

Bulletin ASPO France n° 3 Juillet août sept. 2007

Editorial de Septembre d'ASPO France par Jean Laherrère

Où en est ASPO?

Il est temps de faire le point :

Que veut-on?

-Site ASPO France

ASPO France est une association à but non lucratif poursuivant trois objectifs principaux :

* Informer sur les ressources mondiales de pétrole et de gaz naturel et leurs incertitudes,

* Expliquer la réalité du phénomène de déplétion,

* Etudier la déplétion et ses conséquences en tenant compte de la demande en énergie ainsi que des aspects technologiques, économiques, sociaux et politiques.

-Règlement intérieur ASPO France association 1901

Article 2 : But

ASPO France a pour but l'étude de l'évolution des ressources et des productions d'énergies fossiles de toutes natures ainsi que les conséquences du déclin des productions d'hydrocarbures liquides et gazeux, et en particulier la possibilité d'y substituer d'autres énergies.

Qu'a-t-on fait ?

ASPO vient d'avoir son 6e congrès annuel à Cork.

ASPO 2008 se tiendra à Barcelone et ASPO 2009 à Pékin.

Il y a plus de 25 ASPO nationaux et pour ne pas les laisser tous sans lien ASPO International démarre au 01/01/2008 avec une chartre.

Aux US, le National Petroleum Policy a publié en juillet le brouillon de «Facing the hard truths about energy. A comprehensive view to 2030 of global oil and natural gas» pour répondre à la demande du Secrétaire de l'énergie S. Bodman du 5 octobre 2005 et de nombreux membres d'ASPO ont été consultés avant et après ce brouillon. J'ai notamment recensé les items manquants et périmés du projet (voir dans *documents* <http://aspo france.org/texts/documents>). Le document final doit sortir sous peu, mais comme les deux têtes sont Raymond ex Exxon-Mobil et Yergin CERA on peut s'attendre à un pic en sourdine. ASPO USA a parlé de puits sec ! Exxon-Mobil affirme que le pic est lointain et CERA (filiale d'IHS) affirme que le pic est un mythe «Why the Peak Oil theory falls down- myths, legends and the future of oil resources» nov. 2006 par P. Jackson.

L'US Government Accountability Office a publié en février 2007 «Crude oil: Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production » où les travaux d'ASPO sont cités. L'automne dernier, le Directeur de l'AIE Claude Mandil a reconnu que les prévisions AIE WEO 2006 avec 116 Mb/d en 2030 sans pic étaient «unsecured, unrealistic, unattainable and unsustainable». Cet été l'AIE a prédit un «supply crunch» après 2010.

L'IFP avec les papiers d'Yves Mathieu a finalement admis un pic avec plusieurs scénarios mais un plateau pouvant s'étaler de maintenant à 2025 mais à moins de 95 Mb/d

Le partisan le plus convaincu du réchauffement global Hansen de la NASA vient de sortir un scénario peak oil où le taux de CO₂ dans l'atmosphère ne dépassera pas 450 ppm.

On peut donc dire que le but de répandre le message du pic du pétrole est accompli, surtout que depuis 2 ans la production de pétrole oscille entre 84 et 85 Mb/d. ASPO est devenu la référence incontestée des prévisions réalistes.

Il faut maintenir notre action sur le pétrole et passer au pic du gaz qui est différent car le pic mondial du gaz ne veut pas dire grande chose puisqu'il y a 3 ou 4 marchés différents et le gaz liquéfié ne pourra les transformer en marché unique avant longtemps. L'Europe va très vite manquer de gaz car les Russes ont surestimé leurs ressources et peu investi dans la mise en valeur de la péninsule de Yamal qui contient les plus gros champs non développés.

Toutefois si la récession prévue par Paul Volcker en 2004 et Greenspan cette année se confirme (la queue devant les bureaux de la banque anglaise Northern Rock est un bien mauvais présage) la demande de pétrole et de gaz peut chuter et le pic sera un long plateau où chacun prétendra avoir raison avec les oscillations chaotiques.

Que peut faire ASPO France ?

-travailler sur le gaz en Europe,

-travailler et informer les medias du problème capital du temps, bien évoqué par Bernard Rogeaux dans son article (voir ci-dessous dans le bulletin) : les retards de Kashagan, Thunder Horse, sables bitumineux et EPR le confirment,

-promouvoir les économies d'énergie, car les autres énergies ont aussi des problèmes,

-améliorer son site Internet.

Nous avons fait du bon travail mais il en reste encore beaucoup à faire.

Le président

Contenu du bulletin n°3

p.1 : éditorial par J. Laherrère.

p.4 : la production des champs pétroliers par X. Chavanne.

p.5 : quelles solutions pourront proposer les industries lorsqu'interviendront les prochaines raretés énergétiques ? par B. Rogeaux.

p. 7 : l'analyse énergétique par X. Chavanne.

Dans le prochain bulletin continuera la série sur la disponibilité fondamentale et observée des ressources énergétiques, avec l'étude de la filière nucléaire.

LA PRODUCTION DES CHAMPS PETROLIERS

Par X. Chavanne.

Résumé de l'article « La production des champs pétroliers » publié dans le *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie n° 895 juin 2007, p. 747-758* (<http://www.udppc.asso.fr/bup/udpbup.htm>). L'article est disponible sur le site d'ASPO France à la rubrique *documents* ([http://aspofrance.org/texts/documents#xc, production des champs](http://aspofrance.org/texts/documents#xc,production%20des%20champs)).

Après avoir indiqué la répartition des champs pétroliers connus dans le monde suivant leur réserve initiale et leur production, l'article présente quelques aspects de l'exploitation d'un champ. Il passe en revue les nombreux phénomènes physiques se déroulant durant l'extraction du pétrole de la roche poreuse qu'il imprègne, et dont doivent tenir compte les ingénieurs pour estimer les quantités récupérables et pour mettre en place les systèmes d'extraction : drainage d'un ou plusieurs fluides en milieu poreux, effets capillaires et gravitaires, compressibilité et changements de phase des fluides ...

L'article donne l'exemple du 2^e champ plus grand producteur au monde en 2004, Cantarell au Mexique. La production de ce champ présente actuellement un déclin de plus de 10 % par an, résultat très probable du choix des exploitants de récupérer le pétrole le plus rapidement possible en injectant de l'azote.

L'article conclut en indiquant la forme schématique du profil de production d'une région pétrolière, qu'implique celle de ses champs, avec l'arrivée inévitable d'un déclin quelque soit la taille des réserves d'une région. L'ensemble des bassins pétroliers du monde peut être considéré comme une région pétrolière.

QUELLES SOLUTIONS POURRA PROPOSER L'INDUSTRIE LORSQU' INTERVIENDRONT LES PROCHAINES RARETES ENERGETIQUES ? ET AUSSI LORSQUE L'EVENTUELLE DECISION SERA PRISE DE LIMITER LES EMISSIONS DE CO₂ ?

Par B. Rogeaux.

Résumé de l'article « quelles solutions des industries peuvent-ils apporter aux problèmes énergétiques » publié dans la *Revue de l'énergie* n° 575 jan-fev 2007. L'article est disponible sur le site d'ASPO France à la rubrique *documents* (<http://aspofrance.org/texts/documents#br>, Quelles solutions des industriels...).

Beaucoup de solutions existent sur le papier, maintenant bien connues : économies d'énergie, développement volontariste d'énergies renouvelables, du nucléaire, véhicules électriques ou hybrides rechargeables, captage et stockage du CO₂, etc. Le problème, comme le montrent les auteurs de l'article, c'est qu'aucune de ces solutions ne pourra être développée assez rapidement et sur une échelle adéquate par les industriels, pour des raisons diverses explicitées dans l'article. Ces solutions, même développées conformément aux prévisions des scénarios dits "vertueux" actuellement en discussion, ne permettront pas de faire face à la prochaine décroissance de l'offre pétrolière.

Le charbon est en fait la seule énergie susceptible d'être développée dans le monde à une échelle suffisante, avec les inconvénients que l'on connaît. En cas de crise pétrolière non anticipée, un développement massif du charbon (pour partie liquéfié) ne peut être exclue. Mais cette solution ne permettrait de toute façon d'alimenter la croissance mondiale que sur quelques décennies, conduisant ensuite le monde à une impasse que même un développement volontariste de surrégénérateurs nucléaires, probablement commercialisables vers 2040, ne pourraient résoudre.

L'ensemble de ces analyses s'appuient sur le modèle "Mescalito", développé par EDF R&D et prochainement en ligne, qui consolide l'ensemble des besoins énergétiques mondiaux (transports, chaleur, électricité spécifique) et leurs conséquences sur les demandes d'énergies primaires en fonction des politiques énergétiques et des inerties liées aux infrastructures, tout en intégrant les raretés des énergies fossiles et en calculant les pics de Hubbert. Ce modèle permet ainsi de tester les politiques énergétiques, de gérer les reports entre énergies et de faire apparaître les éventuels déficits mondiaux.

L'une des principales conclusions de l'article est de faire apparaître l'impossibilité d'une croissance tendancielle durable de la demande énergétique mondiale et le nécessaire effacement d'une partie de la demande ("sobriété énergétique") : même un développement volontariste de l'efficacité énergétique, des ENR et du nucléaire ne pourront pas compenser à temps le prochain déclin de la production du pétrole. Celle du charbon pourrait repousser les tensions de 20 à 30 ans, mais cette "solution" aurait des conséquences gravissimes pour la planète et les générations futures car la séquestration du CO₂ ne sera pas opérationnelle avant 2030. L'Europe apparaît (ainsi que l'Asie) comme une région structurellement fragile face aux prochaines pénuries énergétiques, ce qui nécessitera la mise en oeuvre la plus

rapide possible de plans d'urgence, seuls à même d'orienter l'économie vers une situation soutenable. Un exemple de plan d'action est présenté, dont le coût est de l'ordre de 2% du PIB.

D'après les auteurs, le seul marché ne pourra pas proposer de solutions adéquates lorsqu' interviendront les prochaines raretés énergétiques. Une prise de conscience collective apparaît nécessaire pour la mise en place des plans d'urgence."

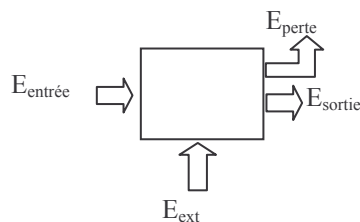
L'ANALYSE ENERGETIQUE

Par X. Chavanne.

Résumé et compléments à l'article «De la détermination du rendement ...» publié dans les comptes rendus de l'académies des sciences. Géosciences 2007 - Vol. 339 - N° 8 - 519-535 (<http://www.elsevier.fr/html/index.cfm?act=sommaires&code=TE>). L'article est disponible sur le site d'ASPO France à la rubrique *documents* (<http://aspofrance.org/texts/documents#xc>, rendement énergétique).

Le rendement énergétique doit exprimer les contraintes fondamentales (ou naturelles) concernant les transformations énergétiques et exprimées par les deux principes de la thermodynamique. Il doit s'appliquer à toute filière de production d'une ressource énergétique qui couvre l'ensemble des étapes menant de l'extraction d'une ressource naturelle énergétique, ou énergie primaire, à la consommation de ses produits dérivés par les utilisateurs finaux en passant par sa transformation ainsi que son transport et ceux de ses dérivés. Il doit donc traiter aussi bien du pétrole brut extrait, épuré puis raffiné, que de l'éthanol produit à partir du grain de maïs, ou encore que de l'électricité produite par une éolienne à partir du vent, ou par l'énergie radiative du soleil capturée par un système photovoltaïque.

Considérons l'ensemble de cette filière comme un bloc traversé par des flux d'énergie $E_{\text{entrée}}$, E_{perte} , E_{sortie} , E_{ext} :



$E_{\text{entrée}}$ représente le flux d'énergie primaire extraite par la filière, correspondant au contenu énergétique convertible en chaleur, ou pouvoir calorifique, tandis que E_{sortie} est le flux énergétique sortant des produits. Le bloc inclut d'autres filières de production qui ont utilisé de l'énergie pour fournir des produits à la filière étudiée. Elles ont un flux d'entrée en énergie primaire E_{ext} . Le long des différentes filières, des énergies sont dissipées sous une forme non utilisable (chaleur à température ambiante, contenu énergétique des déchets...) E_{perte} . Certaines dissipations sont incompressibles. Par conservation de l'énergie nous avons :

$$E_{\text{entrée}} + E_{\text{ext}} = E_{\text{perte}} + E_{\text{sortie}}.$$

Du fait de la dissipation d'énergie toute l'énergie d'entrée ne se retrouve pas dans E_{sortie} . Le rendement énergétique doit étudier l'efficacité de la filière (y compris les autres filières utilisées) à réduire les dissipations. Ces dissipations se comparent à l'énergie obtenue par l'extraction de la ressource naturelle $E_{\text{entrée}}$. Nous introduisons alors le taux de dissipation ou de dépenses \mathcal{D} :

$$\mathcal{D} = E_{\text{perte}} / E_{\text{entrée}}.$$

E_{perte} est estimée indirectement en déterminant les autres énergies et en appliquant la conservation de l'énergie :

$$\mathcal{D} = (E_{\text{ext}} + E_{\text{entrée}} - E_{\text{sortie}}) / E_{\text{entrée}}.$$

Sous cette forme on note que les pertes se composent de pertes extérieures et de pertes propres.

\mathcal{D} constitue un indicateur absolu de rentabilité énergétique avec 1 comme seuil. En effet d'après l'équation précédente $\mathcal{D} > 1$ signifie que $E_{\text{ext}} > E_{\text{sortie}}$. On peut alors se demander s'il n'est pas plus rentable d'utiliser E_{ext} directement ou dans une autre filière. Dans le cas où une filière n'utilise pas d'apport extérieur (la filière pétrolière se rapproche de cette situation), du fait des dissipations $E_{\text{sortie}} < E_{\text{entrée}}$ et \mathcal{D} est nécessaire compris entre 0 et 1, ce dernier cas correspondant à une filière qui a dissipé entièrement son énergie de départ avant d'avoir obtenu l'énergie finale. Une autre combinaison pour \mathcal{D} , par exemple $\mathcal{D} = E_{\text{perte}} / E_{\text{sortie}}$, ne permet pas d'obtenir des limites aussi simples. En outre E_{sortie} n'est pas bien défini comme nous allons voir plus loin. On peut construire avec \mathcal{D} un autre indicateur absolu $R = 1 - \mathcal{D}$ de façon à avoir un seuil à 0. En pratique \mathcal{D} est l'indicateur qui vient le plus naturellement à partir des données brutes des filières.

Comme il s'agit de faire un bilan nous allons utiliser un vocabulaire propre à cet exercice en parlant de gain G pour l'énergie extraite et de dépenses ou pertes D pour l'énergie dissipée. $\mathcal{D} = D/G$. Il est rappeler que malgré ce vocabulaire il s'agit d'un bilan thermodynamique et non financier. Le bilan financier tient compte de tellement d'autres facteurs que dans la grande majorité des cas la part énergétique représente moins de 10 % du coût monétaire total (du moins jusqu'à présent). Actuellement un bilan financier peut être positif avec un bilan énergétique négatif (éthanol ex maïs), et inversement (énergie solaire).

La force de \mathcal{D} est qu'il repose sur des principes incontournables : on ne dissipera pas plus d'énergie qu'on peut en extraire ! Il est donc l'indicateur de choix lorsqu'il s'agira d'économiser des ressources devenues plus rares. Mais \mathcal{D} n'exprimera pas plus que ce qu'expriment les principes thermodynamiques. Toutes autres contraintes, techniques, économiques, environnementales, politiques, humaines ... ne pourront être prises en compte que par l'intermédiaire de D ou G . La limitation de polluants se traduira par des coûts supplémentaires (ce qui nécessitera un compromis). De même la satisfaction de besoins essentiels pour l'homme peut amener à privilégier des filières plus dispendieuses que d'autres (faut-il encore s'entendre sur ce que sont les besoins essentiels). Les progrès techniques peuvent réduire D , amélioration des rendements thermodynamiques, ou augmenter G , valorisation de déchets. Cependant du laboratoire à l'usine les temps de mis au point sont longs - 20 ans et plus -, surtout dans le domaine de l'énergie.

Le développement d'une filière doit tenir compte d'autres critères que \mathcal{D} , surtout à court et moyen terme - à moins de 20 ans ; voir en particulier l'article précédent sur les contraintes industrielles - : contraintes logistiques (temps, matériel, personnel qualifié...), volonté politique, investissements disponibles... Avec la disponibilité des ressources (voir plus loin) \mathcal{D} est un critère de long terme qui peut et doit guider les autres. Il constitue une condition nécessaire mais pas suffisante.

L'article s'étend ensuite sur toutes les difficultés pour passer du principe de calcul de \mathcal{D} à son établissement dans une filière particulière. Des compromis sont ainsi nécessaires. Par exemple les énergies primaires (pétrole, gaz...) correspondent à la première forme de la ressource extraite pour laquelle le pouvoir calorifique est connu (les définitions de l'Agence Internationale de l'énergie sont en général prises car sans doute les moins arbitraires).

Un travail long et patient de collecte et de dépouillement des données brutes (i.e. les mesures directes des énergies consommées dans les différentes filières concernées) est inévitable. Toutes les dépenses doivent se ramener en énergie primaire. La

forme de \mathcal{D} est pratique pour cela car elle permet une décomposition suivant les différentes étapes et dépenses :

$$\mathcal{D} = \sum \mathcal{D}_i = \sum D_i / G_i = \sum D_i / G$$

A chaque dépense D_i est associé son gain G_i qui est ramené à un gain unique. Cette forme modulaire permet des comparaisons entre dépenses, de rajouter facilement d'autres contributions ou de changer des étapes. Elle permet de séparer les difficultés de calcul. \mathcal{D}_i se calcule facilement pour les dépenses d'exploitation où D_i est proportionnel à G . Pour les dépenses d'investissement comme celles d'une centrale nucléaire ou d'une éolienne il est nécessaire non seulement d'estimer D_i mais aussi G_i correspondant aux quantités d'énergie primaire traitées durant la durée de vie de l'investissement. La comparaison entre différents \mathcal{D}_i permet de réduire le travail d'analyse en se concentrant sur les \mathcal{D}_i les plus élevés. Il est aussi indispensable pour cela d'estimer les incertitudes dues non seulement à celles sur les données brutes mais aussi aux estimations pour pallier aux lacunes inévitables dans la collecte de données. A ce stade il est critique d'identifier des paramètres clés dans la variation de \mathcal{D}_i , comme par exemple les caractéristiques des gisements ou de la ressource (viscosité *in situ* et richesse en hydrogène du pétrole par exemple). Leur influence sur \mathcal{D}_i va au delà des barres d'erreur sur \mathcal{D}_i . Identifier ces paramètres et quantifier leurs effets à partir des données brutes nécessitent des connaissances physiques et techniques des procédés étudiés.

Il existe inévitablement une part d'arbitraire dans le calcul de \mathcal{D} . L'essentiel est de bien l'explicitier. Il est ainsi nécessaire de préciser quelles filières extérieures ont été choisies, en particulier pour la production d'électricité utilisée par la filière étudiée. Il est aussi indispensable de préciser le stade où l'énergie finale est définie ; \mathcal{D} n'est pas le même suivant qu'on considère comme énergie finale l'éthanol ou l'énergie mécanique au niveau des roues d'un véhicule brûlant l'éthanol pour se mouvoir.

Dans la formule de \mathcal{D} l'énergie primaire extraite n'est pas considérée comme une dépense, aux pertes propres près. Ainsi le pétrole brut comme le grain de maïs sont gratuits. Ceci est essentiel si on veut conserver à \mathcal{D} son caractère fondamental. Cependant nous sommes bien placés pour savoir que le pétrole est en quantité finie. Mais d'un autre côté, quelles sont les surfaces arables disponibles pour la culture du maïs destiné à la production d'éthanol ? Et quels sont leurs rendements agricoles ? Cette question de la disponibilité des ressources doit donc être traitée à part en complément du rendement énergétique. L'article aborde aussi bien la disponibilité des ressources matérielles (minéraux, eau...) que celle des énergies. Il constate qu'à terme cette dernière est la plus contraignante.

L'analyse énergétique des processus industriels s'est développée dans les années 70 avec les craintes de pénurie énergétique. Après une éclipse et avec le retour des ces craintes, joint aux inquiétudes au sujet de l'émission accrue de CO_2 , elle ne peut que retrouver son importance.