

Sécurité d’approvisionnement en électricité, et accès à long terme aux sources d’énergie primaire

Prof.dr. Aviel Verbruggen, UA
Février 2009

Sommaire

Introduction.....	1
Partie A: Cadre d’analyse de cette étude.....	2
La notion de “sécurité d’approvisionnement”.....	2
Électricité et sécurité d’approvisionnement.....	2
Cadre dans lequel les moyens de production électriques fonctionnent.....	4
Partie B: Sécurité d’approvisionnement au moyen d’inputs pour la production d’électricité.....	7
Disponibilités en gaz naturel à moyen et à long terme.....	8
Le rôle de l’énergie atomique et les réserves d’uranium.....	15
Épilogue: Politique de climat et d’énergie: système de taxes en tant qu’élément indispensable.....	17
Bibliographie.....	19

Introduction

Cette courte note traite de la question de la sécurité d’approvisionnement en électricité à moyen et à long terme. Les notions les plus importantes et le cadre d’analyse du sujet sont évoqués dans la partie A. Cette dernière est assez condensée, mais s’avère nécessaire afin de mieux cadrer certaines constatations abordées dans la partie B, et de les rendre plus compréhensibles.

La partie B se concentre sur la sécurité d’approvisionnement de sources d’énergie qui sont converties en électricité et qui pourraient poser problème à la Belgique. En raison de la dernière restriction, nous n’accordons d’attention qu’au gaz naturel et à l’uranium. La discussion est placée dans un contexte de processus décisionnel qui oblige les présentes menaces agissant sur le changement climatique à prendre des mesures urgentes et drastiques au niveau de l’énergie / de l’économie. Ce contexte place sous un tout autre jour certains aspects de pénuries, de risques, d’incompatibilités, de lock-in, etc., qui modifient la notion de sécurité d’approvisionnement en électricité.

Partie A: Cadre d'analyse de cette étude

La notion de “sécurité d’approvisionnement”

Comme l’étude prospective le démontre, le terme de “sécurité d’approvisionnement” n’est pas défini univoquement. Au sens large du terme, la sécurité d’approvisionnement est une expression pour “la disponibilité d’une source d’énergie destinée au consommateur final à un prix démocratique”. (EU CEC. COM(2008) 769 final, p.3). Afin de rendre cette notion plus concrète, il faut tenir compte de beaucoup de facteurs, tels que:

- Les échéances dans lesquelles vaut la disponibilité, tels que:
 - Très court terme ou interruption de courte durée des livraisons;
 - Court terme de quelques jours à maximum plusieurs semaines durant lesquels les systèmes d’urgence peuvent assurer une disponibilité partielle;
 - Le moyen terme, depuis le court terme jusqu’à la période où de nouveaux investissements puissent générer une situation d’approvisionnement appropriée;
 - Le long terme, durant lequel l’approvisionnement est dépendant des réserves physiques disponibles et exploitées (carburants fossiles; uranium) ou de l’électricité naturel (sources renouvelables) et des investissements ou des rapports institutionnels engendrés (contrats, accords de coopérations, dispositions légales, traités internationaux).
- Les caractéristiques technico-économiques de la source d’énergie en question, liées à un éventail spécifique de facteurs qui en influence l’approvisionnement à un certain prix. Lors de la discussions, il est souhaitable qu’une différence soit faite entre l’électricité, le gaz naturel, les charbons et l’uranium. Comme le démontre l’étude prospective, l’importance du pétrole brut dans la production d’électricité est devenue insignifiante, et c’est pour cette raison que cette source d’énergie n’est plus étudiée dans cette mesure. Mais il existe des liens indirects entre le pétrole brut et d’autres sources d’énergie, comme il apparaîtra plus loin dans cette note.

La complexité de la notion de sécurité d’approvisionnement a pour cause que les pays de l’UE utilisent différentes définitions, par exemple pour définir une interruption partielle dans l’approvisionnement en gaz. Les États membres utilisent des seuils allant de 10% à 30% de la consommation moyenne de gaz ainsi que des délais allant de 2 jours à 6 mois (EU CEC. COM(2008) 769 final, p.5).

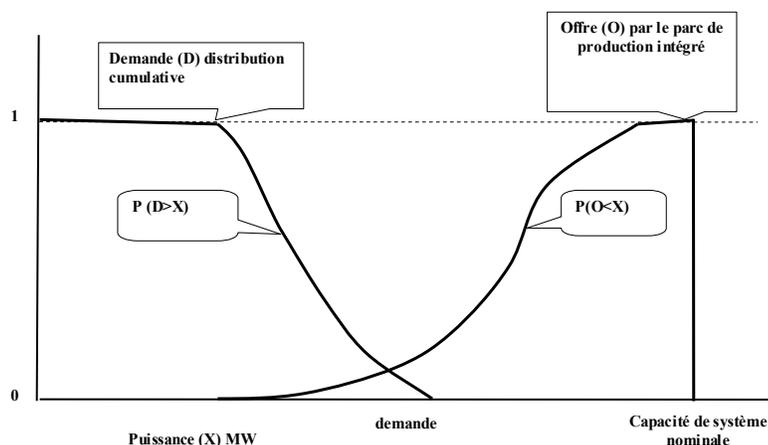
Électricité et sécurité d’approvisionnement

L’électricité est une forme d’énergie secondaire non stockable qui est quasi instantanément convertie par d’autres sources d’énergie. Ceci nécessite des commodités spécifiques afin de garantir un degré de sécurité suffisant (dans les pays riches, “suffisant” signifie de facto “haut”) dans l’approvisionnement à très court et à court

terme. Ceci n'est pas l'objet de l'étude, car celui-ci se concentre sur le moyen terme, mais il existe des points de discordance entre les certitudes concernant ces quatre termes. Si la perspective temporelle inclut aussi de nouveaux investissements importants en capacité, alors le moyen et le long terme se chevauchent.

Lors de la planification des parcs de production d'électricité, nous élaborons des normes de sécurité de livraison telles que LOLP, LOLE et des combinaisons des deux. Le graphique 1 démontre que ces normes sont dépendantes de la relation mutuelle entre deux distributions cumulatives: celle de la demande (la courbe de la durée de la charge) et celle de l'offre (la convolution de la distribution cumulative de la disponibilité des capacités de production présentes dans le futur). La partie chevauchante entre les deux distributions cumulatives donne un aperçu de la sécurité d'approvisionnement: plus grande est la surface de chevauchement, plus grande sera la possibilité d'une interruption dans la livraison. Il apparaît ici comment des glissements dans la future demande en électricité (tant en ampleur qu'en structure) peut influencer la sécurité d'approvisionnement. Afin d'avoir une vue d'ensemble de cette sécurité, il paraît plus important d'analyser la question, ses déterminants (aussi durant les prochaines années de politique climatique renforcée) et les moyens pour cibler cette question, que de faire une fixation sur l'offre.

Figure 1: Sécurité d'approvisionnement en électricité: résultat de la demande en électricité par rapport à l'offre d'un parc de production intégré.



Lors de l'étude de sécurité d'approvisionnement que chaque pays européen effectue sur son territoire et portant sur la situation de la demande nationale en électricité, beaucoup de remarques sont à apporter :

- De plus en plus d'éléments du système électrique européen se transforment en systèmes régionaux, nationaux et internationaux, entre-autre grâce aux encouragements soutenus de la Commission européenne dans son ambition de créer un système interne d'électricité. C'est aussi le cas pour la Belgique, qui est

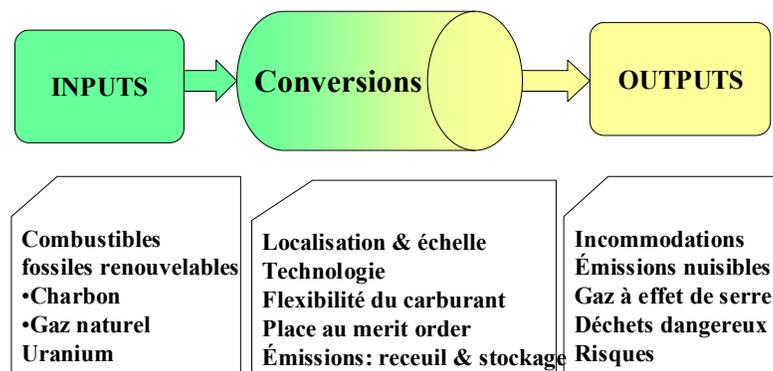
aussi favorisée par sa situation géographique et par la reprise du plus grand producteur d'électricité sur le territoire belge par un groupe français aux investissements internationaux.

- La plupart des interruptions dans l'accès à l'électricité qui touchent le consommateur final ne sont pas dues à un manque de capacité de production, mais bien à des défauts et à des accidents dans les réseaux de distribution ou dans les transformateurs. Cette problématique reçoit de plus en plus d'attention, notamment grâce à la croissance des moyens de production locaux et variables, qui imposent des exigences supplémentaires à ces réseaux.
- Le fonctionnement des moyens de production électriques ont lieu dans un cadre plus large que celui de la central technique même (voir ci-après).

Cadre dans lequel les moyens de production électriques fonctionnent

La figure 2 schématise les trois principales composantes importantes pour la sécurité d'approvisionnement en électricité à moyen et à long terme. Le schéma est basé sur le trio élémentaire "inputs – conversions – outputs". La transformation d'énergie et de matières d'inputs en outputs est dominée par les lois de la thermodynamique

Figure 2: Modèle de système de production d'électricité en explication des composantes qui influencent la sécurité d'approvisionnement

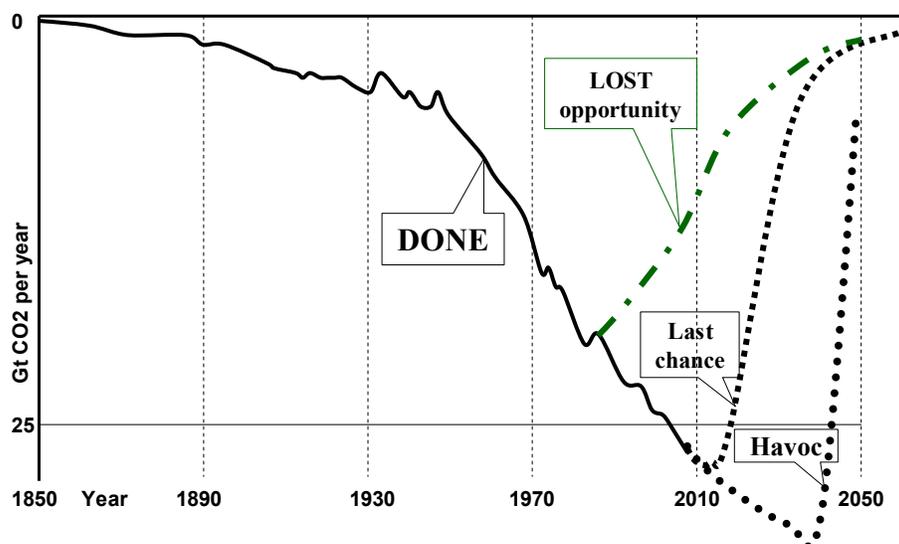


Avant d'expliquer plus en détail l'approvisionnement des plus importants inputs d'uranium et de gaz naturel de la Belgique, il est nécessaire de commenter la relation des composantes entre elles. L'impact d'un certain facteur d'input sur la sécurité d'approvisionnement peut fortement varier selon la méthode de conversion utilisée, et surtout lors de l'évaluation des effets, impacts et conséquences de certains facteurs d'output. Certains de ces éléments sont aussi sensibles à des changements significatifs durant les prochaines années.

Exemples:

- De nouveaux moyens de production d'électricité peuvent, à l'avenir, surtout comprendre davantage de groupes plus petits et décentralisés (production combinée chaleur-électricité, énergie renouvelable). Ces groupes sont plus dépendants de la configuration du réseau, et leur production se destine majoritairement à la Belgique, et dans une moindre mesure ou pas du tout à l'exportation. Grâce la loi des grands nombres, une puissance basée sur un grand nombre de petites unités indépendantes offre plus de sécurité d'approvisionnement que cette même puissance rassemblée en une seule unité.
- La nature des technologies utilisées et des formes d'énergie d'input sont étroitement liées au point précédent. Des puissances variables et intermittentes offrent moins de sécurité d'approvisionnement que les moyens de production que l'opérateur peut envoyer et moduler sur la base des réserves d'énergie disponibles.
- Un point crucial pour l'avenir, est la considération et le comportement que les pays riches industrialisés tiendront face au troisième volet du trio des "inputs – conversions – outputs", et plus particulièrement en ce qui concerne les risques de changements climatiques ainsi que l'utilisation et la diffusion de la technologie atomique. Les possibilités technologico-industrielles des technologies de conversion pour anticiper et répondre à ces risques, forment un feedback qui aidera à déterminer l'acceptation de ces technologies dans le futur. Ainsi, la technique de captage et de stockage de dioxyde de carbone peut perpétuer l'utilisation de carburants fossiles pour la production d'électricité. La réduction des risques de l'énergie atomique sous le niveau de risques assurables acceptés par un secteur des assurances mondial, structuré et solide financièrement, diminuera les réticences envers la technologie nucléaire.

Figure 3: émissions de CO₂ dans l'atmosphère, comprenant 3 scénarios: Lost opportunity en 1979-84; Last chance 2009-14; Havoc en cas de report. {courbe DONE basée sur le graphique CAIT.WRI.org}



Aujourd'hui ce sont surtout les risques du changement climatique qui sont sous les projecteurs. La gravité des possibles conséquences des concentrations sans cesse croissantes de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (GIEC, 2007), font que le soutien pour une diminution drastique et urgente des émissions de ces gaz augmente. De plus en plus de voix s'accordent à dire que le monde doit chercher à atteindre le trajet de stabilisation de 430 ppm CO₂-eq. (max. 450ppm), afin d'accroître les chances que l'augmentation de la température moyenne mondiale reste sous les 2 °C. Ceci implique la nécessité de diminuer les émissions de CO₂ à très court terme, comme il est expliqué dans la figure 3.

Les pays industrialisés doivent, en accord avec la convention climatique et l'intérêt personnel à plus long terme, prendre les commandes dans la transition d'une économie énergétique non durable vers une économie énergétique durable. Pour le secteur de l'électricité, cela impliquerait qu'il doit être exempt de dioxyde de carbone pour l'an 2050, car il existe beaucoup d'options technologiques pour exploiter de l'électricité à partir de source renouvelable. Afin de conserver ces options accessibles économiquement, la consommation tout comme les processus de production doivent utiliser moins intensivement l'électricité, surtout grâce à une efficacité accrue des techniques et des systèmes utilisés actuellement (Verbruggen, 2008a). Ainsi va naître une baisse de la demande en électricité (figure 1), ce qui fournira une contribution importante à la sécurité d'approvisionnement des besoins essentiels restants.

La nécessité de réduire l'utilisation de carburants fossiles peut amener un à essor rapide du secteur de l'électricité. Par exemple, la diminution de l'utilisation de moteurs à combustion interne dans les véhicules est la meilleure alternative pour placer les véhicules électriques au premier plan. Cette transition importante est possible si les batteries pour le stockage d'énergie chimique facilement permutables avec de l'électricité, connaissent une évolution favorable au niveau technologico-économique. Une telle évolution de ces batteries donnera aussi une grande impulsion aux sources d'énergies renouvelables variables et décentralisées, ce qui accélérera les transitions interconnectées (mode de transport électrique et passage à des sources d'énergies renouvelables).

Partie B: Sécurité d'approvisionnement au moyen d'inputs pour la production d'électricité

La partie gauche de la figure 2 donne une vue d'ensemble des plus importants inputs d'énergie nécessaires à la production d'électricité depuis l'utilisation et la distribution de cette source d'énergie de par le monde. Le pétrole brut n'y est pas mentionné car à l'avenir, il ne sera plus d'une grande importance dans la production d'électricité de la majorité des pays, dont la Belgique.

Comme l'étude prospective le démontre (p. 47), la Belgique est aujourd'hui dépendante des importations pour la quasi totalité de son utilisation d'énergie commerciale, et en grande partie par des pays hors UE. À l'avenir, cette dépendance s'atténuera par une plus grande efficacité de l'utilisation de l'énergie (dont l'utilisation d'énergie naturelle aussi connue sous le nom d'énergie passive, p. ex. la lumière du jour; une ventilation, un chauffage ou un système de refroidissement naturels) et par une demande plus élevée d'énergie renouvelable nationale.

Si la politique climatique est appliquée de manière drastique et urgente (Stern, 2006), alors la dépendance de la réserve nationale d'électricité augmentera de minimum (aujourd'hui ~5%), de façon significative jusque (~25%) voire même jusque (>50%). Mais à cause de la petite taille, de la situation géographique et de l'urbanisation du pays, les importations continueront de jouer un rôle important. Ceci est aussi valable pour l'électricité durable, dont certains pays, tant de l'UE que hors UE, disposent de meilleurs atouts que la Belgique. L'UE vise aussi à faire croître le marché de l'énergie renouvelable en tant que marché européen (EU CEC.COM(2008) 30 final).

En ce qui concerne l'utilisation de carburants fossiles dans la production d'électricité, le changement climatique et la politique climatique nécessaire vont sérieusement redistribuer les cartes :

- Des nouvelles centrales à grande échelle fonctionnant au charbon ou au gaz naturel ne seront plus indiquées que si une unité performante de captage et de stockage de monoxyde de carbone y est liée. Sans de telles unités, cela signifierait que l'économie énergétique s'enfermerait dans un mode de production non durable (lock-in). Si les investisseurs n'y vont pas de manière réfléchie, et décident quand même de construire à grande échelle, sans installation d'équipements de captage et de stockage de carbone (CCS), cela pourrait conduire à la fermeture prématurée de ces nouvelles installations, quelques années à peine après leur mise en service. Cette possibilité me paraît très plausible.
- L'équipement des centrales électriques fossiles avec un système de captage et de stockage de carbone signifie un grand surplus de consommation d'énergie (ce qui entrainera un plus grand besoin de stockage des émissions supplémentaires) et une augmentation du coût de la production (GIEC, 2005; EU CEC.SEC(2008) 2872). Ceci rend les carburants fossiles moins attirants par rapport à des formes de production pauvres en CO₂: l'énergie renouvelable et l'énergie nucléaire.

L'énergie nucléaire bénéficie depuis quelques années, de plus soutien de la part du monde de l'industrie et de la politique. En effet, surtout ces derniers mois, la campagne de réhabilitation soigneusement préparée depuis plusieurs années et menée par les entreprises nucléaires ont l'air de porter leurs fruits. Il est possible que l'option du nucléaire reçoive une troisième chance dans le but de jouer un rôle important dans l'approvisionnement en électricité (éventuellement pour évoluer vers une position dominante dans la production d'électricité). Je considère cela comme une option dangereuse pour l'avenir durable de notre planète, et contraire au développement durable nécessaire basé sur le binôme énergie-efficacité/énergie renouvelable, mais un approfondissement de cette question n'est pas prévu ici. Les lecteurs intéressés sont renvoyés vers Verbruggen (2008a, b).

Disponibilités en gaz naturel à moyen et à long terme

Les réserves de houille sont encore très considérables et sont, de plus, bien réparties mondialement. À notre connaissance, il n'existe aucune étude qui décrit une problématique définissant une pénurie dans les réserves de houille à moyen ou à long terme (plusieurs décennies jusqu'à une bonne partie du siècle prochain).

L'attention portée sur des réserves d'énergies fossiles limitées se tourne à présent vers les sources d'énergie comme le pétrole ou le gaz naturel, qui sont souvent évoquées dans la presse à la suite de prises de positions concernant le peak oil. Certaines caractéristiques des discussions sur le peak oil sont aussi valables pour le gaz naturel.

Le gaz naturel: différent des autres combustibles fossiles

Sur certains aspects importants, le gaz naturel est différent des autres sources d'énergie telles que le charbon et le pétrole. En effet, il s'agit d'un gaz composé essentiellement de méthane CH₄. De tous les carburants, sa combustion engendre les plus basses émissions spécifiques de CO₂ grâce à des hautes concentrations d'hydrogène et de carbone et à la suite de l'application des techniques de haute efficacité. Le méthane libéré dans l'atmosphère est responsable d'un effet de serre renforcé, car une molécule de méthane équivaut à 23 molécules de CO₂. Mais la plupart des émissions de méthane ne proviennent pas de l'exploitation et de la consommation de gaz, mais bien de processus biologiques. Grâce à ses caractéristiques positives pour la consommation, le gaz est une source d'énergie fort sollicitée pour des utilisations stationnaires (bâtiments, industrie, conversion en électricité) mais sert aussi de matière première dans le domaine de la chimie. Si une pénurie dans les réserves de gaz devait faire surface, alors, sa conversion en électricité dans des centrales à grande échelle (TGV) se trouve au premier rang pour être réduite. Ceci est surtout valable pour les pays qui génèrent une Petite partie d'électricité au moyen de gaz.

Le gaz naturel est livré au consommateur final à l'état gazeux, et c'est pour cette raison que de réseaux de gaz sont nécessaires. En Europe aussi, l'acheminement de gaz naturel s'effectue majoritairement (90%) par des gazoducs et en moindre mesure par des centrales de gaz naturel liquéfié (GNL). La Belgique (Fluxys, Zeebruges) constitue une plaque tournante pour l'importation de GNL en Europe. Le gaz naturel peut être stocké

sous forme liquide (GNL, à -162°C) et sous pression. Ces deux formes de stockage demandent une consommation d'énergie afin de liquéfier ou de mettre sous pression la phase du gaz naturel. Le relâchement du gaz peut être utilisé comme source de production d'électricité

Grâce à ses caractéristiques spécifiques et à ses infrastructures, le gaz naturel forme un chaînon d'input plus précaire dans la chaîne de sécurité d'approvisionnement. En effet, le pétrole et le charbon sont plus faciles à stocker et à acheminer. La fermeture par la Russie de certaines artères d'acheminement de gaz destiné à l'Europe lors des mois de janvier 2006 et 2009 l'ont illustré.

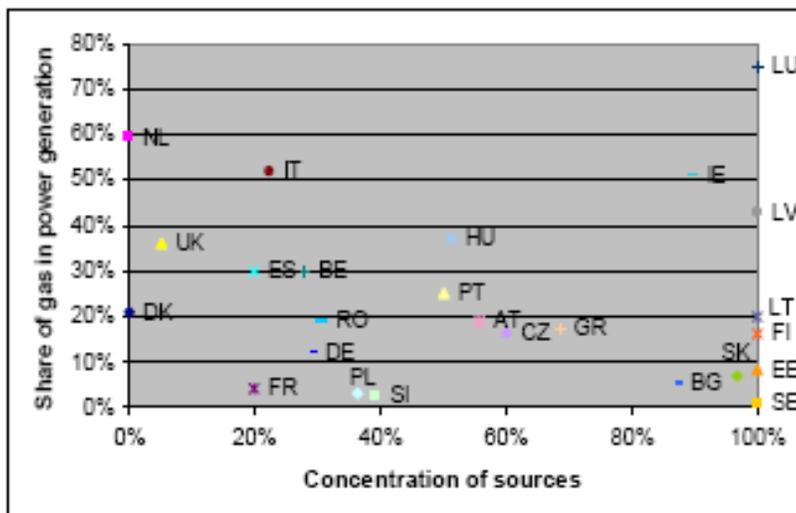
En ce qui concerne la sécurité d'approvisionnement d'électricité produit à l'aide de gaz naturel, on constate une interconnexion entre les sources d'énergie. Ceci a plus d'importance pour la sécurité d'approvisionnement à court terme qu'à long terme. À court terme, l'utilisation de fuel léger peut remplacer beaucoup de formes de consommation de gaz naturel dans les centrales thermiques équipées d'un système de dual fuel.

La sécurité d'approvisionnement en gaz dans un État membre de l'UE est influencé par des facteurs tels que la disponibilité de champs de gaz naturel sur le territoire, la situation géographique du pays (accessibilité pour divers fournisseurs), les possibilités géologiques de stockage souterrain du gaz, la maturité actuelle du marché du gaz, les différents niveaux d'interconnexion ainsi que les différents secteurs d'utilisation de gaz naturel avec leur grade de substituabilité (EU CEC. COM(2008) 769 final, p.4).

Afin de parvenir à une sécurité d'approvisionnement à long terme, certains pays s'emploient à stocker le gaz, concluent des contrats de livraison à long terme et s'adaptent aux fournisseurs et les diversifient pour la production et les importations. En Belgique, l'approvisionnement en gaz naturel obtient de bonnes notes sur tous ces points, notamment grâce à l'agrandissement de la plate-forme de Zeebruges, qui jouit d'une notoriété européenne. Bien que l'UE manœuvre de manière à augmenter la coordination et la solidarité entre États membres afin de développer une politique commune pour accroître la sécurité d'un approvisionnement continu en gaz naturel, il reste malgré tout encore un long chemin à parcourir. L'UE veut amener la sécurité d'approvisionnement en gaz naturel à un plus haut niveau, en soutenant des projets paneuropéens tels que le couloir gazier vers le Caucase et la diversification des sources d'importation de GNL, (EU CEC. COM(2008) 782 final, p.14).

La figure 4 indique la position de la Belgique par rapport aux autres États membres de l'UE en ce qui concerne l'utilisation de gaz pour la production d'électricité, et ce, en fonction de deux facteurs par pays: la part de gaz naturel en tant que source d'électricité et la concentration des sources d'origine de gaz naturel. La position de la Belgique, en tant que pays qui ne dispose d'aucun champ de gaz naturel, est équilibrée et enviable par d'autres pays de l'UE.

Figure 4: Position de la Belgique par rapport à d'autres États membres de l'UE au niveau de l'utilisation de gaz naturel pour la production d'électricité



Le gaz naturel: “réserves” et “ressources”

Dans la littérature et lors du débat concernant les réserves mondiales de carburants fossiles disponibles, il existe une énorme confusion quant à la terminologie utilisée (Al Marchohi and Verbruggen, 2008). Divers instituts réputés utilisent différents termes ou attribuent à ces mêmes termes une (légère) différence de signification. J'utilise ici la classification de l'Institut fédéral de géosciences et de ressources naturelles de Hanovre (BGR). Une première distinction importante est celle entre les réserves et les ressources:

- Les réserves peuvent être extraites de formations géologiques de manière économique aux prix actuels et à l'aide des technologies existantes.
- Les ressources sont des réserves existantes mais qui ne peuvent être extraites aux prix actuels à l'aide des technologies existantes, mais qui pourraient être exploitables dans le futur, tout comme les réserves qui sont exploitables géologiquement mais encore inaccessibles.

En ce qui concerne le moyen terme et le long terme (les 40 prochaines années), ce sont surtout les réserves qui sont importantes. Il existe aussi une gradation pour les types de réserves :

- Les réserves prouvées sont les réserves dont l'exploitabilité est estimée supérieure à 90%. (aussi connues sous le nom de réserves 1P).
- Les réserves probables sont les réserves dont l'exploitabilité est se situe entre 50 et 90%. Avec les réserves prouvées, elles forment les réserves 2P (donc les réserves avec plus de 50% de chances d'être produites).
- Les réserves possibles sont les réserves dont l'exploitabilité est actuellement inférieure à 50%.

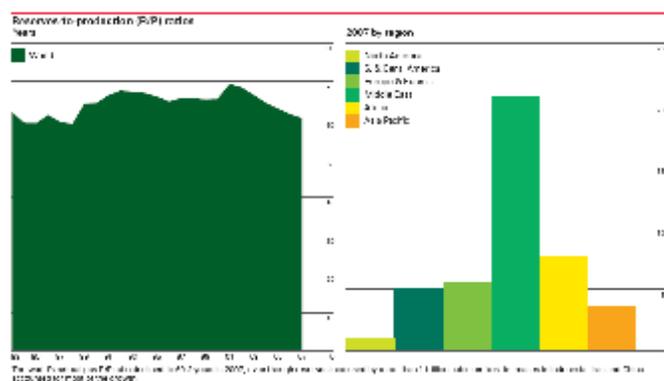
Cette troisième catégorie de réserves est aussi dénommée ‘réserves 3P.

L’industrie pétrolière fait appel aux réserves 2P, mais les organismes financiers n’acceptent que les réserves 1P comme garantie de sécurité pour l’octroi de crédits destinés à l’exploitation des formations géologiques.

Certaines parties des ressources glissent vers les réserves à cause des prix élevés et du développement de meilleures technologies d’exploration et d’exploitation, alors que les ressources peuvent elles-mêmes aussi augmenter.

Les données qui ont été publiées concernant les réserves et les ressources, diffèrent aussi selon le publicateur. Pour les réserves prouvées de gaz naturel, BP Statistical Review-2008 publie les quantités suivantes en trillions de m³ : 106,86 pour 1987; 146,46 pour 1997 et 177,36 pour 2007. Ces vingt dernières années, nous avons pu observer une croissance tendancielle des réserves prouvées, alors que durant la période 1987-2007 la consommation annuelle mondiale de gaz naturel a augmenté de 65%. BP publie le ratio “réserves/production annuelle actuelle” aussi dénommé ratio R/P, en tant qu’indicateur des disponibilités de carburants fossiles (casu quo tarissement imminent). La Figure 5 montre les données de l’étude BP-2008. Il s’agit ici de critères rudimentaires du reflet des disponibilités de réserves fossiles, auxquels trop d’attention est portée dans le débat.

Figure 5: ratio Réserves/Production de gaz naturel [Source:BP, 2008]



Les réserves restent principalement un facteur technologico-économique sur lequel l’incertitude règne. Étant donné que les carburants fossiles se situent en sous-sol et à des endroits inaccessibles, chaque estimation ne correspond pas toujours à la réalité: on estime des réserves, on ne les mesure pas. Ceci donne lieu à des interprétations spéculatives qui vont dans les deux sens : pessimistes et optimistes. Depuis plusieurs

dizaines d'années, les ratios R/P de pétrole oscillent aux environs de 40 ans et ceux du gaz naturel aux environs de 60~65 ans (BP,2008). Cette étonnante stabilité peut être le simple miroir de l'horizon de planification des entreprises pétrolières et gazières, pour engendrer des investissements à grande échelle destinés à l'exploration, l'exploitation et au transport de ces sources d'énergie.

Existerait-il une raison pour laquelle ce type d'entreprises adopterait une position encore plus prévoyante que toutes les autres entreprises du monde, et quelle en serait l'utilité? Nature, envergure, situation géographique et évolution des réserves restent des informations que les entreprises n'aiment pas divulguer. En d'autres mots : recueillir des informations sur les réserves coûte cher, et si des informations portant sur le long terme ne sont pas d'une grande utilité aux entreprises pour le moment présent, alors ces informations n'en valent pas la peine. Par contre, celui qui en dispose les garde secrètement. À cela s'ajoute que les entreprises pétrolières et gazières occidentales ont un accès réduit aux véritables ressources naturelles, qui, après la crise pétrolière de 1970, sont aux mains d'entités nationales. Ces dernières disposent de beaucoup moins de connaissances et de moyens pour cartographier précisément l'état géologique de leur sous-sol. Ici aussi, diverses considérations stratégiques font en sorte que peu ou pas d'informations soit communiquée au tiers en ce qui concerne les richesses naturelles du sous-sol.

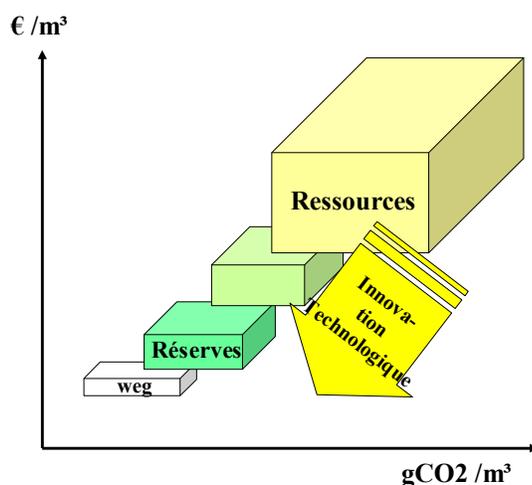
Le BGR a communiqué fin 2007 les chiffres des réserves conventionnelles (à exploiter aux prix actuels et selon les technologies existantes) qui s'élevaient à 183 trillions de m³ (donc seulement une quantité légèrement plus élevée que lors de la publication des réserves BP-2007). Le BGR se montre plus critique en ce qui concerne les réserves exploitables non conventionnelles : seulement 2 trillions de m³ de gaz naturel sous forme de gaz aquifère, maintenant des hydrates et du méthane extradables de bassins houillers. L'exploitation non conventionnelle exige des interventions spéciales telles que la provocation artificielle de failles dans la roche sédimentaire, ou l'introduction d'une substance afin de faire pression sur les corps liquides (pour l'exploitation pétrolière). Mis à part les hauts coûts d'investissements en énergie, ces formes renforcées d'exploitation sont aussi liées à des émissions plus élevées. Ces techniques sont mieux connues et plus d'application pour l'exploitation pétrolière que pour l'exploitation gazière, mais les tendances à la hausse du coût et des émissions sont dans les grandes lignes aussi d'application pour l'exploitation gazière.

Le BGR (2008) publie aussi les données concernant les ressources en gaz naturel qui ne sont pas exploitables aux prix actuels et à l'aide des technologies existantes. Le BGR avance les chiffres de 207 trillions de m³ pour les ressources conventionnelles et de 1533 trillions de m³ pour les ressources non conventionnelles (e.a. les immenses réserves d'hydrates dans les océans).

La figure 6 esquisse les données du BGR sous forme d'axes, avec le coût de l'énergie fossile exploitée sur l'ordonnée et les émissions de CO² dus à l'exploitation des différentes couches des réserves sur l'abscisse. En bas à gauche dans le graphique se trouve la composante qui exprime la consommation de gaz naturel mondiale des quarante dernières années. La composante suivante exprime les réserves conventionnelles (qui reflètent 60 ans de ratio R/P). Ensuite viennent les deux plus importants volumes de ressources, avec à l'extrême droite supérieure la plus volumineuse. Le coût de

l'exploitation de ces volumes est significativement plus élevée que les coûts actuels d'exploitation gazière. Les émissions émanant de cette exploitation sont également estimées légèrement à la hausse. Ceci doit cependant être nuancé, car les innovations technologiques peuvent faire varier à la baisse la position des composantes concernant les ressources, comme l'indique la flèche jaune. Il est actuellement impossible de décrire précisément l'évolution concrète des innovations technologiques.

Figure 6: Gradation des réserves de carburants en fonction du coût et du facteur d'émission de CO² (application au gaz naturel)



La séquence naturelle lors de l'exploitation de richesses naturelles

La figure 6 démontre la séquence constatée avec laquelle les entreprises exploitent les richesses naturelles. Le fil conducteur de cette constatation est que les entreprises commencent à exploiter les réserves moins onéreuses et étant plus à proximité. Ces sources continueront d'être exploitées (à court terme), jusqu'à ce que le coût marginal de la continuation de l'exploitation dépasse le coût à long terme d'une nouvelle exploitation. Ce phénomène est observable par exemple lors d'un épuisement de sources existantes ou lorsque des sources alternatives s'avèrent meilleur marché (par ex. l'importation). Étant donné que les proportions entre le coût à court terme des sources propres et le prix du marché d'autres sources est un facteur dynamique (dépendamment de plusieurs variables), et que les réserves de carburants fossiles ne s'altèrent pas ni ne disparaissent lorsqu'elles ne sont pas exploitées, alors un exploitant ou un État peut élaborer un schéma d'exploitation temporelle fluctuant. Ceci se constate par exemple dans l'histoire de l'exploitation pétrolière des États-Unis d'Amérique.

La séquence naturelle de l'exploitation se reflète dans la figure 6 par l'escalier ascendant partant du coin inférieur gauche vers la partie supérieure droite, selon que les sources les moins chères et les moins polluantes s'épuisent. Les innovations technologiques vont réduire la 'marche' du coût et réduire les émissions, mais la réalité physique des formations géologiques et des gisements ne peuvent être transformées par l'Homme.

Un signal au niveau des prix du marché est indispensable dans le but de développer une phase suivante dans l'exploitation des réserves mondiales de carburants fossiles. Si des déséquilibres croissants des marchés pétroliers ou gaziers font en sorte que la demande de ces carburants augmente plus vite que ce que l'offre ne peut assurer avec ses réserves en cours d'exploitation tout en assurant un niveau de qualité, alors le prix du marché connaîtra une pression à la hausse. Un ajustement à la hausse des prix, peut aller de pair avec des turbulences politiques et économiques importantes qui peuvent mener à des envolées démesurées des prix, pouvant à leur tour entraîner des excès spéculatifs. Mais après un certain nombre de mois ou d'années, les prix se stabilisent à un niveau up to date plus élevé. Socialement parlant, ceci donne lieu à des adaptations technologiques et économiques afin de s'accommoder à la nouvelle situation.

Une telle augmentation du niveau des prix est survenue en deux étapes dans les années 1970 (1973 et 1979). Le pétrole menait la danse avec un niveau de prix de +-\$20/bbl dans les vingt années qui ont suivi. Un nouvel ajustement est en cours depuis 2001, selon lequel le prix du pétrole brut atteindra un niveau supérieur à \$20/bbl, par ex. aux environs de \$40~45/bbl pour une plus longue période. Ceci entraînera de nouvelles adaptations pour les modes de consommation et de production. Grâce aux richesses considérables et au progrès technologique, ces adaptations ne sont pas une menace en soi. Au contraire, Elles renforceront la sécurité d'approvisionnement.

Cette analyse signifie aussi que les phénomènes d'un peak-oil et d'un peak-gas sont plutôt transitoires, et pas d'une grande importance pour la gestion de l'énergie des décennies à venir. Pour exprimer ceci par une métaphore : le défi face auquel se trouve le monde en ce qui concerne l'énergie, et en premier lieu les pays industrialisés, dont la Belgique, ne se situe pas à l'approvisionnement de carburants fossiles. Ce qui sort du robinet polluera plus et deviendra plus cher, mais le robinet pourra encore couler sur le long terme. Le vrai défi se situe du côté de la réception de ces carburants: l'atmosphère est saturée de gaz à effet de serre, et en particulier de monoxyde de carbone. Ce gaz se forme inévitablement par l'oxydation de carburants contenant du carbone, de plus, les techniques permettant de capter ce gaz, des gaz de combustion, ne sont pas encore disponibles sur le marché et ne seront pas applicables économiquement pour des sources d'émissions à petite échelle.

L'atmosphère a montré ses limites, cela impose une réduction urgente et radicale de l'utilisation de carburants fossiles. Ces limitations exercent des forces diamétralement opposées sur les équilibres de l'offre et de la demande concernant les marchés pétroliers et gaziers, si on les compare à ceux de la période 2001-mi 2008. Une réduction drastique de la demande en carburants fossiles entraînera un arrêt de la pression à la hausse sur les prix. Ceci peut avoir pour conséquence qu'un nouveau pas en direction de la phase d'exploitation de pétrole et de champs de gaz naturel, plus complexe et plus chère, ne puisse pas être financé, de manière que l'offre de carburants fossile reste limitée. De la sorte, les entreprises privées et les administrations publiques entretiendraient de nouveaux rapports de concurrence, comme il est mentionné dans la dernière section de cette note.

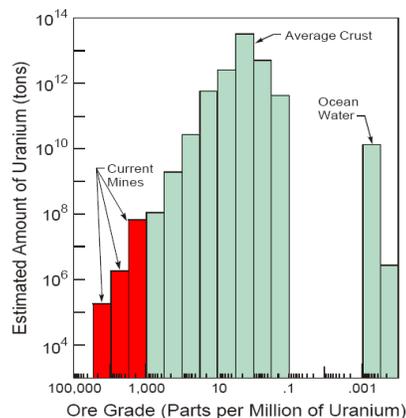
Le rôle de l'énergie atomique et les réserves d'uranium

Aujourd'hui, sept centrales nucléaires belges ainsi que des participations françaises en capacité nucléaire (notamment CHOOZ B1 en B2) livrent plus de la moitié de l'électricité en Belgique. La discussion concernant l'avenir des centrales nucléaires belges à moyen terme n'entrent pas en compte dans cette note. Deux éléments sont brièvement traités :

- Les disponibilités d'uranium à moyen terme,
- Les rapports à long terme des diverses options d'approvisionnement en électricité (renouvelable, carburants nucléaires et fossiles) et d'une augmentation extrême de l'efficacité énergétique dans un avenir où la politique environnementale est omniprésente.

En ce qui concerne la disponibilité de l'uranium à moyen terme, une analyse et une conclusion suivent dans les grandes lignes le modèle du gaz naturel traité précédemment: gradation des différentes sources d'uranium, séquence naturelle de l'exploitation et possibilité d'entamer de plus grandes réserves si le prix du marché du minerai augmente suffisamment et qu'il permet de stimuler le progrès technologique de l'exploitation. La figure 7 montre une bonne vue d'ensemble des réserves et des ressources en uranium ainsi que le début d'exploitation de parties moins chères jusqu'ici. Tout comme c'est le cas pour le gaz naturel, les réserves d'uranium de moins bonne qualité sont plus grandes que les quantités plus faciles à exploiter.

Figure 7: Répartition de l'uranium sur Terre et exploitation des couches les plus denses
(Source: American Nuclear Society, 2001)

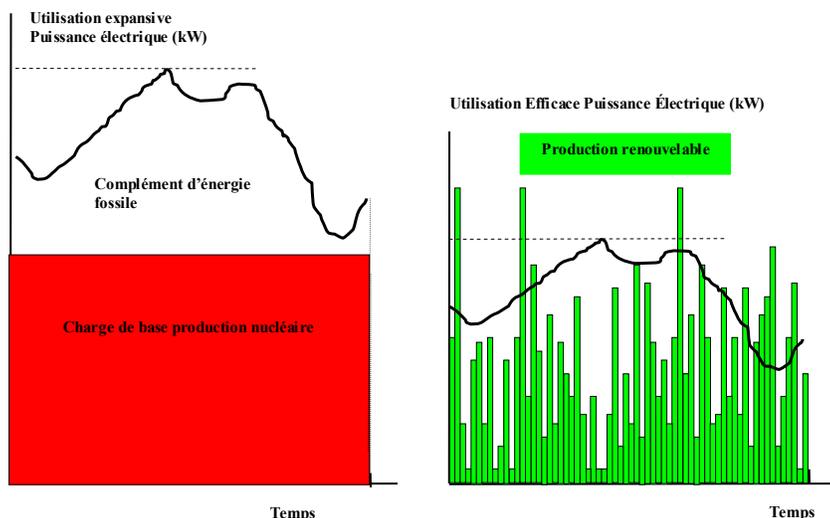


Les rapports à long terme entre les trois sources/formes principales de production d'électricité pour l'avenir sont assez complexes et n'ont plus fait l'objet d'étude explicite ciblée. Mais ces trois sources sont continuellement présentes dans les débats lorsqu'il

s'agit de choisir les moyens de production de demain. Verbruggen (2008b) traite les rapports entre l'énergie renouvelable et l'énergie nucléaire en tant que deux options importantes pour une production d'électricité à faible émission en carbone. Sans oublier l'efficacité d'utilisation de l'électricité et la production supplémentaire sur la base de carburants fossiles (gaz naturel), qui sont deux éléments d'une grande importance. La partie gauche de la figure 8 démontre comment un développement de l'énergie atomique couvrirait une demande expansive d'électricité, ainsi que la partie de la demande qui serait à couvrir à cause de l'approvisionnement complémentaire venant de centrales fossiles (ou d'énergie renouvelable stockable telle que la biomasse ou hydro-barrage). La partie droite de la figure 8 montre la variabilité des flux énergétiques renouvelables (par ex. : le soleil, le vent, hydro-élec.). Si l'intensité de consommation d'électricité baisse fortement, alors ces options onéreuses ne seront payables qu'en tant que mode de livraison dominant. Les apports supplémentaires nécessaires d'autres moyens de production électrique sont très variables, et demandent des installations spécifiques (décentralisées et flexibles).

Les perspectives d'avenir concernant l'industrie nucléaire et la production d'électricité renouvelable divergent. À côté des grandes différences dans les parcs de production intégrés, il y a aussi les réseaux électriques qui raccordent les différents parcs de production mutuellement qui fournissent de l'énergie au consommateur final. Il est aussi important de signaler que l'approche de base d'une centrale nucléaire comprend un caractère consommation-expansion (IEA, 2006: 134, 242), alors que la transition vers une économie énergétique pratiquement entièrement renouvelable exigera l'efficacité de l'utilisation d'énergie et minimalisera aussi la demande en électricité. Les risques liés à ces divergences sont eux-mêmes très différents. L'énergie nucléaire amène des risques particuliers tels que des incidents, des accidents, de la radioactivité durant tout le cycle de combustion, des déchets radioactifs, la diffusion de la connaissance technologique et l'accès aux armes atomiques. Bien qu'il soit difficile de bien évaluer ces risques et de les prendre en considération, ils consistent un élément crucial dans l'étude concernant la sécurité d'approvisionnement en électricité dans un pays qui fait, ou aimerait faire en grande partie appel à ce type d'énergie. D'ailleurs, suite à l'expansion de l'énergie nucléaire en Europe en/ou dans le monde, ces risques s'accroissent.

Figure 8: Évolution divergente de systèmes de production électriques, basé respectivement sur l'énergie nucléaire ou l'énergie renouvelable



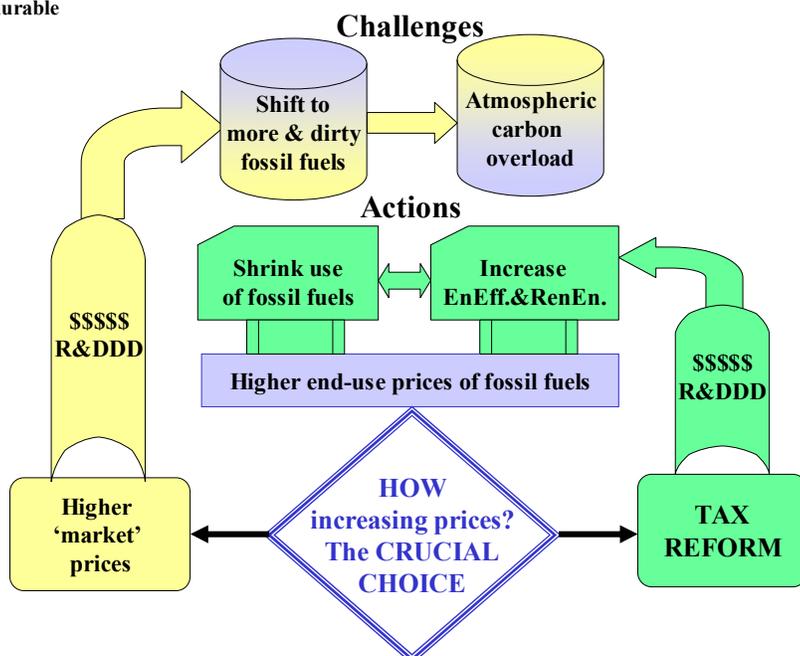
Épilogue: Politique de climat et d'énergie: système de taxes en tant qu'élément indispensable

Lors des discussions sur les réserves disponibles de carburants fossiles ou d'uranium, il a été constaté que l'exploitation et le développement de sources d'énergie moins conventionnelles par rapport aux habitudes du marché sont systématiquement stimulés par une hausse des prix du marché du matériel.

En référence à la menace actuelle de changement climatique, il a été constaté que l'atmosphère est saturée de dioxyde de carbone, et que l'utilisation de carburants fossiles doit être revue à la baisse. Pour passer d'une économie énergétique, qui tire aujourd'hui 88% de son énergie commerciale des carburants fossiles, vers une économie exempte de carbone, il faudrait emprunter la voie la plus sûre : celle de l'exploitation d'énergie renouvelable. Ce choix onéreux nécessite une utilisation d'énergie très basse, qui, dans un État économiquement sain, doit être induite et entretenue par des prix à la consommation élevés (constamment élevés, voire à la hausse si nécessaire)

Une question supplémentaire se pose: comment les prix à la consommation de l'énergie doivent-ils être maintenus élevés sans que ceci ne pousse à favoriser la demande d'énergie non durable ? La réponse se trouve dans ce système de taxes : le gouvernement augmente systématiquement le prix des sources d'énergies non durables via un système de perceptions adapté (après avoir supprimé les subsides qui étaient accordés) et utilise les recettes de ces perceptions pour baisser les impôts sur les biens et les services plus durables et pour soutenir la transition vers une économie énergétique super-efficace et renouvelable. La figure 9 montre les composantes de ce qui vient d'être expliqué ci-dessus.

Figure 9: Système de taxes en tant qu'élément crucial vers une économie énergétique durable



Bibliographie.

- Al Marchohi, M., Verbruggen, A., 2008. Fossil Fuels: Reserves and Resources. University of Antwerp, mimeo, 25p.
- BP, 2008. Statistical Review of World Energy. June 2008, 45p.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2007. Reserves, Resources and Availability of Energy Resources 2006.
- Craigh, R., et al., 2001. Resources of the Earth; origin, use and environmental impact. Prentice Hall, New Jersey
- EU CEC. COM(2008) 30 final. 20 20 by 2020. Europe's climate change opportunity. Commission of the European Communities., 12p
- EU CEC. COM(2008) 769 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions on the Directive 2004/67/EC of 26 April 2004 concerning measures to safeguard security of natural gas supply. Brussels, 13.11.2008, 13p.
- EU CEC. COM(2008) 782 final. Green Paper. Towards a secure, sustainable and competitive European energy network. Brussels, 13.11.2008, 15p.
- EU CEC. SEC(2008). Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport. Commission Staff Working Document, accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions, Second Strategic Energy Review: An EU Energy Security and Solidarity Action Plan. Brussels, 13.11.2008, 29p
- IEA – International Energy Agency, 2006. Energy Technology Perspectives. Scenarios and Strategies to 2050. Paris, 479p.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2005) Carbon Dioxide Capture and Storage, Special report, Summary for Policymakers, 53p.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007. Assessment Report Four. www.ipcc.ch
- Stern, N., 2006. STERN REVIEW: The Economics of Climate Change, Executive Summary, 27 (xxvii) p.
- Tsokounoglou, M., et al., August 2008. The end of cheap oil: Current status and prospects. Energy Policy 36: 3797-3806.
- Verbruggen, A., 2008a. De ware energiefactuur. Houtekiet, Antwerpen, 292p.
- Verbruggen, A., 2008b. Renewable and nuclear power: A common future? Energy Policy 36: 4036-4047.
- Verbruggen, A, Al Marchohi, M., 2009. The Relevance of Peak-oil for Climate Change Policy. University of Antwerp, mimeo draft.
- Watkins, G.C., 2006. Oil scarcity: What have the past three decades revealed? Energy Policy 34: 508-514.
- World Resource Institute, April 2006. Earth Trends Environmental Information.

Texte traduit du néerlandais par Hernalsteen D.