudra ensuite passer par une série d'étapes avant d'aboutir à une installation industrielle.
- On peut envisager une voie combinant fusion et fission, qui consiste à « brûler » les déchets de fission par les neutrons de la fusion.
- Dans le domaine du solaire, une rupture scientifique pourrait conduire à imaginer de nouveaux mécanismes d'absorption des photons. Parmi les technologies explorées actuellement, les cellules utilisant des matériaux organiques, les cellules de Grätzel, les matériaux avec effets de surface (plasmons) ainsi que les cellules thermo-ioniques sont des exemples de voies susceptibles de conduire à des ruptures.
- Les progrès en biochimie pourraient conduire à de nouvelles voies de production de biocarburants. Il devient possible de produire des génomes synthétiques de bactéries ou algues pour obtenir des enzymes capables de transformer la cellulose en sucres, convertis ensuite en alcools. La production d'isobutanol à partir de CO₂ et d'eau, par voie électro-biologique (production d'acide formique à partir de CO₂ par voie électrochimique, puis d'isobutanol à partir d'acide formique par voie biochimique) est un autre exemple de voie de rupture possible.
- L'exploitation de sources d'énergie intermittentes (solaire, éolien), entraîne de nouveaux besoins dans le domaine du transport et du stockage d'électricité, ce qui pose la question de ruptures éventuelles dans ce domaine : supraconducteurs HT ?, biomatériaux pour électrodes de batteries (ex.

polyquinone avec lithium à partir d'acide malique)?

- Pour parvenir à surmonter les défis actuels, le secteur de l'énergie nécessite des ruptures dans différents domaines, tels que traitement des déchets nucléaires, batteries, piles à combustible, exploitation des hydrocarbures non conventionnels, captage et stockage de CO₂.

« L'avenir énergétique est-il écrit ? »

Christian NGO
Edmonium

La présentation Power point est disponible sur le site de la Fondation :
<http://www.fondation-tuck.fr/fondation-tuck-groupe-de-reflexion-idees.html>

- L'électricité est un vecteur d'énergie noble. La croissance de la demande est supérieure à celle de l'énergie.
- Le défi énergétique implique d'émettre moins de CO₂ et progressivement de se passer des combustibles fossiles. Toutefois, il ne faut pas confondre consommation d'énergie et émission de CO₂.
- A côté des « grandes » ruptures (la mécanique quantique), les « petites » ruptures, plus nombreuses sont indispensables pour faire progresser le domaine énergétique. Les exemples cités se rattachent à cette deuxième catégorie de ruptures.
- Les nanotechnologies permettent d'optimiser les fonctions d'un catalyseur, avec des applications importantes, notamment pour améliorer les qualités d'un pétrole extra-lourd.
- Les hydrates de méthane, considérés jusqu'à présent comme une source de nuisances (bouchage de canalisations), peuvent ouvrir de nouvelles opportunités en tant que source d'énergie et comme moyen de stockage du gaz naturel et éventuellement de l'hydrogène.
- Dans le domaine de l'énergie solaire, de nombreuses « ruptures » sont possibles : couches minces (CdTe, CIS), cellules multi-jonctions, photovoltaïque organique, convertisseurs optiques, thermo-photovoltaïque, photovoltaïque à concentration.
- Fabriquer des carburants pétroliers à partir de micro-algues pourrait représenter une révolution.
- La fusion est sans doute une énergie d'avenir, mais pas avant longtemps. La

fusion de deutérium + tritium, qui fait l'objet des programmes internationaux actuels (ITER), ne débouchera pas industriellement avant la fin du siècle. Elle ouvrirait une ère d'énergie abondante, mais pas illimitée, en raison des disponibilités en lithium, à partir duquel est produit le tritium. Pour disposer d'une énergie « inépuisable », il faudrait maîtriser la fusion de deutérium-deutérium. La fusion hydrogène + hydrogène qui se produit au sein du soleil ne paraît pas accessible (c'est un processus qui se déroule sur des milliards d'années).

- L'utilisation d'isomères nucléaires pourrait à terme représenter un moyen de stocker l'énergie (exemple de l'ytterbium). Il faut toutefois parvenir à maîtriser la période de transition isomérique qui peut être très longue (de l'ordre de quelques dizaines d'années).
- Dans le domaine du transport, la capacité de stockage des batteries représente encore un obstacle à une large diffusion de la voiture électrique (pour stocker 25 kWh correspondant à une autonomie de 200 km, il faut une batterie de 200 kg Li-Ion). L'option hybride rechargeable représente actuellement le seul moyen de résoudre ce problème d'autonomie.
- Pour disposer d'une autonomie plus importante, il faudrait qu'interviennent de nouvelles ruptures, dans le domaine des batteries (batterie lithium-air, pour atteindre 500 Wh/kg) ou dans le domaine des véhicules à hydrogène (PACs, stockage de l'hydrogène).
- Assurer la mobilité au moyen de l'électricité produite dans un habitat à énergie positive paraît une solution d'avenir. La batterie du véhicule est alors utilisée pour stocker l'électricité produite de manière intermittente.

Le débat: thèmes abordés

Les besoins

- La situation actuelle nécessite des ruptures, compte-tenu des défis dans le domaine de l'énergie, qui ne trouvent pas aujourd'hui de solutions vraiment satisfaisantes.
- La question du climat est la plus préoccupante. Il faudrait en particulier s'intéresser de plus près au phénomène de rétroaction positive lié à la décomposition des hydrates de méthane, qui pourrait conduire à un

« emballement climatique »¹.

- Il semble qu'il soit devenu impossible de respecter la limitation des 2°C de réchauffement climatique. Dès lors, se pose la question du critère à respecter. Même si on ne peut empêcher un réchauffement de 2°C, on ne peut pas pour autant accepter n'importe quel niveau de réchauffement.
- Etant donné que l'on ne parvient pas à respecter la fenêtre des 2°C, il faut peut-être rechercher des ruptures permettant de s'adapter au réchauffement climatique.
- Le domaine du transport routier, qui dépend de manière quasiment exclusive des carburants pétroliers, nécessite aussi des ruptures technologiques (notamment, des technologies plus performantes de stockage embarqué). Le véhicule électrique présente l'avantage de pouvoir utiliser toutes les sources d'énergie et donc d'anticiper le passage aux énergies renouvelables.

Les domaines de rupture

- Dans le domaine du stockage d'énergie, on peut envisager des options conduisant à une conversion du vecteur énergétique. Ainsi, l'option « *Power to Gas* » conduit à stocker de l'électricité sous forme de méthane de synthèse, obtenu à partir de CO₂ et d'hydrogène, ce qui ouvre des possibilités d'arbitrage de valeur (exportation d'électricité, de méthane ou d'hydrogène).
- La plupart des sources d'énergie sont exploitées en passant par une étape de production de chaleur, qui conduit à des pertes de rendement. Peut-on envisager des voies plus directes de génération de l'électricité, notamment à partir d'énergie chimique ?
- Des ruptures sont-elles possibles dans le domaine des rendements de conversion ?
- Le stockage d'énergie est un domaine particulièrement critique, si l'on souhaite développer les énergies renouvelables intermittentes (solaire, éolien). De nouvelles idées sont apparues dans ce domaine : stockage gravitaire artificiel au large des côtes (François Lempereur), stockage thermique et pompe à chaleur haute température (Jacques Ruer).
- Le stockage d'électricité se heurte à des problèmes économiques. Ainsi, en Allemagne, malgré le développement des renouvelables, la demande de pointe étant en partie couverte par le PV, le stockage peine à trouver son modèle économique.

¹ Le site ameg.me décrit le danger imminent (voire déjà réel, en cours) d'un emballement du changement climatique avec les éruptions de méthane en Arctique. La [video](#) (20 minutes) est une bonne introduction sur le sujet. <http://www.youtube.com/watch?v=iDBt07skLbQ> ; il y a aussi arctic-news.blogspot.com.

- Des systèmes thermodynamiques, telles que les pompes à chaleur, pourraient aussi connaître des ruptures (jonctions solides ?)
- Des systèmes à base d'énergie osmotique pourraient se développer dans l'avenir (énergie de mélange eau douce-eau de mer).
- Le photovoltaïque satellitaire fait partie des technologies futuristes qui ont été envisagées et étudiées depuis déjà de nombreuses années. La principale difficulté réside dans la transmission de l'énergie produite. La transmission d'énergie à grande distance par micro-ondes a été testée avec succès, mais semble poser trop de problèmes de sécurité dans le cas d'un satellite.
- L'énergie est dissipée sous forme de chaleur à bas niveau ; il serait intéressant d'imaginer des ruptures pour gérer cette chaleur à bas niveau (économie d'entropie, plutôt qu'économie d'énergie).
- A long terme, peut-on imaginer de nouvelles sources d'énergie « exotiques » ? Des options telles que la « fusion froide » ou « l'énergie libre » sont fréquemment évoquées, notamment sur des sites Internet². Une voie qui paraît impossible ou improbable aujourd'hui pourrait-elle déboucher dans l'avenir ?

Rendre possibles les ruptures

- Les guerres ont toujours contribué à amener des ruptures. Ainsi la Seconde guerre mondiale a amené de nombreuses ruptures technologiques (nucléaire, synthèse Fischer-Tropsch, fusées, etc.). On peut néanmoins citer de nombreuses ruptures initiées en temps de paix (transistor, microinformatique)
- Les ruptures actuelles sont développées dans un contexte de paix au niveau mondial, sur le plan militaire, mais il ne faut pas méconnaître la réalité de la guerre économique (exemple de la politique chinoise dans le domaine des terres rares, dont elle s'assure le contrôle).
- On ne peut pas exclure une rupture négative, qui conduirait par exemple à une division par 2 de la population mondiale.
- On ne voit pas toujours les ruptures au moment où elles se produisent et il faut souvent se contenter de signaux faibles pour anticiper leur impact futur.
- Il se pose la question de savoir comment créer des conditions propices aux ruptures. Il faudrait définir une stratégie d'ensemble à l'exemple du modèle

² De nombreux sites Internet propagent une telle idée. On peut citer notamment le site cheniere.org et le site francophone magnetosynergie.com.

suédois (réseaux de chaleur, forte réduction de la consommation de produits pétroliers, augmentation du prix de l'énergie avec l'instauration d'une taxe carbone).

- Il ne faut pas se limiter au domaine technique, mais aussi envisager des ruptures dans le domaine économique et social (économie, anthropologie, sociologie), susceptibles de conduire à des changements de comportement.
- Il faut accepter d'examiner des idées alternatives et ne pas réagir négativement aux possibilités de rupture.
- Les ruptures technologiques peuvent avoir un effet de levier sur l'ensemble du secteur de l'énergie (exemple des gaz de schiste).

Prochaine réunion :

Lundi 4 février 2013 à 16h (Domaine de Vert Mont)

Thème traité « Nanotechnologies et énergie »