

L'intégration systémique de la demande de services à l'offre d'énergie

Bertrand Chateau (Enerdata)

Rechercher les solutions aux défis de l'énergie et de l'environnement passe nécessairement d'abord par des éclairages sectoriels sur les tendances et les possibilités d'inflexion du côté de l'offre comme du côté de la demande. Pour autant, il faut garder à l'esprit qu'il existe une logique d'ensemble qui préside au développement du système énergétique, et qui détermine en grande partie ses conséquences sur l'environnement.

Ce sont les interdépendances entre les facteurs clés du développement énergétique qui sous-tendent cette logique d'ensemble, qui font que l'on a affaire à un système et non à une collection d'objets indépendants les uns des autres : interdépendances entre technologies et comportements, entre comportements et croissance économique, entre choix politiques et mix énergétique, entre mix énergétique et efficacité énergétique, etc...

Il existe aussi une hiérarchie entre ces facteurs-clé, déterminée par la nature des interdépendances mais aussi par le fait que l'on raisonne dans un système ouvert, qui entretient avec l'extérieur des relations fortes et multiples : dans la France des années '70, la volonté d'indépendance énergétique a prédéterminé en partie le choix nucléaire des Pouvoirs Publics, lequel prédétermine aujourd'hui en partie la compétitivité de l'électricité par rapport au gaz dans les usages thermiques, laquelle prédétermine en partie l'évolution de la demande électrique, etc.

Autrement dit, il serait illusoire et trompeur de continuer à raisonner à long terme, notamment lorsque des ruptures apparaissent inévitables, avec les modes de raisonnement linéaires classiques : projeter d'abord une demande à laquelle conduirait un développement économique souhaitable, plus ou moins élevée selon la vigueur des politiques d'efficacité énergétique, et partager ensuite cette demande future entre les différentes énergies alternatives, comme si les deux entités, demande et offre, étaient indépendantes, et comme si tous les mix énergétiques étaient également faisables.

Le raisonnement alternatif est celui de l'intégration systémique, de la demande de services énergétiques à l'offre, dans une analyse prospective de paradigmes énergétiques globalement cohérents.

On illustrera ce propos à partir des résultats d'études récentes menées pour la Commission Européenne (Étude WETO-H2 (World Energy Technology Outlook, 2006) ; étude VLEEM (Very Long Term Energy Environment Modelling, 2005)

Promesses et limites de la poursuite du paradigme fossile

Quand on parle de paradigme fossile, on parle du système technique dominant fondé sur la combustion, qui impose des technologies particulières pour répondre aux besoins (par exemple le moteur à combustion interne), un mode d'organisation particulier pour produire, transporter, transformer, distribuer, stocker des produits énergétiques bien particuliers (de la raffinerie à la station service, de la centrale électrique à l'utilisateur final), voire des comportements spécifiques induits par les technologies utilisées (mobilité par exemple). Les structures industrielles jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle ont été façonnées par le couple charbon-machine à vapeur, tandis que l'urbanisation et l'aménagement de l'espace ont été façonnés depuis lors par le couple dominant pétrole-moteur à combustion interne.

Tant qu'ils restent un moyen alternatif de produire de l'électricité dans des usages majoritairement captifs de l'électricité, le nucléaire ou le renouvelable s'inscrivent parfaitement, bien qu'à la marge, dans le paradigme fossile.

Toutes les récentes études prospectives (AIE, Commission Européenne, DOE), proposent des visions du monde énergétique qui s'inscrivent dans la poursuite du paradigme actuel à l'horizon 2050, sans contrainte forte relative à l'effet de serre.

Ces visions suggèrent que les contraintes de ressources sur le pétrole et le gaz pourraient être surmontées modulo de fortes hausses des prix. Elles décrivent un monde où, entre autres, le charbon, dont les ressources connues sont beaucoup plus considérables que celles de pétrole et de gaz, devient l'énergie fossile majeure du monde, et où le centre de gravité énergétique du monde se déplace en Asie.

L'étude VLEEM (www.VLEEM.org, Commission Européenne) prolonge et complète ces visions d'un monde durablement inscrit dans le paradigme fossile : le charbon s'impose ainsi de plus en plus dans tous les compartiments du système énergétique, hormis quelques usages où le pétrole restera très difficile à remplacer à des coûts acceptables, comme le transport aérien. Cette étude montre même la compatibilité du paradigme fossile avec un développement soutenable jusqu'à la fin du siècle au moins.

Dans toutes ces études, il est admis que la croissance de la demande énergétique reste fondée sur les mêmes relations à la croissance économique que celle observée historiquement dans les pays industriels, c'est-à-dire avec une progression similaire des usages de l'énergie et des comportements de consommation. L'étude VLEEM montre toutefois que les contraintes climatiques et les contraintes de ressources ne pourront être surmontées qu'au prix d'un renforcement considérable de l'efficacité des techniques avec laquelle l'énergie devra être utilisée : bâtiments neufs très bien isolés, véhicules automobiles très performants, etc.

Le problème de l'effet de serre apparaît évidemment crucial dans le maintien du paradigme fossile. Pour qu'il soit effectivement réglé, deux conditions, étroitement liées, s'imposent :

- un développement massif des vecteurs énergétiques secondaires non carbonés (électricité, hydrogène) dans les usages finals, lequel est cohérent avec l'évolution de la structure des besoins de services énergétiques, mais qui entre en contradiction avec la logique interne du paradigme fossile, et qui de surcroît, génère des pertes de transformation considérables dans le système énergétique (rendement de Carnot) ;
- la maîtrise complète, technique, économique, sociale, de la capture-sequestration du CO² produit par les grandes installations de combustion et les équipements de transformation des énergies, dont l'importance ira croissante avec le recours aux vecteurs non carbonés.

La figure ci-contre montre, pour l'Europe, les exigences d'un maintien de ce paradigme fossile : stabiliser la consommation d'énergie primaire à partir de 2020, malgré l'accroissement du PIB moyen par habitant et malgré l'augmentation des pertes de transformation ; importer des quantités considérables de charbon pour satisfaire les deux tiers de la consommation primaire ; capturer et stocker de l'ordre de 4,5 milliards de tonnes de CO² par an en 2100, soit les deux tiers des émissions totales à cette date. Ces chiffres permettent de saisir l'ampleur des défis à relever dans le maintien du paradigme fossile, pour éviter les catastrophes climatiques, et pour assurer la logistique d'ensemble d'un système où le charbon est omniprésent : transport maritime, infrastructures portuaires, localisation des centrales électriques, etc.

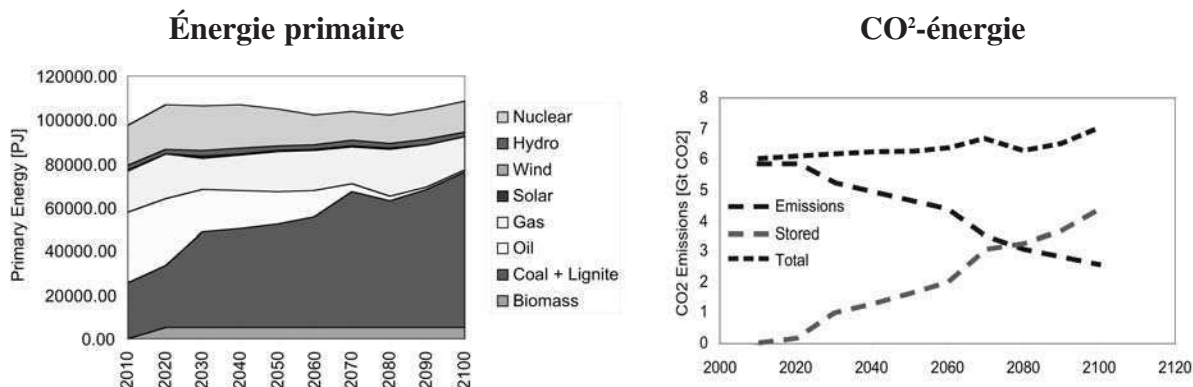
Les attributs d'un paradigme « fossiles » soutenable

Effet de serre : baisse de 10 % tous les 10 ans des émissions de GES, à partir de 2010 pour les pays industriels ; même rythme de baisse pour les PVD, mais seulement après qu'ils aient atteint le niveau moyen de PIB par habitant des pays industriels en 1990 ; la concentration de GES dans l'atmosphère devrait ainsi se stabiliser à moins de 650 ppmv d'équivalent CO².

Capture-séquestration du CO² : moyen majeur pour parvenir à l'objectif de réduction des émissions de CO², supposant la maîtrise du stockage en aquifère profond à des coûts acceptables. 60 % des émissions de CO² sont capturées et stockées.

Ressources fossiles : les PVD, comme les pays industriels, ont un recours de plus en plus important au charbon, jusqu'à 70 % de la consommation primaire d'énergie, sans contrainte sur les ressources disponibles, à un coût d'accès acceptable.

Énergie primaire et CO²-énergie de l'Europe dans un paradigme fossile « soutenable »



Source : www.VLEEM.org, rapport final phase 2

Quel devenir pour un paradigme nucléaire ?

L'émergence d'un nouveau paradigme, fondé sur le nucléaire, pourrait être une des conséquences possibles d'un recours massif à des vecteurs énergétiques non carbonés, électricité, hydrogène, chaleur. S'il permettait de produire ces vecteurs en abondance, dans des conditions économiques compétitives et avec des conditions d'acceptabilité suffisantes, le nucléaire, pourrait progressivement « chasser » les combustibles fossiles de tous les usages grâce à des technologies spécifiques (pile à combustible par exemple) susceptibles d'induire des comportements spécifiques (voiture urbaine mono-fonction par exemple). On cesserait progressivement d'utiliser les fossiles, non pas faute de ressources, mais simplement parce qu'on en aurait de moins en moins besoin (l'âge de pierre ne s'est pas achevé faute de pierres...).

Un basculement de paradigme en faveur du nucléaire est effectivement envisageable dans les pays industriels, au problème près des ressources mondiales d'uranium dans la technologie actuelle. En revanche, on en est encore très loin dans la plupart des pays en développement, qui rappelons le, deviendront vite dominants sur la scène énergétique mondiale. Non pas faute de compétences et de ressources, mais parce qu'il faudra encore de nombreuses décennies avant que ne soient maîtrisées, sur le plan technique et économique, des filières nucléaires suffisamment sûres, efficaces et non proliférantes, pour pouvoir s'étendre à l'ensemble de la planète sans engendrer de syndrome « iranien » ou « coréen ». Et parce que le caractère très capitalistique du nucléaire en fait un mauvais candidat pour les pays en mal de capacités financières (*voir article « SUNBURN » dans ce numéro*).

Plus largement, le caractère centralisé et très capitalistique du nucléaire pourrait avoir des conséquences globalement préjudiciables au regard des critères de soutenabilité. En effet, plus les coûts d'investissement par kW dans un système centralisé sont élevés, plus la pression est forte pour amortir ces investissements sur un grand nombre de kWh vendus, et plus il y a de conflit d'intérêt avec la maîtrise des consommations. Deux raisons essentielles à cela :

- la recherche de prix de revient de la production d'électricité et d'hydrogène les plus bas possibles du fait de la concurrence avec les autres énergies, et donc une influence baissière sur les prix aux consommateurs finals,
- la vigueur commerciale pour placer le plus grand nombre de kWh possible, condition de la baisse des prix de revient.

Un tel conflit d'intérêt serait d'autant plus exacerbé dans le cadre d'une libéralisation complète du secteur électrique, la logique financière obligeant à choisir d'abord en faveur de la compétitivité et de la baisse des prix de revient.

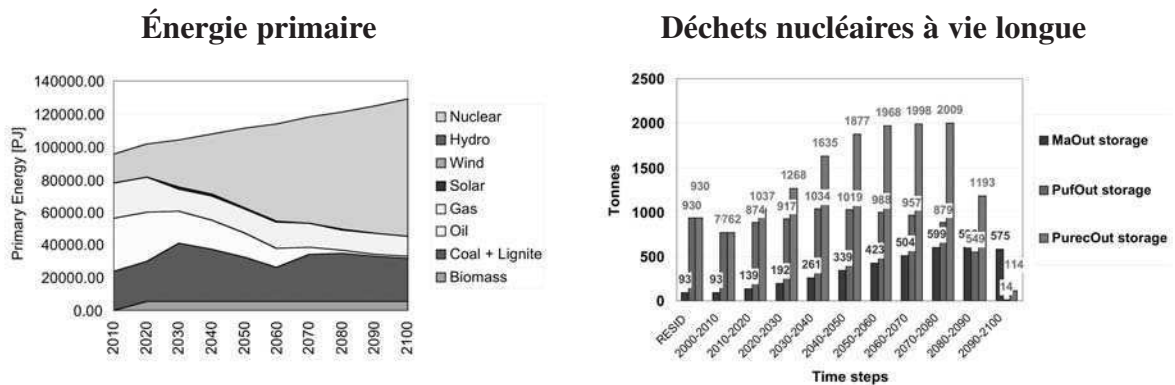
Mais en quoi la croissance de la demande de vecteurs énergétiques non carbonés pose-t-elle un problème si l'on dispose d'énergie nucléaire en abondance ?

Limitons-nous ici à la question de l'effet de serre. Le problème vient de ce que le nucléaire ne peut pas fournir, en tout état de cause, la totalité de l'électricité et de l'hydrogène demandés : parce que les possibilités de stockage de ces énergies sont limitées, parce que le nucléaire a une faible modularité, et parce que, pour rester compétitif, il lui faut un facteur d'utilisation important, correspondant à la demande « en base » (autour de 50-60 % de la demande électrique). Plus la demande d'électricité et d'hydrogène est importante, plus il faut recourir à des combustibles fossiles pour combler les demandes que le nucléaire ne peut couvrir. Produire avec les fossiles, les 40 % restant (compte tenu de l'hydraulique) d'une demande deux fois plus élevée du fait du paradigme nucléaire, reviendrait au

même, au regard des émissions de CO², que de produire, avec ces mêmes fossiles, 80 % d'une demande d'électricité deux fois moins élevée.

La figure ci-dessous montre les conséquences et les enjeux d'un paradigme nucléaire durable, c'est-à-dire où la question des déchets nucléaires à vie longue finit par être résolue par leur élimination et non par leur stockage, et où se développent des filières nucléaires intrinsèquement sûres et non proliférantes. Cette figure illustre en particulier un point évoqué ci-dessus, à savoir l'effet d'entraînement du nucléaire sur le volume de la consommation primaire, malgré de forts gains d'efficacité dans les usages, principalement du fait des pertes de transformation dans la production d'électricité nucléaire. À satisfaction identique des besoins, la consommation d'énergie primaire serait ainsi près de 30 % supérieure à celle atteinte en 2100 dans le paradigme fossile « soutenable ».

Énergie primaire et déchets nucléaires de l'Europe dans un paradigme nucléaire « soutenable »



Source : www.VLEEM.org, rapport final phase 2

Un paradigme « renouvelables » est-il crédible ?

Pour Marc Jaccard, avocat de la cause des fossiles, les renouvelables constituent probablement l'option alternative aux fossiles la plus sérieuse comme élément central d'un nouveau paradigme, surtout dans l'optique du développement durable.

Comme pour le nucléaire, l'émergence d'un paradigme renouvelables pourrait s'ancrer dans un recours massif à des vecteurs énergétiques non carbonés, et faire fond simultanément dans la maîtrise de l'énergie solaire. Celle-ci est en effet susceptible d'induire un bouleversement complet dans la conception des bâtiments et de leur équipement énergétique, faisant de ceux-ci des ensembles autonomes ou interagissant entre eux au sein de micro-réseaux locaux (concept de bâtiment à énergie positive en France, label suisse « Minergie », maison du futur au Japon, etc.). Là encore, les transformations techniques, organisationnelles et comportementales en jeu pourraient reléguer les fossiles au deuxième plan.

Si elles sont effectivement très abondantes, inépuisables, très bien réparties sur la terre, les énergies renouvelables se heurtent toutefois à un paradoxe fondamental : leur caractère le plus souvent diffus et intermittent, voire aléatoire (hormis la biomasse), face à des besoins de plus en plus concentrés, avec des exigences de qualité croissantes. Ce paradoxe a un coût, aujourd'hui parfois exorbitant : il faut utiliser beaucoup d'espace, concentrer fortement l'énergie, développer des moyens de stockage onéreux, mettre en place des « back-up ». Pour ce qui est de la production centralisée de vecteurs énergétiques non carbonés, nous sommes aujourd'hui encore loin de la compétitivité, tout au moins si l'on voulait remplacer massivement les fossiles (c'est-à-dire si l'on voulait aller bien au-delà du potentiel éolien et hydraulique exploitable à proximité).

Un paradigme renouvelables suppose donc un développement de technologies, de modes d'organisation et de comportements qui :

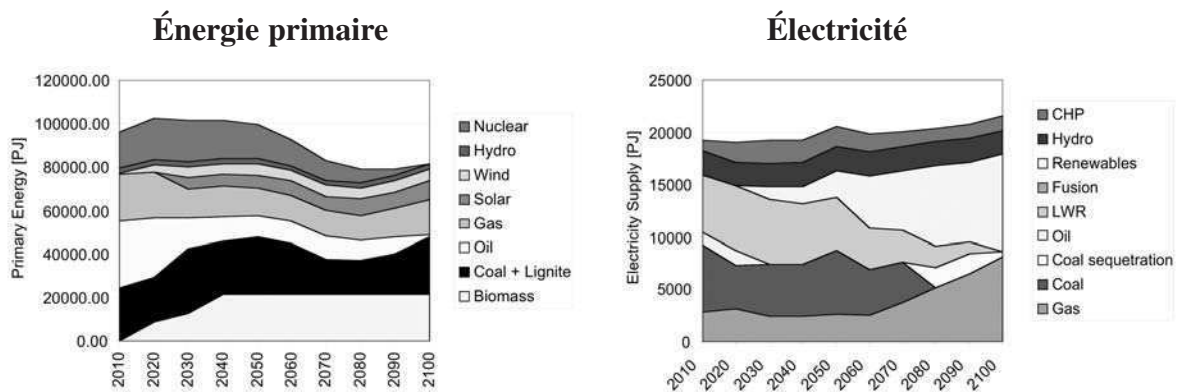
- permettent de retrouver, au niveau des services énergétiques, des conditions de compétitivité difficiles à remplir au niveau d'une production centralisée à grande échelle ;
- limitent le recours à la production centralisée à un niveau compatible avec les potentiels hydrauliques, éoliens et biomasse de proximité.

Comme le montre l'étude VLEEM, dans un tel paradigme, la croissance de la demande d'énergie commerciale serait beaucoup plus faible que celle des besoins de services énergétiques, c'est-à-dire à des niveaux compatibles avec l'ensemble des potentiels solaires, hydrauliques, éoliens et biomasse respectueux de l'usage des sols.

Le coût d'un basculement du paradigme actuel vers un paradigme renouvelable sera d'autant plus élevé que les infrastructures en place, bâtiments, transports, plates-formes industrielles, seront développées, et que les besoins d'infrastructures nouvelles seront limités. Par chance, c'est généralement la situation inverse qui prévaut dans la plupart des pays en développement. Il n'est pas interdit d'imaginer de ce point de vue, que de grands pays émergents comme la Chine, l'Inde ou le Brésil soient parmi les premiers à « sauter le pas ». Ils ont effectivement des marchés intérieurs suffisamment vastes et des potentiels industriel, financier et intellectuel suffisamment développés, pour prendre un leadership mondial dans la production de technologies et de systèmes intégrés conçus spécifiquement pour maximiser la captation et l'utilisation des énergies renouvelables à des coûts compétitifs pour l'utilisateur final.

La figure ci-dessous montre les exigences d'un paradigme « renouvelables » : un plafonnement de la consommation d'énergie primaire à partir de 2020, suivi d'une baisse pour atteindre en 2100 un niveau de 20 % inférieur à celui de 2020 ; un rôle considérable de la biomasse (25 % en 2100) ; la moitié de l'électricité produite à partir des renouvelables en 2100. Pour un même niveau de satisfaction de services énergétiques identiques, il faudrait, dans le paradigme fossile « soutenable », 35 % d'énergie primaire en plus en 2100 que dans le paradigme renouvelable, et dans le paradigme nucléaire « soutenable », 60 % d'énergie primaire en plus.

Énergie primaire et électricité de l'Europe dans un paradigme renouvelables « soutenable »



Source : www.VLEEM.org, rapport final phase 2