

CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉNERGIE

Dominique Meeùs, 14-11-2012

Principales sources

Énergies « renouvelables »

L'énergie ne se renouvelle pas d'elle-même, elle se transforme et l'expression énergie renouvelable est, à strictement parler, impropre, mais cependant justifiée. Cela vise en réalité les sources dont les limites dans le temps sont nettement plus lointaines que les limites d'autres sources qui commencent à se tarir.

Un certain type d'énergie renouvelable consiste en la consommation d'une ressource extérieure (donc pas un prélèvement sur notre environnement terrestre), venant du Soleil, directement (rayonnement) ou presque (vent). Il s'agit de grandes quantités et comme le Soleil durera plus longtemps que nous, on peut considérer ces sources comme illimitées. Le Soleil nous les renouvelle à chaque instant et il est légitime de les qualifier de « renouvelables pour nous », bien que cela émane d'un Soleil qui en soi n'est pas plus renouvelable qu'autre chose.

Un autre type d'énergie venant, comme le vent, indirectement du Soleil est le cycle de l'eau. L'énergie hydraulique de pluie (donc de rivière, etc.) est, comme le vent, « renouvelable pour nous », mais beaucoup plus limitée en quantité utilisable. Les vagues et autres mouvements d'eau provoqués par le vent et par les marées dues au Soleil et à la Lune sont des sources d'énergie plus abondantes mais encore mal maîtrisées.

La chaleur de la Terre, en partie héritée de l'histoire de sa formation, en partie provoquée par la désintégration de noyaux atomiques¹, n'est pas comme le rayonnement solaire un apport extérieur, mais est également abondante et pratiquement illimitée dans le temps. Elle est moins facile à récupérer. En outre, on refroidit le site de prélèvement, qui ne va être réchauffé que lentement ; les roches sont peu conductrices. C'est donc, paradoxalement, renouvelable seulement dans la mesure où on ne l'utilise pas (sauf sites très privilégiés). Bref, c'est un abus d'appeler ça renouvelable.

Énergie nucléaire

On utilise l'énergie de fission de noyaux d'atomes venant de ressources minérales finies, non renouvelables. Les quantités mises en œuvre sont assez petites². La raréfaction dépend de la prospection (comme on n'en utilise que très peu, on prospecte peu donc les réserves sont mal connues) et de l'évolution de la technologie parce que les technologies les plus récentes (troisième génération) optimisent l'usage de la matière fissile et en font une source de long terme, tandis que de nouvelles technologies (quatrième génération) permettraient d'utiliser des substances plus variées et, entre autres, une grande partie des actuels déchets accumulés. Il s'agirait alors d'une source pratiquement illimitée.

La fusion est encore très éloignée d'une réalisation industrielle. Si on y arrive, ce serait une source beaucoup plus abondante encore et pratiquement illimitée dans le temps.

Combustibles fossiles

Il s'agit de biomasse fossilisée, en quantité finie et dont la raréfaction se fait déjà sentir. Il faut mettre en œuvre d'énormes quantités³, qui génèrent donc nécessairement une énorme pollution. Les rendements sont variables et les rejets aussi. Les rejets peuvent varier du simple au double entre gaz dans des centrales performantes et centrales à charbon, mais sont de toute manière considérables.

(La combustion de biomasse non fossilisée n'est pas moins polluante, mais on argue de ce qu'elle fait partie d'un cycle de CO₂ qui compense les rejets. La végétation absorbe du CO₂ et le

¹ Il s'agit donc d'énergie nucléaire de fission. Dans des corps célestes beaucoup plus gros, comme le Soleil, l'énergie provient de la fusion nucléaire. La Terre est trop petite, trop légère, pour connaître de la fusion naturelle, même en son cœur.

² Voir en annexe la question de la quantité de matière mise en œuvre en combustion et en fission.

³ Voir note 2.

rejette un jour ou l'autre. La combustion de la biomasse produit un rejet massif immédiat, dont le bilan, par comparaison à ce qu'elle serait devenue sans combustion, est très délicat à calculer. Pour cette raison⁴, cela semble devoir rester une source très marginale, dont je ne parlerai donc pas, ce qui ne veut pas dire que ça ne présente aucun intérêt. La combustion indirecte, sous forme de méthane ou d'alcool, pose des problèmes semblables.)

Tendance globale

Certaines économies d'énergie sont possibles, dans les pays riches en réduisant des gaspillages ou un mode de consommation inapproprié, dans tous les pays par une plus grande efficacité dans la production et dans la consommation. Par contre, la plus grande partie du monde étant pauvre, et la population des pays dits riches étant relativement pauvre aussi, il y a de grands besoins non satisfaits. Même si elle se fait de manière plus efficace, la satisfaction des besoins conduit à une importante augmentation globale de la consommation d'énergie. Le plaidoyer pour l'économie d'énergie est utile et respectable. Il n'est pas la solution aux problèmes de l'humanité.

Formes d'utilisation de l'énergie

Part croissante de l'électricité

D'une part les ressources consommables directement (divers combustibles, pétrole dans le transport...) se raréfient, d'autre part certaines sources d'énergie se prêtent mieux à la production d'électricité qu'à l'utilisation d'énergie directement sous d'autres formes : nucléaire, renouvelables. En outre, la raréfaction des combustibles pourrait conduire à utiliser de plus en plus d'hydrogène produit par électrolyse. Pour ces raisons, la part de l'électricité dans le total de l'énergie va augmenter très fortement. Par exemple, on devrait favoriser le transport en commun électrique (trains, métro, trams) au détriment d'autres formes (avions, camions, voitures...) et celles-ci seraient aussi de plus en plus électriques (batteries électriques ou cellules à hydrogène d'origine électrique...). Il est donc normal qu'une grande partie des réflexions sur l'énergie portent sur la génération d'électricité. On ne doit cependant pas perdre de vue que l'électricité ne représente qu'une forme intermédiaire et une partie des formes de consommation d'énergie.

Chaleur

Une grande partie des combustibles sert à produire de la chaleur : cuisine, chauffage, processus industriels... Dans les autos et camions, les avions, les fusées... la chaleur est transformée en mouvement sans passer par l'électricité. Mais la combustion doit être abandonnée le plus vite et le plus complètement possible en raison de son incidence sur le climat et de la raréfaction des combustibles.

Les réacteurs nucléaires, la géothermie et les centrales concentrant des rayons solaires peuvent fournir de la chaleur utilisée comme telle, sans passer par l'électricité. On utilise de même des panneaux solaires thermiques.

Mouvement

Les énergies éolienne et hydraulique peuvent être utilisées directement comme force motrice sans passer par l'électricité. (Comme les moulins à vent dans le passé.) On peut avoir par exemple des pompes éoliennes ou actionnées par les vagues ou les marées.

Économie et environnement, stock et flux

Il y a deux composantes à considérer dans le coût (tant économique qu'environnemental) de l'énergie :

- la capacité de production installée (investissement) ;
- la consommation (combustible, entretien...)

Il n'y a pas d'énergie gratuite, même si certaines sources le sont. Les deux composantes sont

⁴ Toute biomasse brûlée constitue un problème de pollution. Si en outre il ne s'agit pas de déchets mais de culture dédiée à la biomasse, cela entre en concurrence avec l'alimentation.

une dépense de travail et de ressources naturelles, donc un prélèvement sur l'environnement, et peuvent s'accompagner d'un rejet, qui peut causer une pollution de l'environnement.

Le coût en capital d'une production d'énergie n'a pas qu'un impact financier. Ce coût est constitué de la valeur de force de travail, et pas de prélèvement sur l'environnement. Cependant toute richesse vient d'un travail effectué sur des ressources naturelles. Ainsi le coût, bien qu'il n'ait aucune composante en ressources naturelles, est l'indice d'un prélèvement sur l'environnement. Un capital plus grand est généralement le signe d'une plus grosse pression sur l'environnement. La question des prélèvements de ressources est fondamentale en écologie. Notre environnement n'a le plus souvent que peu ou pas du tout de moyen de régénérer ce qu'on lui a pris. (À cause de la menace climatique, on l'oublie parfois en ne considérant que le rejet.)

La pollution, si elle n'est pas le seul problème, est bien sûr un problème important. Parmi les nombreux problèmes de pollution, un problème central aujourd'hui est le rejet de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique qui en résulte.

Pour des ressources intermittentes, il faut multiplier la puissance nominale (et donc le capital) pour obtenir la capacité réelle. Il faut en outre souvent y joindre des investissements de back-up, de de stockage, de réseau à grande capacité et à longue distance. C'est donc un aspect négatif des énergies renouvelables du point de vue de l'environnement.

Il serait intéressant de quantifier plus précisément l'investissement pour les différentes manières de produire l'électricité en prix (capital⁵) en en volume (combien de fer, de ciment⁶, de cuivre, d'énergie...)

Études des différents scénarios

Il ne semble pas qu'il existe de scénarios opérationnels même à long terme pour n'utiliser que des énergies renouvelables. Le scénario le plus connu dans le genre est celui de Delucchi et Jacobson (2011). C'est plutôt un exercice de pensée, un scénario limite, mais qui a l'intérêt de susciter la réflexion. Quoiqu'il en soit, si même un scénario exclusivement renouvelable était possible à terme, il faudrait encore en transition à court et moyen terme une combinaison avec une autre source d'énergie.

Bien qu'il n'y ait pas de lien logique, il y a souvent un lien idéologique fort entre la préoccupation pour le climat, la promotion des énergies renouvelables et la condamnation de l'énergie nucléaire. Cela mène au scénario paradoxal éolien + solaire + gaz qui maintient un rejet relativement important de CO₂ et pousse à l'exploitation de sources de gaz plus difficiles⁷.

Il faut une évaluation matérialiste de la dangerosité du nucléaire⁸ et de la possibilité de contrôler cette dangerosité, tant avec les modèles de réacteurs effectivement proposés aujourd'hui qu'avec ceux de la quatrième génération en développement. Une combinaison éolien + solaire + nucléaire serait nettement plus favorable pour le climat. Renoncer au nucléaire peut avoir des conséquences graves en favorisant la continuation ou l'augmentation de la combustion de charbon et de gaz. Il n'est pas permis de se prononcer à ce sujet a priori, sans faire d'étude. De grands pays

⁵ Début octobre 2012, on a inauguré en fanfare une installation photovoltaïque sur le toit du bâtiment TIR du port de Bruxelles, de 2,2 millions d'euros pour 1,2 MW nominal. On annonce environ 0,11 MW effectif (970 MWh par an). (En Belgique, l'ensoleillement réel est inférieur au dixième de l'idéal théorique.) Cela fait environ 20 millions d'euros le MW effectif.

Le coût en capital du MW de capacité nominale tourne autour de 2 millions d'euros pour le nucléaire, l'éolien et le photovoltaïque (le gaz, plus cher à l'usage, est moins cher en investissement). Si, pour tenir compte de la disponibilité réelle et des aménagements de réseau, il faut multiplier l'investissement par quatre pour l'éolien et peut-être par dix (port de Bruxelles) pour le photovoltaïque, on a un très gros problème écologique, en défaveur du renouvelable.

⁶ La fondation d'une éolienne de 2,5 MW demande 400 m³ de béton selon <http://eolien.be/node/34>. En gros c'est l'équivalent d'un terrain de tennis en béton d'un mètre d'épaisseur. Ça doit être une saleté à évacuer en fin de vie de la machine.

⁷ Paradoxalement, les promoteurs de tels scénarios impliquant un important recours au gaz (parce qu'un peu moins polluant que le charbon, relativement) sont souvent aussi (par un lien de nouveau plus idéologique que rationnel) pour l'interdiction de la recherche de sources nouvelles de gaz, alors que les sources conventionnelles diminuent.

⁸ Il semble que, même entre les mains du privé, cela reste l'industrie la moins dangereuse en proportion de la production. Il vaudrait mieux, bien sûr, que ce soit un service public.

qui ont de grands besoins d'énergie, et des besoins croissants, comme la Chine et l'Inde installent des capacités nucléaires et renouvelables (outre les combustibles classiques) et on peut penser qu'eux au moins y ont un peu réfléchi avant de décider.

Coût de l'électricité

Le coût de l'électricité pour l'avenir dans divers scénarios doit être calculé. Il faut ensuite porter un jugement au regard de l'objectif de préserver le climat. Le risque climatique ne dispense pas de juger le coût. En effet, ce que l'on consacre à l'électricité est perdu pour autre chose. À un problème matériel, on ne peut pas donner une réponse éthique comme « rien n'est trop cher pour le climat ».

Annexe : matière et énergie

Selon la relativité restreinte d'Einstein (et on a aujourd'hui de bonnes raisons de penser que c'est ainsi que le monde est fait), la masse tire son origine de l'énergie par la relation $m = E/c^2$. Un certain nombre de processus physiques (dont certaines fusions ou fissions nucléaires) ou chimiques (comme la combustion) s'accompagnent d'une perte de matière⁹, d'où une restitution d'énergie.

La fission transforme un pour mille de la matière en énergie. L'énergie obtenue est de l'ordre d'au moins dix millions de fois plus¹⁰ par unité de masse mise en œuvre que dans le cas de la combustion. La masse transformée en énergie est, même ici, relativement petite, et donc presque tout est déchet. Cependant, la fission est de l'ordre d'au moins un million de fois moins polluante en poids que la combustion.

Quand on brûle un million de tonnes¹¹ de carbone (comme du charbon)¹², on produit essentiellement un peu plus de trois millions et demi de tonnes de pollution ; en fait *tout* est pollution, *sauf un tiers de kilo* de cette masse transformée en énergie¹³. On ne peut s'empêcher de penser que c'est remuer beaucoup de millions de tonnes pour peu de chose. Chaque million de tonnes de gaz brûlé¹⁴ entraîne le rejet de cinq millions de tonnes : « seulement » 2,75 millions de tonnes de CO₂, mais avec 2,25 millions de tonnes de vapeur d'eau.

9 Dans d'autres processus, il y a gain de matière, parce que consommation d'énergie.

10 On trouve ce facteur de dix millions ou plus en http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission#Output. Le même article mentionne que 0,1 % de la matière est transformée en énergie. Soit 10^{-3} , contre les 10^{-10} que j'ai calculés pour la combustion. (Mais rien n'est plus facile que de se tromper d'un zéro en trop ou en trop peu. En tout cas, c'est beaucoup.)

11 Une seule centrale de 1 GW consomme deux millions et demi de tonnes par an.

12 En tonnes, $(16 + 16) / 12 = 2,666...$ La tonne de charbon, avec l'oxygène comburant prélevé dans l'air, donne donc 3,666... tonnes de pollution.

13 Dans la formation de CO₂, il y a une perte (libération) d'énergie de $-393,5$ kJ/mol. Ce gaz pèse 0,04401 kg/mol, ce qui fait une perte de 8 940,15 kJ/kg. Un Joule c'est $1 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$. La masse transformée en énergie ($m = E/c^2$), la vitesse de la lumière étant de 299 792 458 m/s, fait $9,5 \times 10^{-11}$, en gros 10^{-10} fois la matière mise en œuvre dans cette réaction.

Pour une tonne de charbon (assimilé à du carbone), soit 3,666... tonnes de matières, la perte de matière transformée en énergie est de 0,000 365 g, un bon tiers de milligramme.

Ceci, c'est pour donner l'ordre de grandeur. Le combustible est rarement du carbone pur. La combustion du méthane (gaz naturel) est deux fois plus énergétique.

14 Énergie : -891 kJ/mol (<http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thane>). On a plus d'énergie qu'avec le charbon (donc moins de pollution à quantité égale d'énergie) et le rejet n'est pas seulement du CO₂, mais aussi de la vapeur d'eau, dont l'effet de serre est important, mais la durée de vie peut être moindre.