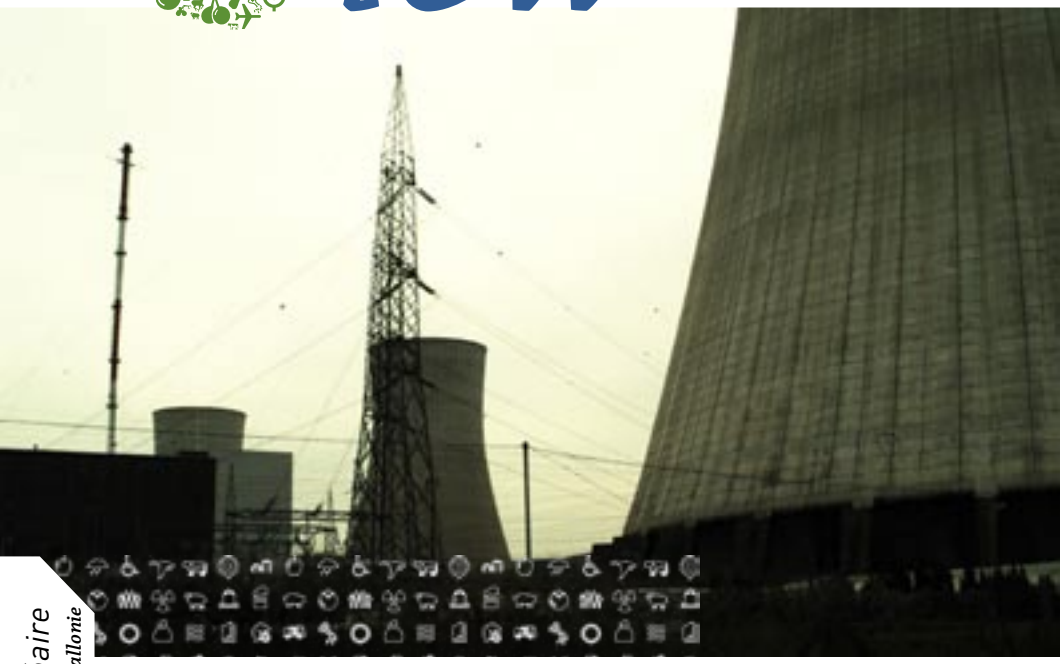
iew

dossier, mars 2007
Inter-Environnement Wallonie



Avec le soutien d'Inter-Environnement Bruxelles, du Brusselse Raad voor het leefmilieu et du Bond Beter Leefmilieu

Sortie du nucléaire

Une chance à saisir !

Sortie du nucléaire
dossier, mars 2007. Inter-Environnement Wallonie

Sortie du nucléaire

Une chance à saisir !

Dossier IEW - mars 2007

Rédaction
Mikaël Angé
Oona Negro
Stephan Vis

Relecture
Anne De Vlaminck
Jean-François Fauconnier
Jean-François Vallée
Pierre Titeux
Alain Geerts

Graphisme et mise en page
metadesign.be

Editeur responsable
Jean-Yves Saliez

a. Résumé - Grille de lecture

Ce dossier présente de manière aussi complète que possible les éléments conduisant Inter-Environnement Wallonie à se positionner en faveur de la loi de sortie du nucléaire. Pour vous guider dans l'inévitable complexité du sujet, nous vous proposons ci-dessous une « grille de lecture ». A travers une dizaine de points, les éléments majeurs sont résumés et renvoient aux parties concernées du document détaillant les arguments.

Le nucléaire ne permettra pas de répondre à l'enjeu des changements climatiques.

L'électricité n'est qu'une partie de la problématique énergétique et le nucléaire, qu'une partie de la problématique « électricité » : en Belgique, le nucléaire représente 10% de la consommation d'énergie finale.	2.3.4
A l'échelle mondiale, le nucléaire ne contribue qu'à hauteur de 2,5% à la consommation finale d'énergie, avec quelques 440 réacteurs actuellement en fonctionnement.	2.2.2
La marge de manœuvre est donc limitée en la matière.	4.1.3
D'autant que, s'il est vrai que les centrales nucléaires n'émettent pas de CO_2 lors de la production d'électricité, il est cependant nécessaire – comme pour toute source d'énergie – de tenir compte de l'entièreté de la filière : exploitation, raffinage et enrichissement de l'uranium ; fabrication des assemblages combustibles ; construction et démantèlement des centrales ; conditionnement et stockage des déchets ;... Les chiffres avancés varient de moins de 20g à plus de 120g CO_2eq/kWh, ce dernier chiffre correspondant à environ 1/3 des émissions d'une centrale au gaz performante. De plus, vu la raréfaction des gisements les plus riches, ces émissions seront amenées à augmenter dans l'avenir. Autant d'incertitudes, en plus d'une marge de manœuvre très réduite, semblent indiquer qu'il est pour le moins hasardeux d'affirmer que le nucléaire est une solution au réchauffement climatique.	4.1.2
Pour que le nucléaire soit susceptible de contribuer significativement à la réduction de nos émissions, et considérant que cette technologie est neutre en carbone, les spécialistes évoquent la nécessité de multiplier par 10 au moins le nombre de réacteurs actuels d'ici 2050. Scénario matériellement improbable et peu souhaitable en raison des coûts monopolisés, de l'augmentation considérable des risques (accidents, prolifération, déchets), et de la diminution rapide des ressources en uranium.	4.1.4
En Belgique, 1/8 des émissions de gaz à effet de serre sont imputables au secteur de production d'électricité. Et la tendance, contrairement aux transports, au résidentiel et au tertiaire, est à la baisse. Présenter le maintien comme un élément central pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre trahit donc la réalité : les véritables enjeux sont ailleurs, où des potentiels importants ne sont pas exploités, comme le montrent différentes études.	4.1.5

Les défis sont ailleurs : maîtrise de la demande d'énergie et développement des renouvelables.

Le développement économique soutenu des pays émergents tire à la hausse la consommation d'énergie, alors même que les réserves de pétrole et de gaz se raréfient.	3.1
Sans une véritable politique de maîtrise de la demande, la situation deviendra rapidement intenable, sauf miracle technologique…	3.3
En termes de lutte contre le réchauffement climatique, la maîtrise de la demande d'énergie et le développement des énergies renouvelables apparaissent incontournables dans différentes études publiées ces dernières années.	3.2.2
Ce sont généralement les techniques les moins émettrices de CO_2 par kWh (efficacité énergétique, éolien, cogénération, …).	4.1.2
Les technologies qui seront décisives pour faire face aux enjeux, à l'échelle mondiale, seront aussi celles qui pourront être mises en œuvre le plus rapidement possible dans le plus grand nombre de pays.	3.4
En Belgique aussi, malgré la part importante de la filière nucléaire dans la production d'électricité, les enjeux sont essentiellement ailleurs (voir notamment ce qui concerne la lutte contre les changements climatiques au point précédent).	4.1.5
La maîtrise de nos consommations d'électricité, et d'énergie en général, est primordiale et possible. Le potentiel d'économies réalisable – via notamment la promotion de l'efficacité énergétique, la dissuasion du chauffage électrique et de l'air conditionné, une tarification adaptée, … – est très significatif.	5.1
Les potentiels de développement des moyens de production d'électricité alternatifs (sources d'énergie renouvelables et cogénération) sont importants et sous-exploités dans notre pays.	5.2
Maîtrise des consommations et développement des sources d'énergie renouvelables auront des impacts bénéfiques évidents en matière de protection du climat et réduiront les impacts négatifs de notre système actuel : dépendance énergétique, raréfaction des ressources naturelles, pollution de l'air, tensions géopolitiques,…	5.3

Le nucléaire n'est pas une source d'électricité bon marché. Et cette filière monopolise les budgets.

Les coûts exacts de la filière nucléaire sont peu connus et les chiffres varient fortement selon les sources. Ils sont généralement subdivisés en 4 composantes : les coûts de construction, de combustible, de fonctionnement et maintenance, et enfin les coûts de démantèlement et de gestion des déchets. Ces derniers coûts, en particulier, sont très incertains et régulièrement revus à la hausse dans les pays voisins. Comment dès lors parler d'une source d'énergie bon marché ?	4.2.1
La filière bénéficie en outre de divers transferts (financement des activités nucléaires belges, d'EURATOM, de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire, …) et de subsides « cachés ». Ainsi, par exemple, l'intervention du secteur nucléaire en cas d'accident est plafonnée à 300 millions d'euros, le solde étant à charge de l'Etat. Ceci permet au secteur de limiter considérablement ses primes d'assurance. Sans ce plafonnement, le coût supplémentaire du kWh est évalué entre 2,2 et 5 eurocents. *Les budgets de recherche ont aussi été largement monopolisés par la filière nucléaire, ce qui a limité le développement des alternatives.* *Le contexte actuel de libéralisation change quelque peu la donne. Dans ce contexte, en effet, les aides d'Etat sont en principe proscrites et la compétitivité primordiale.* *Or, la filière nucléaire se caractérise par un coût d'investissement élevé, et donc un risque très important pour le secteur de l'électricité, qui ne semble pouvoir être assumé sans soutiens publics.*	4.2.2
Outre les risques liés à l'investissement, le Bureau fédéral du Plan identifie deux autres risques qui pourraient aussi réduire la compétitivité du kWh nucléaire : *- les risques de coûts éloignés, qui « découlent d'incertitudes quant à l'adéquation ou non des provisions établies pour couvrir les coûts liés au stockage des déchets et au démantèlement des centrales nucléaires »,* *- les risques d'acceptation publique, qui pourraient conduire les décideurs à renforcer les exigences en matière de sûreté des centrales et, partant, les coûts de fonctionnement, voire entraîner une hausse des primes d'assurance.*	4.2.3
La libéralisation du secteur de l'électricité pourrait aussi entraîner une diminution de la sûreté – course à la diminution des coûts afin d'améliorer la compétitivité – et à une augmentation de l'opacité du secteur pourtant déjà inacceptable.	4.2.3.3
Malgré ces conditions peu favorables à un développement du nucléaire, la construction d'un nouveau réacteur nucléaire a été initiée début 2005 en Finlande. Serait-il le contre-exemple ? Pas vraiment : le futur exploitant de la centrale a en effet bénéficié de nombreux avantages pour concrétiser ce projet : prix fixe, crédit syndiqué à taux d'intérêt très avantageux, crédits à l'exportation de la France,…	4.2.3.4

Le nucléaire n'est pas UNE solution car il freinerait LES vraies solutions.

Rares sont ceux, en Belgique, qui voient dans le nucléaire une source d'énergie durable dont un développement serait souhaitable. Le nucléaire est davantage considéré comme une « nécessité », une technologie dont on ne peut se passer, à court terme : face aux enjeux, d 'aucuns estiment que nous ne pourrions nous permettre de choisir entre différentes technologies.	4.3
En pratique, l'expérience montre que « nucléaire et sobriété », ainsi que « nucléaire et sources d'énergie renouvelables » sont très difficilement conciliables. D'abord pour des raisons budgétaires : un euro investi dans le nucléaire ne peut l'être ailleurs. Mais aussi parce que l'option nucléaire induit toute une gestion énergétique qui s'oppose à l'efficacité énergétique et à la sobriété énergétique (ajustement de la demande en fonction de l'offre par, notamment, des offres tarifaires) et aux énergies renouvelables (réseaux centralisés).	4.4
Or, avec ou sans nucléaire, nous sommes face à la nécessité d'une véritable mutation en matière d'énergie, pas de « petits ajustements ». Il y a donc un véritable choix à faire… Nous ne pouvons pas nous permettre toutes les options.	4.5

Les ressources en combustible nucléaire seront aussi épuisées avant la fin du siècle.

Selon les constats du secteur nucléaire lui-même, les réserves en uranium sont évaluées à quelques dizaines d'années. La World Nuclear Association s'est même dit récemment inquiète d'une possible pénurie dès 2015.	4.2.1
Entre 2001 et 2007, le prix de l'oxyde d'uranium (U_3O_8) a d'ailleurs été multiplié par 10.	4.6

Les technologies futures sont des espoirs, pas des certitudes. On a besoin de solutions aujourd'hui pour répondre aux défis auxquels nous sommes actuellement confrontés.

L'hypothèse selon laquelle les augmentations de prix pourraient encourager le développement d'autres technologies permettant de repousser l'échéance paraît peu probable, tant les expériences en matière de retraitement des déchets et de surgénérateurs ont été négatives. Des réacteurs de 4ème génération qui utiliseraient d'autres combustibles, plus abondants, sont envisagés mais encore très loin de voir le jour.	4.6,
La recherche sur la fusion se poursuit, mais si cette technologie aboutit, elle ne sera pas mature selon les spécialistes avant la seconde moitié – voire la fin – de ce siècle.	
Ces technologies futures relèvent actuellement plus d'une foi idéologique en la technologie que de la réalité scientifique et industrielle. Il faut certainement continuer à chercher, mais on a besoin de solutions aujourd'hui pour répondre aux défis auxquels nous sommes actuellement confrontés.	annexes

Un prolongement de la durée de vie des centrales ne permettrait pas de limiter la dépendance énergétique de notre pays, ni de garantir l'approvisionnement.

Le nucléaire est parfois abusivement considéré comme une source d'énergie domestique. Cela n'est pas vrai : nous n'extrayons pas d'uranium en Belgique, ni même en Europe. Nous importons 100% de cette source d'énergie.	2.3.4
Bien que le prix de l'uranium ne représente qu'entre 5% et 10% des coûts de production d'électricité nucléaire, son décuplement observé ces dernières années ne peut être sans conséquences sur le prix de production d'électricité. C'est un facteur important à considérer lorsqu'on présente le nucléaire comme une solution à notre sécurité d'approvisionnement.	4.2.1
La production nucléaire en Belgique couvre plus de la moitié de la consommation électrique belge. Cependant, en termes de sécurité d'approvisionnement, il est utile de s'intéresser aussi à la puissance installée. En ces termes, les sept réacteurs belges ne contribuent qu'à hauteur de 37% à la capacité de production électrique de la Belgique.	2.3.5
Les potentiels d'économie d'électricité, d'économie d'énergie et d'énergies renouvelables mis en avant dans différentes études montrent que des alternatives existent. Comme le montre le scénario Negawatt pour la France, une synergie entre énergies renouvelables, efficacité énergétique et sobriété énergétique est efficace et techniquement à notre disposition. Une façon d'améliorer durablement notre sécurité d'approvisionnement énergétique.	5.1 5.2 5.3
En Belgique, suffisamment de projets permettent déjà de remplacer les trois premières tranches qui fermeront en 2015. Les autres tranches ne fermeront qu'en 2022, 2023 et 2025. Les délais prévus sont donc suffisants pour que de nouveaux investissements soient réalisés, pour autant que le cadre soit clair et stable à long terme.	5.4
La sécurité d'approvisionnement doit aussi être évaluée au regard des conséquences de coupures d'électricité, en raison de problèmes techniques, d'évènements climatiques extrêmes, … Cet aspect est fortement amélioré par une approche décentralisée : les conséquences économiques et sociales de telles coupures sont évidemment plus importantes dans un système centralisé qu'en cas de décentralisation du réseau, pour laquelle les coupures sont alors plus locales.	4.3

Un prolongement de la durée de vie des centrales ne permettrait pas de réduire notre facture énergétique.

Rappelons que l'électricité n'est qu'une partie du problème puisqu'elle ne représente en moyenne que 17% des consommations d'énergie d'un ménage, hors carburant pour le(s) véhicule(s). *Les prix de marché jouent un rôle plus important que les coûts de production pour la fixation des prix de vente. Le prix de vente du kWh est directement lié aux coûts de production variables de la centrale marginale – c'est-à-dire la centrale permettant de couvrir le « dernier kWh consommé »– caractérisée par les coûts variables les plus élevés. Les faibles coûts de production des centrales nucléaires, qui s'expliquent par le fait que les centrales sont entièrement amorties, n'influencent donc pas le prix de fourniture de l'électricité mais contribuent aux bénéfices substantiels de l'exploitant.* *Le prix final de l'électricité est actuellement déterminé par quatre composantes principales : la composante énergie, la composante fourniture, les tarifs de réseaux (transport et distribution) et enfin les taxes et prélèvements. La composante énergie ne représente environ qu'un tiers du prix de vente final de l'électricité aux particuliers. L'évolution des prix de vente de l'électricité aux particuliers n'est donc pas proportionnelle aux prix de marché de l'électricité, et il est par ailleurs également possible d'agir sur les autres composantes du prix final de l'électricité.* *Ce ne sont pas les faibles coûts de production qui sont susceptibles de faire baisser les prix de l'électricité mais bien la concurrence. Or, soutenir le nucléaire n'a pour effet que de freiner le développement de la concurrence…*	5.6

Un prolongement de la durée de vie des centrales représenterait un risque pour la sécurité.

Les réacteurs les plus anciens sont généralement considérés comme les moins sûrs, et cela pour deux raisons majeures. *Tout d'abord, la conception même des réacteurs a évolué suite aux incidents et accidents ; le principal événement ayant entraîné des modifications de conception est l'accident de Three Mile Island en 1979. Dans notre pays, les réacteurs Doel 1&2 et Tihange 1 sont antérieurs à cette date.* *Ensuite, le vieillissement des centrales conduit à une augmentation des risques en raison du phénomène inéluctable de vieillissement des matériaux. La multiplication de petits incidents ces dernières années en Belgique pourrait en être le signe avant-coureur.*	7.2.
Plusieurs incidents sérieux ont conduit à la fermeture prématurée de centrales de type PWR - comme les centrales belges - dans différents pays. De plus, peu d'expériences existent au-delà de 35 ans… La moyenne d'âge des centrales PWR fermées en Allemagne, en France et aux Etats-Unis est de 15 ans. Elle est de 24 ans pour les centrales en opération. En France, Framatome estime que seule la moitié des centrales pourraient voir leur durée de vie prolongée à 50 ou 60 ans.	7.2
Enfin, dans un marché libéralisé, la course à la réduction des coûts pourrait avoir de lourdes conséquences en terme de sécurité : limitation des frais d'entretien, appel à de la sous-traitance non habituée au travail au sein d'une centrale nucléaire, …	4.2.3.3
Indépendamment de ce contexte de libéralisation, il existe aussi une perte de la « mémoire » avec la mise à la retraite des travailleurs qui ont connu le démarrage de ces centrales.	

Le nucléaire n'est pas une nécessité. C'est un choix de société.

Différentes études ont montré dans plusieurs pays que le nucléaire, même dans un contexte de lutte contre le changement climatique, n'était qu'une option possible, pas une absolue nécessité.	5.3
Un choix de la facilité qui ne nous permettrait que de reporter plus loin, sur nos enfants, l'échéance qui les forcera – peut-être alors de façon brutale - à revoir profondément le modèle de consommation énergétique que nous leur aurons légué, en plus des déchets radioactifs.	6

b. Table des matières

a.	*Résumé - Grille de lecture*	*5*
b.	*Table des matières*	*13*
c.	*Liste des figures*	*13*
1.	**Introduction**	**18**
2.	**Le contexte energetique: boulimique!**	**21**
2.1.	Energie, électricité : petits rappels	21
2.1.1.	Energie primaire, énergie finale : quelles différences ?	21
2.1.2.	L'électricité : un vecteur énergétique	23
2.1.3.	Quelques unités	25
2.2.	L'énergie dans le monde	25
2.2.1.	La boulimie énergétique	25
2.2.2.	La boulimie électrique mondiale	27
2.2.3.	Le nucléaire dans le monde	29
2.3.	L'énergie en Belgique	30
2.3.1.	Une consommation d'énergie en très forte croissance	30
2.3.2.	Qui consomme quoi ?	31
2.3.3.	La boulimie électrique belge	32
2.3.4.	La production d'électricité	34
2.3.5.	La place du nucléaire dans notre production d'électricité	35
2.3.6.	Durable, notre production d'électricité ?	36
3.	**Les enjeux croisés de l'énergie**	**39**
3.1.	La maîtrise de la demande d'énergie : un défi pour le 21ième siècle	39
3.2.	Le réchauffement climatique	42
3.2.1.	Petit rappel sur la problématique climatique	42
3.2.2.	Les incontournables dans la lutte contre les changements climatiques	44
3.3.	Toutes nos réserves énergétiques s'épuisent sauf…	44
3.4.	Des techniques accessibles au plus grand nombre	45
4.	**Le nucléaire permet-il de répondre à ces enjeux ?**	**47**
4.1.	Le nucléaire : une réponse inefficace au réchauffement climatique	47
4.1.1.	Ce que dit le protocole de Kyoto du nucléaire	47
4.1.2.	Les émissions de CO_2 liées à la filière nucléaire	48
4.1.3.	Quel effet espérer sur le climat ?	50

4.1.4. Développement massif du nucléaire à l'échelle planétaire : pas crédible 52
4.1.5. Kyoto et la sortie du nucléaire en Belgique 53
4.1.5.1. Les émissions de CO_2 liées à la production d'électricité en Belgique 54
4.1.5.2. L'impact de la sortie du nucléaire sur les émissions de gaz à effet de serre en Belgique 56
4.1.6. Changements climatiques : opportunité ou menace pour le nucléaire ? 61
4.2. Le nucléaire : une énergie qui monopolise les budgets 63
4.2.1. Une source d'énergie chère 63
4.2.2. Transferts financiers vers le secteur nucléaire 67
4.2.3. La libéralisation : le pire ennemi du nucléaire ? 70
4.2.3.1. La fin des aides publiques 70
4.2.3.2. Seuls des investissements moins risqués sont réalisés 71
4.2.3.3. Moins de sûreté, plus d'opacité 73
4.2.3.4. Construction d'un réacteur EPR en Finlande : un retour du nucléaire ? 74
4.3. Le nucléaire nécessite un réseau électrique hyper-centralisé 75
4.4. Un frein pour consommer moins 76
4.5. Un frein pour produire mieux 78
4.6. Les ressources s'épuisent aussi 79
5. Peut-on se passer du nucléaire en Belgique ? 83
5.1. Revoir nos modes de consommation d'énergie 83
5.1.1. La croissance est-elle inéluctable ? Leçons du passé 84
5.1.2. Le potentiel d'économies du ménage belge 85
5.1.2.1. Dissuader le recours au chauffage électrique 87
5.1.2.2. Dissuader le recours à l'air conditionné 88
5.1.2.3. Promouvoir l'efficacité énergétique. 89
5.1.2.4. Une tarification intelligente 91
5.1.3. Demain, quels scénarios de consommation électrique ? 92
5.2. Produire de manière plus durable 93
5.2.1. La filière éolienne 94
5.2.2. La biomasse 96
5.2.3. La cogénération 96
5.2.4. Le solaire 98
5.2.5. Le potentiel d'électricité renouvelable en Belgique 99
5.3. Les combinaisons gagnantes 100
5.4. Le remplacement du nucléaire est déjà une réalité 102
5.5. Et l'emploi ? Quelques chiffres... 104
5.6. Maintenir les centrales nucléaires en fonctionnement pour limiter la facture énergétique ? 107
5.6.1. L'électricité n'est qu'une partie du problème 107
5.6.2. Le nucléaire est une source d'énergie coûteuse 107
5.6.3. Le prix de marché de l'électricité guidé par les coûts marginaux de production 108
5.6.4. Le prix de marché de l'électricité n'est qu'une des composantes du prix final de l'électricité 109
5.6.5. Les centrales : une entrave à la concurrence sur le marché belge 109
5.6.6. Constituer un fonds de promotion de l'efficacité énergétique et des renouvelables ? 110
5.6.7. Prolonger la durée de vie des centrales belges ne diminuera pas la facture énergétique 111
6. Conclusion : une réelle opportunité ! 116
6.1. Ne pas hypothéquer la sécurité d'approvisionnement de notre pays. 117
6.2. Assurer une réduction des émissions de gaz à effet de serre à long terme. 117
6.3. Eviter une dérive des coûts. 118
7. ANNEXE : Le nucléaire, faits et fissions 122
7.1. La filière nucléaire 122
7.2. Les dangers du nucléaire 123
7.2.1. Risque d'accidents 123
7.2.2. Accidents nucléaires : il n'y a pas que Tchernobyl et Three Mile Island 124
7.2.3. Le vieillissement des centrales augmente les risques d'accident 125
7.2.4. Quelques exemples d'incidents liés au vieillissement des réacteurs 126
7.2.5. Et la sécurité nucléaire en Belgique ? 128
7.2.6. Prolifération et terrorisme 128
7.2.7. Les déchets nucléaires, « une industrie sous contrôle » ? 130
7.2.7.1. La gestion des déchets radioactifs en Belgique 130
7.2.7.2. Les dangers du Plutonium 133
7.3. Les nouvelles technologies résoudront-elles les problèmes du nucléaire? 134
7.3.1. Retraitement des déchets et surgénération 134
7.3.2. Réacteurs de quatrième génération 135
7.3.3. Fusion nucléaire : le projet ITER 139
8. Dénominations et abréviations 143
9. Bibliographie 145

C. Liste des figures

1 Flux énergétiques schématisés. 22

2 Évolution de la consommation énergétique mondiale. 26

3 Évolution comparée de la consommation énergétique mondiale et de la croissance démographique, ainsi que de la consommation par habitant. 26

4 Consommation d'énergie par habitant. 27

5 Évolution de la consommation électrique par habitant dans le monde. 28

6 L'énergie dans le monde en 2003. 29

7 Évolution de la consommation d'énergie primaire par habitant. 31

8 Consommation finale d'énergie par secteur en Belgique, 2004. 32

9 Évolution de la consommation d'électricité par habitant. 32

10 Comparaison de l'intensité électrique de plusieurs pays de l'OCDE. 33

11 L'énergie en Belgique (Mtep) en 2003. 34

12 Part des sources d'énergie renouvelables dans la production d'électricité pour les pays de l'AIE en 2004. 36

13 Part de la cogénération dans la production d'électricité pour les pays de l'EU25 en 2002. 37

14 Evolution de la consommation énergétique mondiale à l'horizon 2030 Scénario de référence de l'AIE. 40

15 Scénarios prospectifs de l'IIASA. 41

16 Augmentation de la température durant le XXIème, suivant les scénarios SRES. 43

17 Emissions de gaz à effet de serre des principales technologies de production d'électricité. 50

18 Merit order du parc de production d'électricité centralisé, coût du CO_2 inclus. 55

19 Évolution des émissions de CO_2 du parc électrique belge. 56

20 Contribution des principaux secteurs à l'émission de gaz à effet de serre en 2003. 57

21 Evolution annuelle des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2003 pour les principaux secteurs émetteurs en Belgique. 57

22 Fourniture d'électricité en Belgique dans le scénario « révolution énergétique ». 60

23 Trajectoire des dépenses publiques belges en recherche et trajectoire sur la période 1974-1999. 69

24 Consommation électrique résidentielle par habitant dans les pays de l'UE15 en 2004. 77

25 Consommation électrique résidentielle par habitant dans les pays de l'UE15 en fonction de la part de nucléaire dans la production d'électricité en 2004. 78

26 Electricité appelée, scénarios du Plan d'équipement 1995-2005. 84

27 Consommations résidentielles d'électricité en Wallonie. 86

28 Consommations électriques d'un ménage moyen. 86

29 Consommation résidentielle d'électricité par les appareils domestiques dans les pays de l'AIE. 90

30 Projection des économies d'électricité réalisables pour les appareils domestiques dans l'ensemble des pays de l'AIE à l'horizon 2030. 90

31 Scénarios de consommation d'électricité à l'horizon 2020-2030. 92

32 Evolution en énergie finale de la consommation d'électricité. 100

33 Production d'éléectricité additionnelle prévue chaque année en Belgique grâce aux nouvelles unités de production (2003-2010). 103

34 Prix forward Y+1. 108

35 Evolution des prix de l'électricité entre avril 2005 et avril 2006 (chiffres de NUS Consulting). 110

36 Schéma simplifié de la filière nucléaire. 123

37 Courbe typique du taux d 'incidents en fonction du temps (Meyer,1998). 126

1. INTRODUCTION

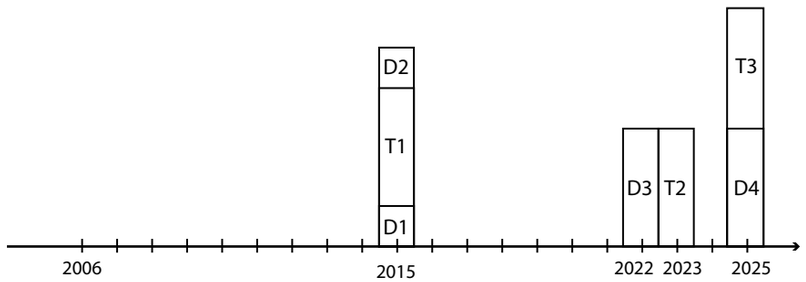
En 2003, la Belgique décidait, au terme d'un long débat, de fermer définitivement ses centrales nucléaires après 40 années de fonctionnement. Cette sortie programmée du nucléaire était annoncée dès 1999 dans la déclaration du gouvernement fédéral « Arc-en-ciel » à majorité libérale et socialiste, sous l'impulsion de la minorité écologiste. Elle a été adoptée par le parlement début 2003 puis confirmée par la nouvelle majorité « Violette » (uniquement socialiste et libérale) dans la déclaration gouvernementale de juin 2003.

Au-delà de la méfiance de la population à l'égard de cette source d'énergie, plusieurs éléments ont motivé la décision du gouvernement Arc-en-ciel : peut-on continuer à accumuler des déchets nucléaires pour lesquels on ne trouve pas de solution, et reporter leur gestion sur les générations futures ? Quelles seront les conséquences (économiques, environnementales, sanitaires, etc.) d'un accident grave, aussi improbable fut-il ? Le lien historique entre nucléaire civil et militaire peut-il se satisfaire d'une prolifération nucléaire aux quatre coins du monde ? Est-il raisonnable que notre parc de production d'électricité repose sur une source d'énergie dont les réserves mondiales sont limitées ? En ces temps de terrorisme, les centrales et les installations de stockage de déchets ne constituent-elles pas des cibles privilégiées ? Au terme de longues discussions parlementaires, le gouvernement fédéral a donc jugé le nucléaire à des fins de production d'électricité « non durable ».

Selon la loi de 2003, qui prévoit donc la fermeture progressive des réacteurs au terme de quatre décennies maximum de fonctionnement (un cas de force majeure peut cependant être invoqué, en particulier si l'approvisionnement en électricité ne peut être garanti, pour modifier la loi par un simple arrêté ministériel), le planning de sortie du nucléaire se présente comme suit :

Réacteur nucléaire	puissance en Megawatt	Date de mise en service industrielle	Année de fermeture
Doel 1	392	15 février 1975	2015
Tihange 1	962	1 octobre 1975	2015
Doel 2	392	1 décembre 1975	2015
Doel 3	1006	1 octobre 1982	2022
Tihange 2	960	1 février 1983	2023
Doel 4	985	1 juillet 1985	2025
Tihange 3	1015	1 septembre 1985	2025

On constate que seuls les trois réacteurs les plus anciens, dont deux de faible puissance, seront déconnectés du réseau en 2015. Les fermetures suivantes interviendront entre 2022 et 2025.



Cependant, depuis l'adoption de cette loi, la polémique va bon train : alors que la consommation d'électricité a crû de façon régulière ces dernières années, que la filière nucléaire est présentée comme n'émettant pas de gaz carbonique et que le nucléaire contribue pour moitié à notre approvisionnement en électricité, pourquoi avoir décidé de sortir du nucléaire ? Préfère-t-on la peste climatique au choléra nucléaire ? Le retour à la bougie au nom du développement durable ? Le moins que l'on puisse dire est que ce choix s'avère controversé…

Certains estiment en effet que les développements observés ces dernières années (prise de conscience croissante de la nécessité de réduire nos émissions de gaz à effet de serre, hausse des prix pétroliers, conflits gaziers entre la Russie et l'Ukraine, etc.) sont autant d'éléments plaidant en faveur d'un report de la loi de 2003. Car c'est bien à ce niveau-là que se situent les réels enjeux : rares sont ceux qui voient dans le nucléaire une source d'énergie durable dont un développement serait souhaitable. Le nucléaire est davantage considéré en Belgique comme une « nécessité », une technologie dont on ne peut se passer aujourd'hui.

Le but poursuivi par ce document, rédigé par la fédération wallonne des associations de protection de l'environnement, est autant de réfléchir à l'opportunité de la sortie programmée du nucléaire que de fournir des éléments concrets de compréhension et d'analyse des multiples enjeux liés à cette décision.

Ce dossier ne se veut donc ni une « étude », ni un « plan » sur la sortie progressive du nucléaire. Davantage une sorte de tableau des enjeux énergétiques alliant sortie du nucléaire, environnement, sécurité d'approvisionnement et développement durable, le tout dans le contexte de la libéralisation des marchés de l'électricité. Ce document a donc pour objet de présenter les nombreux arguments conduisant Inter-Environnement Wallonie à se prononcer en faveur du maintien de la loi sur la sortie du nucléaire.

Au travers d'une compilation de données existantes, nous voulons miser sur une meilleure diffusion de l'information afin que chacun puisse contribuer au débat et à la mise en œuvre d'une décision gouvernementale qui ne touche pas seulement l'avenir d'une technologie de pointe mais aussi le futur énergétique de la Belgique en général.

La particularité de ce dossier « Sortie du nucléaire, une chance à saisir ! » est de se concentrer sur l'aspect énergétique de la question. Les problématiques connues du nucléaire, liées à l'ensemble de la filière (impacts sur l'environnement, production de déchets radioactifs, risques d'accidents,

prolifération et terrorisme, ...) ne sont que très brièvement abordées en annexes. Nous renvoyons le lecteur désireux d'en savoir plus à ce sujet vers les nombreuses publications existantes.

Au cours de ces pages, nous aborderons les thèmes suivants :

- Dans quel contexte énergétique se situe cette décision ? (chapitre 2)
- Quels sont les enjeux liés à l'énergie ? (chapitre 3)
- Le nucléaire permet-il de répondre à ces enjeux ? (chapitre 4)
- Peut-on s'en passer, chez nous, en Belgique ? (chapitre 5)
- En conclusion, la sortie du nucléaire : une réelle opportunité !
- En annexe : la filière nucléaire, qu'est-ce que c'est au juste ?

Bonne lecture !

2. LE CONTEXTE ENERGETIQUE: BOULIMIQUE !

L'homo economicus que nous sommes devenus est un insatiable consommateur d'énergie... Mais les ressources sont-elles infinies ? Chacun de nous consomme de l'énergie quotidiennement : de manière directe lorsqu'on se chauffe, se déplace, s'éclaire, cuisine, utilise les appareils électroménagers, etc. Nous consommons davantage encore d'énergie de manière indirecte : lorsque l'on mange par exemple (produire un kilo de viande de veau équivaut à parcourir 220 kilomètres en voiture), mais aussi et surtout par la construction d'infrastructures lourdes (routes, bâtiments...) ou l'achat de produits manufacturés (du mobilier aux produits textiles, en passant par le journal quotidien ou les téléphones portables) que notre mode de vie entraîne. Bref, l'énergie est indispensable à la vie. Chaque belge consomme ainsi en moyenne l'équivalent énergétique de 6000 litres de pétrole par an!
Comment la production d'électricité s'inscrit-elle dans ce contexte ?
C'est l'objet de ce premier chapitre qui présente aussi le cas particulier de la Belgique.

2.1. Energie, électricité : petits rappels

2.1.1. Energie primaire, énergie finale : quelles différences ?

L'énergie peut être définie de manière succincte comme étant la propriété d'un système physique capable de produire un travail. L'on distingue différentes formes d'énergie : mécanique (potentielle et cinétique); thermique (énergie interne, enthalpie); de liaison chimique; de liaison physique; de rayonnement électromagnétique; électrique. L'énergie peut se diviser ou se transformer (passage d'une forme à une autre), tout en respectant les principes de la thermodynamique.

L'Observatoire français de l'énergie[1] distingue différents stades de transformation d'une énergie en une autre. L'*énergie primaire* est celle n'ayant subi aucune conversion. C'est donc la première forme d'énergie directement disponible dans la nature : bois, vent, rayonnement solaire, charbon, gaz naturel, pétrole, uranium. L'énergie primaire n'étant pas toujours directement utilisable, elle fait souvent l'objet de transformations. On parle alors d'*énergie secondaire* puisqu'elle résulte de la conversion d'une énergie primaire en une énergie dérivée (une centrale thermique produisant de l'électricité – énergie secondaire – grâce à la combustion de gaz naturel – énergie primaire – dans une centrale thermique). Notons qu'une énergie secondaire peut être obtenue par transformation d'une autre énergie secondaire (si la centrale thermique fonctionne au biogaz par exemple, obtenu par transformation de la biomasse). L'*énergie finale* est celle délivrée au consommateur pour être convertie en *énergie utile*, c'est-à-dire celle dont dispose le consommateur après la dernière conversion au sein du foyer. Si un ménage se chauffe à l'électricité par exemple (ce qui, nous le verrons, est très peu efficient d'un point de vue énergétique), les kilowattheures fournis par son fournisseur d'électricité sont considérés comme *énergie finale*, tandis que la quantité de chaleur fournie par les appareils de chauffage constitue l'*énergie utile*. Chaque

transformation d'une forme d'énergie en une autre s'accompagne de pertes (généralement sous forme de chaleur) plus ou moins importantes selon les filières et les technologies utilisées.

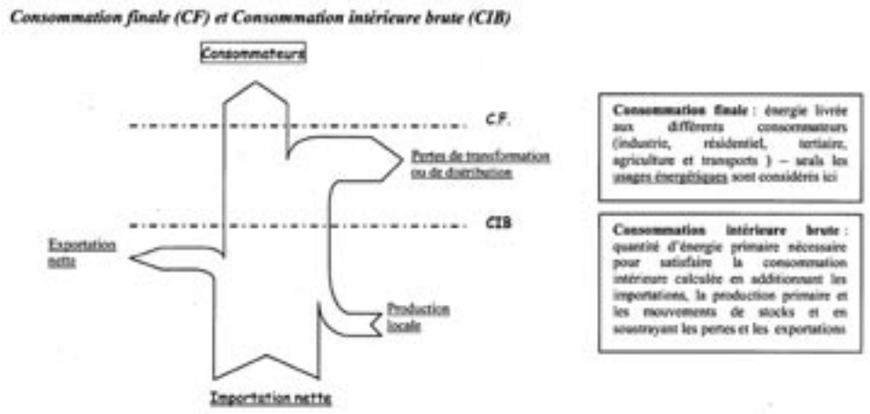


Figure 1 : Flux énergétiques schématisés. Source : Plan wallon pour la maîtrise durable de l'énergie.

Les consommations d'énergie primaire représentent donc la somme des consommations finales, des pertes cumulées lors des transformations (et éventuellement lors du transport) et de la consommation des producteurs eux-mêmes. Notons que l'électricité est davantage un moyen de transport d'énergie qu'une énergie en tant que telle. C'est donc ce que l'on appelle un *vecteur énergétique*. Les scientifiques fondent beaucoup d'espoir dans l'hydrogène, qui pourrait devenir un vecteur énergétique important à moyen terme.

Mais, faut-il le rappeler, la Terre a ses limites. La raréfaction des ressources, les pollutions marines récurrentes, les pluies acides, les accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl, ou encore les pics d'ozone en été et le dépassement de limites de concentration en particules fines en hiver nous ont tour à tour fait prendre conscience que notre boulimie énergétique avait des effets néfastes sur notre environnement. La Terre a-t-elle la capacité de s'adapter à tout cela ? De nombreux indices laissent penser que la réponse est négative. En témoigne la préoccupation croissante pour la problématique des changements climatiques, l'un des plus grands défis auquel nous devrons faire face au cours de ce siècle.

N'oublions pas non plus que dans de nombreux pays à travers le monde, pour des raisons qui sont de près ou de loin liées aux ressources énergétiques, les droits de l'Homme ne sont pas respectés, la démocratie est bafouée (« Affaire Total » en Birmanie), des conflits éclatent (tensions diplomatiques au Moyen-Orient). De telles conséquences seront plus fréquentes au fur et à mesure que les réserves s'épuiseront.

2.1.2. L'électricité : un vecteur énergétique

L'électricité telle que nous la consommons n'est donc pas une source d'énergie : elle n'existe pas dans la nature. Une centrale électrique transforme en électricité l'énergie de sources énergétiques primaires telles que la lumière (photovoltaïque), le vent (éolienne), le bois (biomasse), l'eau (hydraulique), l'uranium (thermique nucléaire), les combustibles fossiles (thermique gaz, charbon) – pour n'en citer que les plus connues.

L'énergie électrique doit donc être produite à partir de sources d'énergie et chaque unité d'énergie électrique consommée nécessite, dans une centrale thermique classique, la consommation de deux voire trois unités de ces sources pour la produire. Par conséquent, la croissance de la consommation d'électricité engendrera un taux d'accroissement d'autant plus élevé des pressions environnementales, à moins que cette électricité ne provienne de technologies propres et à haut rendement, réduisant suffisamment l'impact de la production d'électricité sur l'environnement.

L'électricité a une facilité d'usage et une utilisation *finale* très propre qui en fait son succès. Elle doit cependant – comme tout autre vecteur énergétique – être considérée sur l'ensemble de sa filière, de sa production à ses résidus. Voici quelques spécificités, trop souvent oubliées, de cette forme particulière d'énergie.

1. L'électricité nécessite des sites de production imposants
   Les centrales thermiques, les barrages hydroélectriques, les éoliennes, etc. engendrent des impacts multiples : la plupart des unités induisent des impacts visuels ou d'occupation de l'espace, certaines comportent des risques en matière d'accidents ou de cible terroriste, d'autres sont responsables d'émissions importantes de polluants (CO_2, SO_2, NO_x pour les combustibles fossiles, radioactivité pour le nucléaire...), etc.
2. L'électricité a un faible rendement
   Nous venons de le voir, l'électricité nécessite des transformations d'énergie s'accompagnant de pertes. La filière électrique est donc généralement caractérisée par de (très) faibles rendements énergétiques. Les centrales Turbine Gaz Vapeur (TGV), qui sont les plus performantes pour la production d'électricité (sauf si l'on considère la cogénération, sur laquelle nous reviendrons) atteignent aujourd'hui un rendement inégalé de 55%. Une centrale nucléaire, qui est aussi une centrale thermique, a quant à elle un rendement global de l'ordre de 33%. En moyenne, près de 70% de l'énergie est donc perdue avant la livraison. En outre, les pertes dans le réseau de transport et de distribution d'électricité, qui augmentent avec la distance, doivent également être prises en compte.
3. L'électricité se stocke difficilement
   C'est l'un des inconvénients majeurs de l'électricité. En Belgique, les centrales à accumulation par pompage font office de stockage de l'électricité : une partie de l'électricité produite de nuit par les centrales nucléaires sert à pomper de l'eau pour la remonter dans des lacs de barrage. En heure de pointe, cette eau est libérée du barrage pour produire... de l'électricité. Cette opération est évidemment consommatrice d'énergie. Ainsi, en 2002, la centrale de Coo

a produit 1,12TWh (en heure de pointe) mais en a consommé 1,54TWh (en heure creuse). Il y a donc 27% de pertes lors du stockage (qui viennent encore s'ajouter aux pertes liées à la production d'électricité nucléaire, de l'ordre de 70%, et du transport).
Les piles et batteries sont d'autres variantes de stockage. Mais là encore, il faut de 40 à 140 fois plus d'énergie pour la fabrication d'une pile non-rechargeable que l'énergie qu'elle est capable de fournir[2].

4. Le parc de production électrique est tributaire des demandes de pointe
Les difficultés de stockage de l'électricité nécessitent une conception du parc de production électrique telle qu'il soit en mesure de satisfaire les demandes de pointe. Ces pointes de production et de consommation se situent chaque année, lors d'une froide et sombre soirée d'hiver, en semaine, vers 18h. En 2004, la puissance maximale appelée s'est élevée à 13.708 MW (le 8 janvier entre 17 et 18h), soit environ 2.000 MW en dessous de la capacité de production totale nette disponible en Belgique (laquelle s'élevait alors à 15.677 MW).
5. L'infrastructure de transport électrique est très visible
En cas de production centralisée dans de grandes unités, l'acheminement de l'électricité implique une infrastructure de transport conséquente (réseau de lignes haute et basse tension, transformateurs...), et induit en outre des nuisances diverses (occupation du sol, pollution visuelle, champs électromagnétiques...). Par ailleurs, le transport d'électricité, responsable de pertes non négligeables (environ 5% des consommations d'électricité en Belgique), affecte le rendement de la production de kWh.
6. Les filières des différents combustibles
L'extraction, le transport et la transformation des différents combustibles induisent également des effets néfastes importants sur l'environnement. Déchets radioactifs engendrés par l'extraction d'uranium et la préparation du combustible, paysages dénaturés par les mines à ciel ouvert, fuites régulières de pipe-lines pétroliers ou gaziers, marées noires et dégazages dans les océans, sont autant de conséquences de notre approvisionnement en énergie.

Lorsque l'on prend en compte l'ensemble de la filière, il est donc erroné de considérer l'électricité comme « propre ». Mais son usage est attrayant, notamment parce que ses inconvénients sont invisibles lors de la consommation. C'est l'une des raisons pour lesquelles son usage s'est étendu au fil du temps, en particulier dans les pays industrialisés.

2.1.3. Quelques unités

L'unité qui parle le plus d'elle-même : la tep (tonne équivalent pétrole) :
1 tep = l'énergie dégagée par la combustion d'une tonne de pétrole.

L'énergie est une quantité de travail :
1 Joule (J) = l'énergie qu'il faut communiquer à une masse de 102gr pour l'élever de 1m.

Le Watt (W) est la puissance développée par un Joule en une seconde (1W = 1J/s). Logiquement, un kiloWattheure (kWh) est la quantité d'énergie fournie par une puissance de 1000W en fonctionnement pendant une heure. Ce sont les unités les plus couramment utilisées pour représenter des puissances et quantités d'énergie électrique.
Notons que l'on distingue généralement le kiloWattheure électrique (kWh_e) du kiloWattheure thermique (kWh_{th}).

- 1kWh = l'énergie nécessaire pour élever une masse de 36t à une hauteur de 10m.
- 1kWh = équivaut approximativement à la quantité de travail physique fournie par un homme durant une journée de labeur.
- 1kWh électrique (kWh_e), c'est ce que nous payons actuellement environ 15 eurocents (en tarif de jour) à notre fournisseur d'électricité. Vraiment chère l'électricité ?

Pour mesurer une quantité de ressources énergétiques (énergie primaire, voir ci-dessus), la tep est l'unité la plus couramment utilisée. Pour mesurer une consommation d'électricité (usage final), on préfèrera le kWh. 1tep équivaut à peu près à 12.600kWh. Cette conversion dépend du rendement énergétique de la production d'électricité.

2.2. L'énergie dans le monde

Qu'en est-il du contexte énergétique international ? La rareté des ressources énergétiques ne contraste-t-elle pas avec la boulimie énergétique de nos sociétés ? Y a-t-il de l'énergie pour tout le monde ? Quelles en sont les conséquences pour l'environnement ?

2.2.1. La boulimie énergétique

Ces dernières décennies, notre société est devenue de plus en plus gourmande en énergie, comme l'illustre la figure 2 ci-dessous, représentant la consommation de ressources énergétiques mondiales depuis 1860 (en millions de tonnes équivalent pétrole par an). Il est à noter que cette comptabilisation tient uniquement compte des sources d'énergie commercialisées; le bois, dont l'utilisation domestique est très répandue dans les pays en développement, n'est donc que partiellement pris en compte.

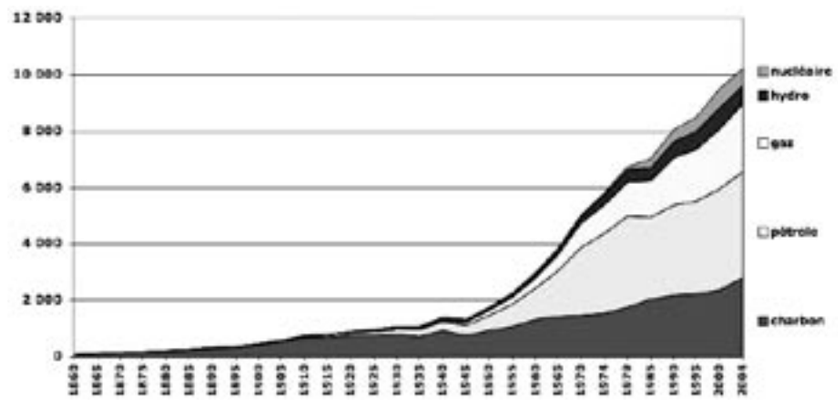


Figure 2 : Évolution de la consommation énergétique mondiale (en millions de tonnes équivalent pétrole). Source : Jean-Marc Jancovici ; www.manicore.com.

Cette explosion de nos consommations énergétiques est en partie due à la croissance démographique mondiale. Mais elle est également liée à l'augmentation de la consommation par habitant, essentiellement dans les pays industrialisés, suite à la modification radicale de nos modes de vie. On observe cependant un ralentissement de cette consommation par habitant dû aux chocs pétroliers successifs.

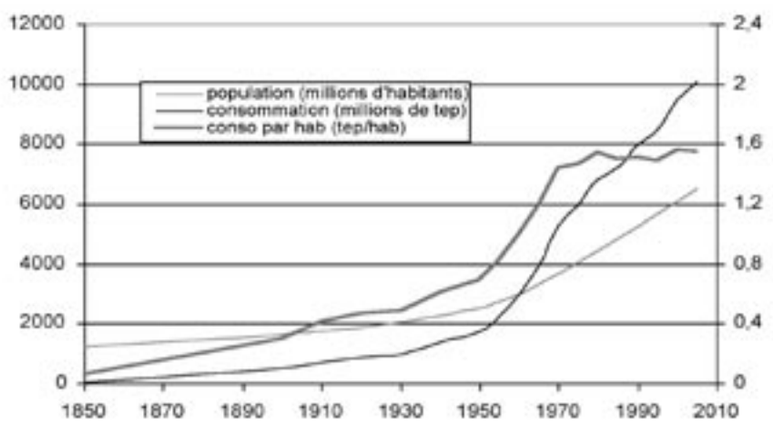


Figure 3 : Évolution comparée de la consommation énergétique mondiale et de la croissance démographique, ainsi que de la consommation par habitant . D'après Jancovici (énergie) et United Nations, 1999, The World at Six Billion[3].

Ces modes de vie reposent aujourd'hui dangereusement sur une consommation massive d'énergie. Ainsi, la consommation énergétique moyenne des habitants des pays les plus pauvres n'a guère évolué depuis 1850. En revanche, les habitants des pays riches consomment de nos jours dix fois plus d'énergie qu'en 1850. Par ailleurs, les 15% de la population mondiale vivant dans des pays industrialisés consomment 50% de l'énergie mondiale.

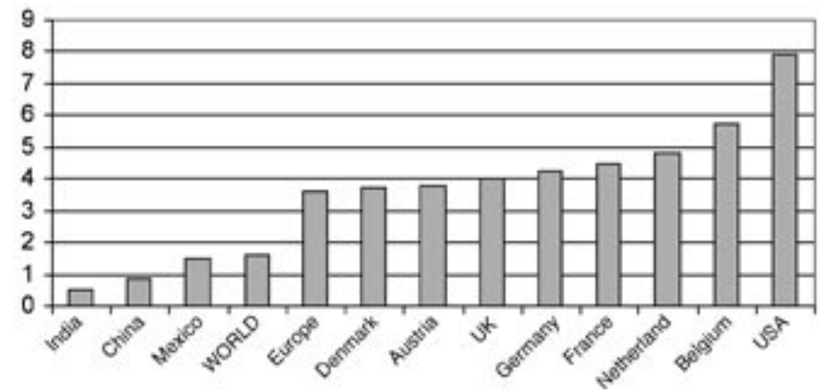


Figure 4 : Consommation d'énergie par habitant. Source : International Energy Agency, Energy Balances of OECD Countries and Energy Balances of non-OECD Countries, 2003.

On constate sur la figure 4 ci-dessus que le Belge consomme trois fois plus d'énergie que la moyenne mondiale, et davantage que ses voisins européens. Les Américains sont, ce n'est pas une surprise, les plus gros consommateurs d'énergie de la planète. Leur consommation par habitant est cependant relativement stable depuis 1980. Par contre, la consommation par habitant a continué à augmenter en Europe (+8% depuis 1980) et a doublé en Asie/Océanie[4].

Ce n'est un secret pour personne, l'accès à l'énergie est une problématique sociale importante. L'énergie rend des services en répondant à des besoins de base tels que se nourrir, se chauffer ou se déplacer. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), 2,4 milliards de personnes dans le monde utilisent des formes primitives de biomasse pour cuisiner ou se chauffer et 1,6 milliards de personnes n'ont pas accès à l'électricité. En Belgique, le poste énergie (chauffage et électricité mais hors transports) représentait en 2002 (soit avant la récente envolée des prix pétroliers) plus de 8% du budget d'un ménage pauvre, contre 2,4% pour une famille aisée[5].

2.2.2. La boulimie électrique mondiale

Contrairement à la consommation totale d'énergie par habitant qui a connu un ralentissement après les chocs pétroliers, la consommation d'électricité par habitant est en constante croissance partout dans le monde (marginalement en Afrique), comme l'illustre la figure 5.

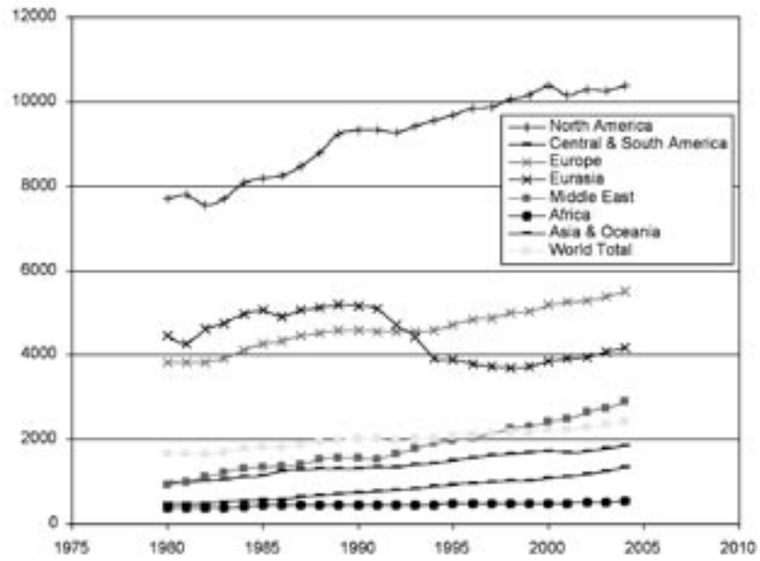


Figure 5 : Évolution de la consommation électrique par habitant dans le monde (kWh/habitant). Source : International Energy Annual 2004, Energy Information Administration, http://www.eia.doe.gov/

Mais que représente l'électricité dans la consommation totale d'énergie ?

La consommation mondiale d'énergie primaire atteignait en l'an 2003 environ 10.580.000.000 tep (colonne de gauche de la figure 6 ci-dessous), dont 80% provenaient de combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Ces chiffres sont toutefois trompeurs car ils ne comparent pas des énergies équivalentes : on considère la production d'électricité pour les sources d'énergie renouvelables tandis qu'il est tenu compte de l'énergie primaire pour l'uranium (dont un tiers seulement sera converti en électricité). Une importance artificielle est donc accordée à l'énergie nucléaire.

L'électricité représente aujourd'hui à peu près un sixième de la consommation finale d'énergie mondiale : 1.173 Mtep ou 16.661TWh électriques ont ainsi été générés en 2003, soit 16,1% de la consommation finale d'énergie. Ce qui représente un peu plus de 10% de la consommation primaire d'énergie. L'électricité ne constitue donc qu'une partie de la problématique énergétique.

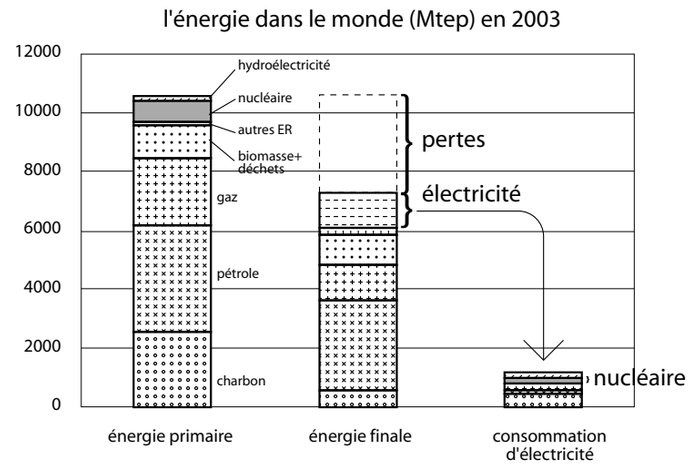


Figure 6 : L'énergie dans le monde (Mtep) en 2003. Source : AIE, Key World energy statistics, 2005.

La colonne de droite de la figure 6 détaille les parts de chaque source d'énergie dans la consommation d'électricité. À l'échelle mondiale, c'est le charbon qui occupe la place principale dans la production d'électricité (40,1%), suivi par le gaz (19,4%), les sources d'énergies renouvelables (17,8%) et le nucléaire (15,8%). En 2003, les 440 réacteurs en fonctionnement ont ainsi produit 2.635TWh[6].

De ces chiffres, retenons que le nucléaire fournit 15,8% de l'électricité mondiale[7], l'électricité elle-même représentant 16,1% de la consommation finale d'énergie mondiale. *A l'échelle mondiale, le nucléaire ne contribue donc in fine qu'à hauteur de 2,5% à la consommation d'énergie finale annuelle.*

2.2.3. Le nucléaire dans le monde

Alors que les spécialistes de l'Agence internationale de l'Energie Atomique annonçaient en 1974 que le parc de production d'électricité nucléaire représenterait 4.450 GW à l'aube du troisième millénaire, et qu'André Giraud, le patron du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) de l'époque, prévoyait trois ans plus tard une crise énergétique avant la fin du 20ème siècle si les programmes nucléaires n'étaient pas rapidement accélérés, la capacité de production mondiale d'électricité nucléaire s'élevait à peine, fin 2005, à 368 GW, soit moins de 10% des prévisions de l'AIEA.

Depuis la catastrophe de Tchernobyl, le nombre de centrales nucléaires en fonctionnement dans les pays de l'OCDE est resté quasiment inchangé, et l'Agence Internationale de l'Energie prévoit que sans changement politique majeur, la part du nucléaire dans la production mondiale d'électricité déclinera d'ici 2030. De 368 GW en 2005, il serait porté à 416 GW en 2030 dans le scénario de référence du *World Energy Outlook 2006*, soit une augmentation proportionnellement inférieure à l'accroissement des consommations mondiales[8]. A noter que les nouvelles capacités nucléaires sont principalement attendues en Asie, notamment en Chine, en Inde, au

Japon et en Corée du Sud. L'AIE prévoit ainsi un déclin des capacités nucléaire en Amérique du Nord et en Europe.

Malgré ces chiffres évocateurs, les annonces d'un retour en force de l'atome se sont multipliées ces derniers temps, l'exemple de la Chine étant maintes fois évoqué. On ne dénombrait pourtant pas plus de 22 unités en construction à travers le globe fin 2005, pour une capacité totale de production de 17 GW. La construction d'à peine six de ces réacteurs a été entamée après 1990 (la plupart des réacteurs en construction sont donc en chantier depuis plus de quinze ans). Les Etats-Unis, qui comptent le plus grand nombre de réacteurs commerciaux dans le monde, n'ont plus mis en service de nouvelle unité depuis 1973. Le seul projet concrétisé dans un pays de l'OCDE depuis plus de 15 ans est le réacteur finlandais à Olkiluoto (cfr. 4.2.3.4).

Pour ce qui concerne la Chine, l'annonce de la construction de 32 nouveaux réacteurs a ravivé les espoirs d'une industrie en déclin. Mais, même si tous sont mis en service comme annoncé, ce qui reste à démontrer puisque de nombreuses annonces de constructions faites par le passé n'ont pas été concrétisées dans ce pays, la part du nucléaire dans la production chinoise d'électricité ne dépassera pas 4% !

En Europe élargie, 13 des 25 Etats-membres exploitaient au total 151 réacteurs fin 2004[9], dont environ 10% se situent dans les nouveaux Etats-membres. Dans l'ancienne Europe des 15, onze pays n'ont jamais disposé de centrale (Autriche, Luxembourg, Grèce, Portugal, Irlande, Danemark), ont fermé (l'Italie en 1998) ou décidé de fermer leurs centrales à terme (Belgique, Allemagne, Suède, Espagne). La Finlande et la France ne manifestent pas de volonté de sortie et veulent même relancer la construction de nouvelles installations : la construction a débuté en 2005 en Finlande, tandis que le processus de décision est toujours en cours dans l'hexagone malgré une forte opposition du public.

2.3. L'énergie en Belgique

Et en dans notre petit pays? Quelles sources d'énergie consommons-nous? Quels sont les gros consommateurs d'énergie? Et d'électricité en particulier?

2.3.1. Une consommation d'énergie en très forte croissance

Alors que la consommation par habitant tend à se stabiliser au niveau mondial et même aux Etats-Unis, nous constatons sur la figure ci-dessous qu'elle continue à augmenter de façon significative en Belgique.

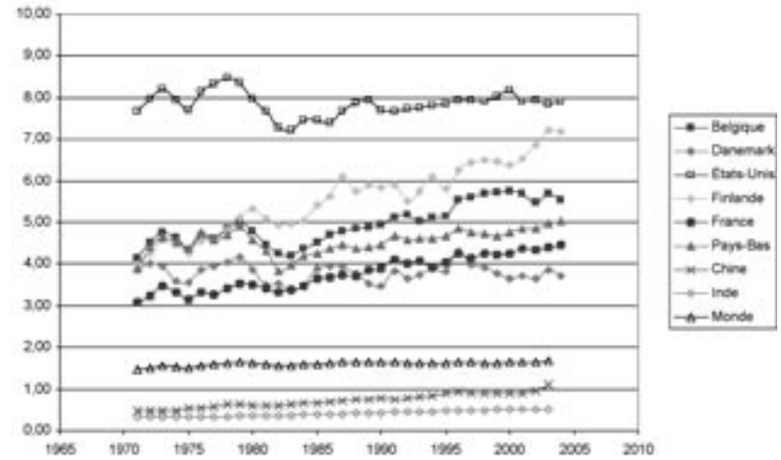


Figure 7 : Évolution de la consommation d'énergie primaire par habitant (tep/habitant). Source : Panorama des statistiques de l'OCDE 2006: Économie, environnement et société - ISBN 92-64-03563-X.

Il est interpellant de voir que, partant d'un niveau de consommation par habitant semblable en 1970, des pays comme la Finlande, la Belgique, les Pays-Bas et le Danemark ont évolué de façon complètement divergente en plus de 30 ans ; le Danemark maintenant son niveau de consommation et la Finlande le laissant complètement s'envoler. La Belgique se situant entre les deux mais plutôt du côté à la hausse…

Comme le relève l'étude sur la maîtrise de la demande commandée par le ministère des Affaires Economiques[10], la Belgique, plus que beaucoup de pays européens, a négligé l'amélioration de son efficience énergétique. Les budgets de R&D consacrés aux programmes d'efficacité énergétique suite à la crise pétrolière des années septante ont été coupés par Guy Verhofstadt, ministre en charge de la recherche scientifique à l'époque, dès la baisse des prix du barril au milieu des années 80. La Belgique a ainsi pris énormément de retard par rapport à ses voisins qui ont eux poursuivi dans cette voie.

2.3.2. Qui consomme quoi ?

En terme d'énergie primaire, chacun des 10.250.000 belges consomme en moyenne chaque année quelque 5.7tep, soit grosso modo l'équivalent de 6000 litres de pétrole par personne et par an. Cela représente une croissance de plus de 125% depuis 1960, puisque l'on consommait alors en moyenne 2,5 tep/pers.

Les consommations finales d'énergie en Belgique en 2004 se sont élevées à environ 41,5Mtep selon les chiffres du SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie.

Figure 8 : Consommation finale d'énergie par secteur en Belgique, 2004. Source : SPF Economie

Comme l'illustre la figure 8 ci-dessus, c'est le secteur industriel qui est le plus gros consommateur d'énergie en Belgique, emmené par la sidérurgie (un tiers des consommations industrielles) et par la chimie (un quart des consommations industrielles). Les secteurs résidentiel (environ 10 Mtep) et du transport (10 Mtep également, à répartir entre les transports de personnes et de marchandises) suivent de près, ce dernier secteur ayant connu la plus grande croissance depuis 1979 (près de 70%). Notons que le poste « usages non-énergétiques » comprend principalement l'utilisation des hydrocarbures à des fins pétrochimiques (production d'engrais, de matériaux polymères, etc.).

2.3.3. La boulimie électrique belge

La consommation d'électricité par habitant connaît aussi une croissance particulièrement forte en Belgique (figure 9).

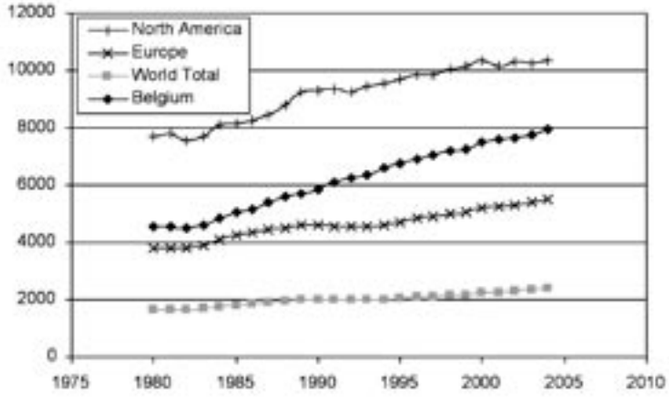


Figure 9 : Évolution de la consommation d'électricité par habitant. Source : EIA (Energy Information Administration), International Energy Annual 2004.

La Commission AMPERE[11] constate dans son rapport que depuis 1983, l'intensité électrique de la Belgique (consommation d'électricité nécessaire pour générer une unité de produit intérieur brut) dépassait celle de la plupart des autres pays industriels, à l'exception des Etats-Unis. Ainsi, en 1998, elle dépassait celle des Pays-Bas de quelque 27,2% (la Commission Ampère attribuerait cette différence à la politique plus volontariste mise en place par nos voisins hollandais). Et alors que la plupart des pays européens ont réussi à stabiliser leur intensité électrique, voire à la réduire, celle de la Belgique croît toujours au rythme de 1,6%/an. Les consommations d'électricité par habitant ont ainsi été multipliées par six depuis 1960.

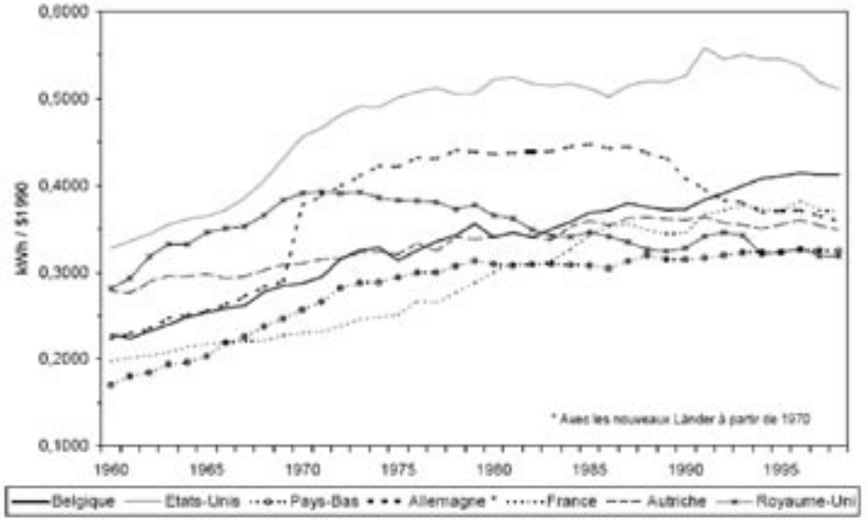


Figure 10 : Comparaison de l'intensité électrique de plusieurs pays de l'OCDE. Source : Rapport de la Commission AMPERE, 2001.

Historiquement, notre boulimie électrique s'explique par l'implantation d'industries lourdes près de nos charbonnages et des voies d'eau importantes. Mais également et surtout par le fait que les prix de l'énergie fournie à l'industrie ont toujours été parmi les plus bas de l'Europe des 15, comme l'a souligné la Commission AMPERE. Ces prix avantageux ont eu pour conséquence la délocalisation d'industries énergivores vers... la Belgique.

Même si cet avantage tarifaire tend à disparaître avec la libéralisation des marchés de l'énergie dans l'Union européenne[12], l'industrie belge reste particulièrement gourmande en électricité puisqu'elle consomme par habitant 55% d'électricité en plus que la moyenne européenne[13], comme l'illustre le tableau ci-dessous.

	KWh/hab	Indice UE = 100
Belgique	3573	155
Allemagne	2514	109
Pays-Bas	2471	108
Europe des 15	2298	100
France	2175	95
Royaume-Uni	1772	77

Tableau 1 : consommations d'électricité de l'industrie. Source : Rapport Commission Ampère, 2001.

Malgré le fait que les prix de l'électricité soient nettement plus élevés pour les secteurs domestique et tertiaire, comme le rappelait la Commission AMPERE en précisant qu'ils étaient parmi les plus chers d'Europe (faisant alors écho aux critiques régulièrement formulées par l'association de consommateurs Test-achats), ces secteurs sont également de gros consommateurs d'électricité. L'analyse de la Commission est sans équivoque à ce sujet : « *on peut se demander comment aurait évolué la consommation d'électricité dans ces secteurs si les prix avaient été parmi les plus faibles d'Europe ?* » s'interrogeait-elle. Mais nous reviendrons sur ce point au chapitre 4.4.

2.3.4. La production d'électricité

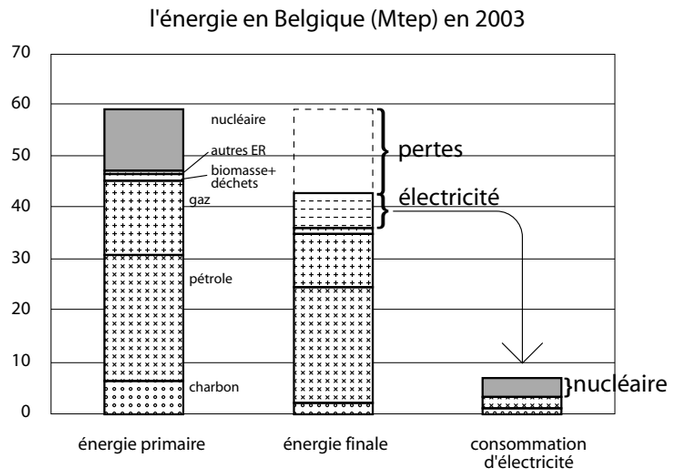


Figure 11 : L'énergie en Belgique (Mtep) en 2003. Source : IEA, Energy policies of IEA countries, 2005.

La figure présentée ci-dessus illustre le même constat que la figure 6 relative au contexte énergétique mondial : la Belgique est extrêmement dépendante des énergies fossiles, en particulier du pétrole (utilisé sous forme d'essence ou diesel comme carburant pour véhicules, sous forme de mazout comme combustible pour chauffage, etc.).

De ces chiffres, retenons que la production des sept réacteurs nucléaires belges fournit environ 55% de la consommation d'électricité en Belgique, l'électricité elle-même représentant 16% de la consommation finale d'énergie belge. Le nucléaire belge contribue donc in fine pour moins de 10% à la consommation d'énergie finale annuelle dans notre pays.

Il est important de remarquer que dans les statistiques énergétiques nationales[14], comme dans bon nombre de références classiques, l'énergie nucléaire ne figure pas dans la colonne « Import » mais plutôt comme « Energie primaire ». Est-ce logique, alors que nous n'extrayons pas d'uranium en Belgique, ni même en Europe, mais que nous l'importons ? Alors que la quantité de gaz destinée à la production électrique, elle, est bien considérée comme de l'importation ? Considérer la filière nucléaire comme une énergie d'origine domestique non seulement surévalue l'importance du nucléaire dans notre approvisionnement énergétique, mais fausse le débat sur l'indépendance énergétique de notre pays. En réalité, la dépendance énergétique de la Belgique atteint les 98% puisque seules les énergies renouvelables peuvent être considérées comme « locales ».

2.3.5. La place du nucléaire dans notre production d'électricité

La Belgique dispose de sept réacteurs nucléaires de type PWR (réacteur à eau pressurisée), qui offrent une capacité totale de production de 5.800MW, et une production annuelle d'électricité s'élevant à environ 45 TWh[15]. Soit, comme détaillé au point précédent, environ 55% de la consommation d'électricité et un peu moins de 10% de la consommation totale finale d'énergie.

	2004*	2003	2002	1999	1994
Nucléaire	5801,5	5761,0	5761,0	5713,0	5528,0
Thermique classique	6800,3	6800,1	6845,9	7226,4	7427,5
Biogaz	25,9	25,9	25,9	11,8	1,8
Déchets et vapeur de récupération	201,3	200,1	196,9	147,1	124,0
Cogénération	1340,8	1339,6	1272,7	1057,4	410,1
Lac et fil de l'eau	107,6	107,6	106,0	97,0	95,5
Pompage	1307,0	1307,0	1307,0	1307,0	1307,0
Eolienne	92,8	66,9	31,0	9,3	5,2
Belgique	15677,2	15608,2	15656,4	15569,0	14899,1

Tableau 2 : Puissance nette développable par source d'énergie primaire (MW).
Source : FPE, Rapport annuel 2004.

Si la production nucléaire belge couvre plus de la moitié de la consommation électrique, il est cependant utile de s'intéresser à la puissance développable[16] lorsque l'on traite de la sécurité d'approvisionnement. En ces termes, comme le montre le tableau ci-dessus, les sept réacteurs belges ne contribuent qu'à hauteur de 37% à la capacité de production électrique de la Belgique[17].

Cela s'explique par le fait que toutes les capacités de production ne sont pas mises à contribution simultanément. Certaines centrales tournent en permanence parce qu'elles sont peu flexibles (en particulier les centrales nucléaires) et forment ce qu'on appelle la base de la production électrique. D'autres, plus flexibles (TGV), plus petites (unités décentralisées à base d'énergies renouvelables...) et/ou plus intenses en carbone (charbon) servent en intermittence pour l'appoint (cfr. chapitre 4.1.5.1).

2.3.6. Durable, notre production d'électricité ?

La production d'électricité grâce aux sources d'énergie renouvelables est marginale en Belgique, comme le montre la figure 12.

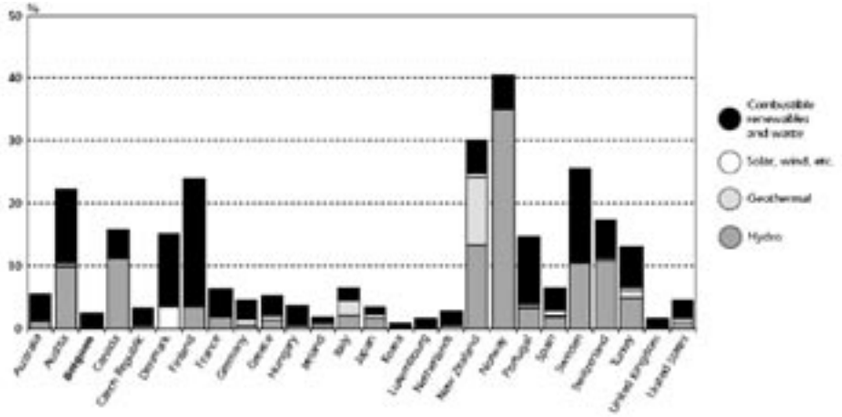


Figure 12 : Part des sources d'énergie renouvelables dans la production d'électricité pour les pays de l'AIE en 2004 . Source : AIE, Energy policies of IEA countries – Belgium In-depth review, 2005.

De façon similaire, la cogénération est à la traîne dans notre pays (figure 13).

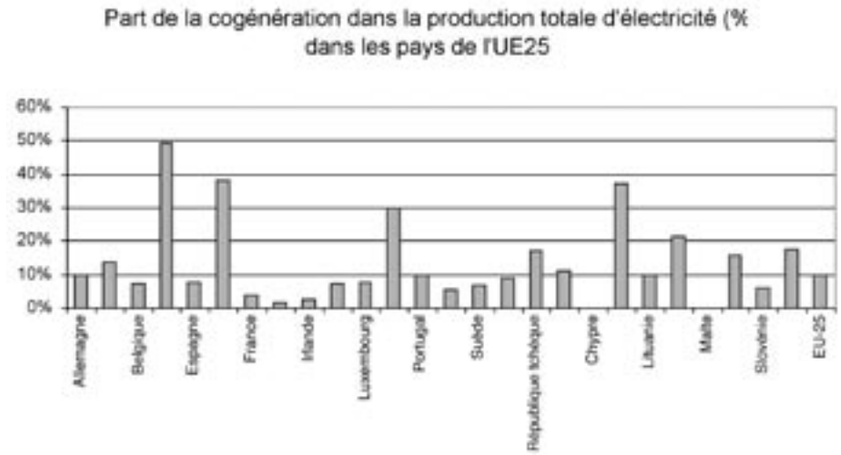


Figure 13 : Part de la cogénération dans la production d'électricité pour les pays de l'EU25 en 2002. Source : Eurostat, Statistics in focus - Environment and energy, mars 2006.

Le constat est implacable : la Belgique, même si elle ne dispose pas d'un potentiel d'énergies renouvelables aussi important que d'autres pays plus privilégiés, ne s'est jamais souciée de développer ni les sources d'énergies renouvelables ni la cogénération. Ce n'est que récemment, suite aux contraintes imposées par le Protocole de Kyoto, aux objectifs fixés par la Commission européenne, à la stagnation de la production nucléaire et aux instruments mis en place sous la législature « arc-en-ciel », que les énergies renouvelables et la cogénération sortent véritablement de l'ombre. Les différents systèmes de certificats verts mis en place dans notre pays ont permis de donner un élan au développement des renouvelables et de la cogénération. Mais une réelle volonté politique est nécessaire pour exploiter les potentiels existants et ainsi choisir la voie du développement durable.

Les certificats verts

Le mécanisme des certificats verts (CV), géré en Région wallonne par la CWaPE, est « destiné à promouvoir les investissements en matière d'installations de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables et à partir d'installations de cogénération. L'octroi de ces titres se fait proportionnellement à l'économie de CO_2 réalisée par cette installation, un certificat vert étant attribué pour une économie d'émission de CO_2 correspondant à une centrale électrique de référence, soit 456 kg de CO_2. » Les fournisseurs d'électricité sont tenus de remettre trimestriellement à la CWaPE un certain nombre de CV en fonction des MWh qu'ils ont vendus, pendant cette période, sous peine de devoir s'acquitter d'une amende. (www.cwape.be)

Notes

1. *http://www.industrie.gouv.fr*
2. *Roth C., Steiner A.*, A l'affût de l'énergie grise, *SIGA/ASS, 1999.*
3 *Table 1*, «World Population From Year 0 to Stabilization », *p. 5 http://www.un.org/esa/population/publications/sixbillion/sixbilpart1.pdf*
4 *AIE*, World Energy Outlook, *2004.*
5 *Moyenne pour les 10% de ménages aux revenus les plus faibles et les 10% de ménages aux revenus les plus élevés. Source : ICEDD*, Le défi à la lumière des chiffres et des bilans, *2006.*
6 *AIE*, Key World energy statistics, *2005.*
7 *AIE*, Key World energy statistics, *2005.*
8 *AIE*, World Energy Outlook *2006.*
9 *Froggatt A. & Schneider M.*, The world nuclear industry status report 2004, *2004.*
10 *Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research*, Gestion de la demande d'énergie, dans le cadre des efforts à accomplir par la Belgique pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre pour le Ministère des Affaires économiques, *2003.*
11 *Commission pour l'analyse des modes de production de l'électricité et le redéploiement des énergies. Constituée en 1999, elle est chargée de formuler des recommandations et des propositions sur les choix futurs en matière de production d'électricité afin que ceux-ci correspondent aux impératifs sociétaux, économiques et environnementaux du 21ème siècle.*
12 *La Commission européenne et ses Etats-membres ont en effet entamé un processus de libéralisation des marchés de l'électricité et du gaz en les ouvrant progressivement à la concurrence, dans le but d'« améliorer la compétitivité et la croissance de l'Europe ». Déjà une réalité pour les clients professionnels, l'ouverture de ces marchés stratégiques à la concurrence doit selon les directives être effective en juillet 2007 au plus tard pour l'ensemble des consommateurs d'électricité et de gaz, qui pourront alors librement choisir leurs fournisseurs.*
13 *Commission AMPERE*, Rapport principal, *2000.*
14 *Disponibles sur http://mineco.fgov.be.*
15 *FPE*, Rapport annuel, *2004.*
16 *La puissance nette développable (MW) est la puissance qui peut être produite en continu durant une période de fonctionnement prolongée.*
17 *FPE*, Rapport annuel, *2004.*

3. LES ENJEUX CROISÉS DE L'ÉNERGIE

Une période charnière se profile en matière d'énergie, dominée par trois enjeux considérables[1]. D'abord, le fort développement économique des pays émergents, notamment la Chine et l'Inde, dont les seules populations représentent le double de celles de l'ensemble des pays industrialisés, tire à la hausse la demande d'énergie mondiale.

Les changements climatiques viennent ensuite profondément modifier la donne en exigeant une refonte profonde des modes de production et de consommation d'énergie. Cette lutte va imposer d'ici 2050 une division par quatre des émissions de CO_2 des pays industrialisés à l'aune de laquelle les exigences du Protocole de Kyoto apparaissent déjà bien timides.

Enfin, dernier défi, le déclin inexorable des réserves fossiles et fissiles et l'augmentation du prix de l'énergie induit par ce déclin.

La maîtrise de la demande en énergie apparaît donc, à l'évidence, comme une première nécessité, tout comme le recours à des énergies non émettrices de CO_2 et, de préférence, accessibles à tous.

Ce sont ces différents enjeux que nous détaillons dans ce chapitre.

3.1. La maîtrise de la demande d'énergie : un défi pour le 21ième siècle

Pour véritablement appréhender les défis qui se posent en matière énergétique et sortir du débat limité aux sources d'énergie, il est éclairant de s'intéresser à la situation mondiale, présente et future. De nombreux scénarios énergétiques mondiaux à long terme existent. Ils ont été décrits, notamment, par Benjamin Dessus[2].

Certains relèvent de la prévision et dessinent l'évolution la plus probable si les tendances observées dans la période récente se prolongent sur la période étudiée. C'est le cas de celui analysé par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans le *World Energy Outlook 2004*[3], décrivant une situation inquiétante à l'échéance de vingt-cinq ans (figure ci-dessous). En 2030, en effet, la demande d'énergie devrait avoir augmenté de 66 % par rapport à 2002 (100 % pour le gaz naturel, 60 % pour le pétrole, 55 % pour le charbon, 100 % pour les énergies renouvelables, stagnation pour le nucléaire) et les émissions de gaz carbonique de 70 %...

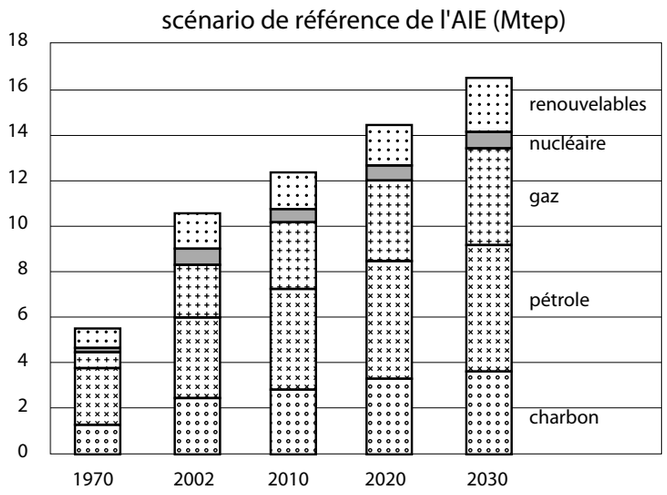


Figure 14 : Evolution de la consommation énergétique mondiale à l'horizon 2030 – Scénario de référence de l'AIE. Source : AIE, World Energy Outlook, 2004.

D'autres scénarios relèvent de la prospective ; ils mettent en scène des images contrastées qui reflètent différentes politiques énergétiques et leurs conséquences dans le temps, en termes de demande et d'offre, ainsi que d'environnement. C'est le cas de ceux proposés par l'*International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) pour le compte du Conseil mondial de l'énergie, et du scénario Noé (Nouvelles options énergétiques) du Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Ils se fondent sur les mêmes croissances démographiques (10 milliards d'habitants en 2050), mais affichent des objectifs très contrastés :

- d'un côté, le *développement technologique et l'abondance énergétique* (famille des scénarios A). Les variantes se construisent autour d'options contrastées sur la participation des différentes sources primaires au bilan mondial, et sur les filières de transformation en énergies finales. Globalement, ces scénarios cumulent la plupart des risques à des niveaux élevés (l'effet de serre, les déchets et accidents nucléaires, l'épuisement des ressources fossiles et la concurrence d'usage des sols du fait de l'utilisation accrue de la biomasse comme source d'énergie). Ils admettent les risques comme inéluctables et se différencient par la diminution ou l'augmentation d'un des risques par rapport aux trois autres.
- de l'autre, *la sobriété et le respect de contraintes d'environnement*, en particulier la limitation des émissions de gaz à effet de serre ou des déchets nucléaires (famille des scénarios C) ou leur limitation simultanée (scénario Noé). Le présupposé est qu'il ne faut pas choisir entre les risques, mais reculer leur émergence le plus loin possible. Cette approche élargit la politique énergétique, traditionnellement consacrée à l'offre, à l'ensemble des secteurs d'activité structurant la demande. Elle accorde donc la plus grande attention à l'aménagement des territoires et aux grandes infrastructures d'urbanisme, de transport, de logement.

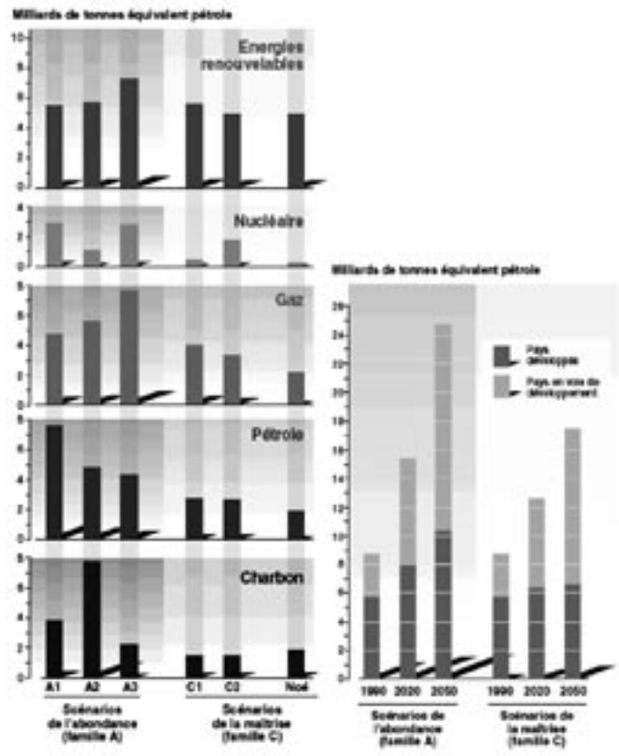


Figure 15 : Scénarios prospectifs de l'IIASA. En 2050

Pour la famille des scénarios A, les besoins énergétiques mondiaux cumulés représentent environ 25 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep) pour 2050, et entre 15 et 17 milliards de tep pour la famille des scénarios C et Noé.

On constate, dès 2020, un écart très important entre les scénarios extrêmes (famille A et Noé) : presque 4 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep). En 2050, l'écart entre ces mêmes scénarios dépasse la consommation énergétique mondiale actuelle (environ 10 milliards de tep). Dans une prospective à l'an 2100, la divergence entre eux dépasse un rapport de 1 à 5. On voit combien les différences sont considérables et à quel point les décisions prises aujourd'hui sur les orientations des politiques énergétiques sont lourdes de conséquences pour l'avenir.

Les images proposées diffèrent bien plus par les volumes de demande d'énergie considérés comme indispensables (l'abondance ou la maîtrise) que par l'importance plus ou moins grande accordée aux différents moyens de production. Ce n'est pas tant le recours aux énergies renouvelables qui caractérise les scénarios C et Noé que la faible demande énergétique qu'ils mettent en scène.

Par ailleurs, dans aucun des scénarios de prospective énergétique, même les plus « nucléarisés », le nucléaire ne représente plus de 5 à 10 % de consommation finale d'énergie en 2050. Ce n'est

pas négligeable, mais même si l'on supposait le nucléaire neutre en CO_2, le problème de l'effet de serre serait loin d'être résolu.

Du point de vue des risques, seuls les scénarios « sobres » apparaissent comme susceptibles d'éviter des ruptures majeures.

Du point de vue économique, les scénarios sobres se comparent favorablement aux scénarios d'abondance énergétique : les coûts de production et de distribution d'énergie sont en effet bien souvent supérieurs aux coûts des mesures et actions d'efficacité énergétique et cet avantage est largement exploité dans ces scénarios.

La maîtrise de la demande d'énergie apparaît à l'évidence comme la principale marge de manœuvre pour l'action. L'urgence d'une action déterminée dans cette direction apparaît aussi clairement.

3.2. Le réchauffement climatique

3.2.1. Petit rappel sur la problématique climatique

Depuis la révolution industrielle, la concentration en dioxyde de carbone (CO_2, principal gaz à effet de serre responsable des changements climatiques) dans l'atmosphère s'est accrue de plus de 30% (elle est passée de 280 à 381 ppmv). La combustion des énergies fossiles est principalement mise en cause. Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), qui rassemble des milliers de scientifiques du monde entier, prévoyait dans son dernier Rapport d'Evaluation[4] une augmentation de la concentration de CO_2 de 75 à 350% (540 à 970 ppmv) pour 2100. En conséquence, d'ici la fin du siècle, le réchauffement moyen de la Terre atteindra de 1,4 à 5,8°C et la mer montera de 9 à 88cm si l'on ne prend pas les mesures qui s'imposent[5]. Le prochain rapport de synthèse du GIEC, attendu pour 2007, devrait être plus alarmiste encore puisque l'on observe que la tendance actuelle se situe dans la partie supérieure des intervalles précités. Les conséquences de ces brusques changements sont multiples et difficiles à prévoir : événements climatiques extrêmes (tempêtes, ouragans, inondations, etc.), extension des maladies tropicales, disparition d'écosystèmes et érosion de la biodiversité… Ce sont les pays les plus pauvres, donc les plus vulnérables, qui seront le plus touchés. Ce sont pourtant les moins responsables du réchauffement global[6].

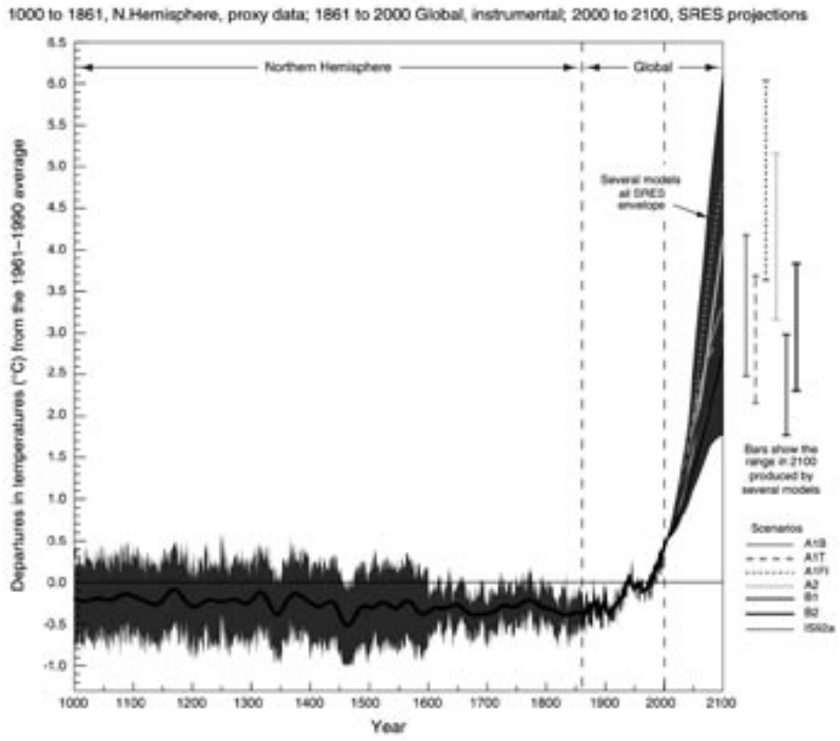


Figure 16 : Augmentation de la température durant le XXIème, suivant les scénarios SRES.

Source : GIEC, Bilan 2001 des changements climatiques – Rapport de synthèse.

La communauté internationale a réagi en adoptant en 1992 une convention-cadre sur les changements climatiques. Celle-ci stipule en son article 2 que la concentration des gaz à effet de serre doit pouvoir être stabilisée à un niveau considéré comme non dangereux pour le système climatique. Cette convention a été suivie du Protocole de Kyoto en 1997, au travers duquel les pays industrialisés signataires se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 5,2% entre 1990 et 2008-2012. L'Union européenne est ainsi tenue de réduire ses émissions de 8% sur la même période, et suite à un partage de charges entre pays européens, la Belgique a hérité d'un objectif de réduction de 7,5%. Tous les spécialistes s'accordent pour dire que le Protocole de Kyoto n'est qu'un premier pas, largement insuffisant pour faire face au défi des changements climatiques. Des réductions de 30% d'ici 2020 et de 80% d'ici 2050 par rapport à 1990 seront nécessaires dans les pays industrialisés pour obtenir des chances raisonnables de maintenir le réchauffement global sous la barre des 2°C par rapport à l'ère pré-industrielle, seuil au-delà duquel des effets dramatiques et irréversibles sont prévus.

3.2.2. Les incontournables dans la lutte contre le changement climatique

Différentes études en Europe[7] ont exploré la faisabilité de « sociétés sobres en carbone » avec les objectifs de réduction des émissions de CO_2 suivants :

- en Allemagne[8,9]: -80 % en 2050 par rapport à 1990 ;
- en Suisse[10]: -46 % en 2030 par rapport à 1990 ;
- aux Pays-Bas[11,12]: -80 % en 2050 par rapport à 1990 ;
- au Royaume-Uni[13,14,15,16]: -60 % en 2050 par rapport à 1997 ;
- en France[17] : -67% en 2050 par rapport à 2000.

L'Australie, qui n'a pas ratifié le protocole de Kyoto, a quant à elle publié une étude présentant un scénario[18] basé sur un objectif de réduction de 60% à l'horizon 2050 par rapport à 1998/99.

Ces études aboutissent toutes à des conclusions très semblables : un scénario « sobre en carbone et en énergie » est possible, à la condition impérative d'amorcer au plus vite ce basculement majeur dans notre système de consommation et de production d'énergie.

Il existe évidemment des combinaisons multiples entre les actions de maîtrise de la demande d'énergie et de mobilisation de moyens de production, mais les stratégies principales identifiées et proposées pour réaliser les objectifs de réduction sont partagées par toutes les études :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique ;
- une modification des comportements ;
- la restructuration de l'offre énergétique : réduction de l'intensité en carbone et recours accru aux énergies renouvelables ;
- le recours accru à la cogénération ;
- les politiques structurelles (aménagement du territoire, fiscalité, mobilité).

Le secteur des transports représente l'enjeu le plus important (amélioration de l'efficacité des véhicules, substitution des carburants, maîtrise de la demande) vu la croissance observée et prévue du secteur.

A nouveau, la maîtrise de la demande (efficacité énergétique, comportements, recours à la cogénération, aménagement du territoire, mobilité) est au cœur du problème. Les renouvelables aussi sont incontournables.

3.3. Toutes nos réserves énergétiques s'épuisent sauf...

La plus grande partie de l'énergie produite à l'heure actuelle l'est à partir de sources d'énergie limitées. Tôt ou tard, on devra adapter notre système énergétique pour faire face à la raréfaction des ressources. Un aperçu des réserves énergétiques mondiales est présenté ci-dessous.

Pétrole	41 ans
Uranium	35(*) à 65(**) ans
Gaz	67 ans
Charbon	192 ans
Energies renouvelables	Tant qu'il y aura du soleil...

Tableau 3 : réserves énergétiques mondiales au rythme de consommation actuelle[19].
Sources : British Petroleum, Energy review 2004 *pour les énergies fossiles, (*) Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIAE),* Analysis of Uranium Supply to 2050, *2003 et (**) Agence pour l'énergie nucléaire (AEN),* Uranium 1999 – Ressources, Production and Demand, *1999 pour l'uranium.*

Il est à souligner que les chiffres présentés dans le tableau ci-dessus correspondent aux niveaux de consommations actuels. Sans un infléchissement de la tendance à la hausse de nos consommations énergétiques, ces réserves seront probablement à revoir à la baisse.

Notons aussi que, bien avant que la pénurie soit effective, nous serons confrontés au problème de la hausse des prix de ces ressources face à une demande en croissance, ce qui affectera sérieusement les conditions économiques et sociales.

3.4. Des techniques accessibles au plus grand nombre

Comme le montrent les scénarios de la page 41, l'augmentation de la consommation d'énergie dans le futur viendra essentiellement des pays en développement. A l'échelle mondiale, le point clé reste le fait que les équipements élaborés et diffusés dans les pays industrialisés déterminent le développement au sud.

Il apparaît donc clairement que, bien que chaque pays choisira sans doute sa propre combinaison d'actions, les techniques qui seront décisives pour faire face aux enjeux, à l'échelle mondiale, seront celles qui pourront être mises en œuvre le plus rapidement possible dans le plus grand nombre de pays[20]: qualité de la construction des bâtiments, sobriété des équipements, sobriété des véhicules, cogénération et développement des renouvelables. Ce seront aussi les plus porteuses d'un point de vue économique et social.

Les efforts de recherche devraient eux-aussi se coordonner et ne plus se focaliser principalement sur les intérêts des pays du Nord et sur les technologies à l'extension limitée et aux coûts inaccessibles pour beaucoup.

Notes

1 *Radanne P.*, Energies de ton siècle. Des crises à la mutation, *Ed. Lignes de repères, 2005.*

2 *Dessus B.*, L'alibi politique des utopies technologiques, *Le Monde diplomatique, janvier 2005.*

3 *AIE*, World Energy Outlook, *2004.*

4 *GIEC*, Bilan 2001 des changements climatiques – Rapport de synthèse.

5 *Notons que la grande variabilité des chiffres avancés s'explique dans une mesure importante par les incertitudes liées à l'évolution de notre société (démographie, niveau d'activité économique, etc.). Les incertitudes scientifiques liées aux conséquences de l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère expliquent également cette variabilité.*

6 *GIEC*, Bilan 2001 des changements climatiques – Rapport de synthèse.

7 *Notamment les études analysées par la Mission interministérielle de l'effet de serre*, Que serait une société sobre en carbone ? Aperçus de programmes et réalisations à l'étranger, *Mark Tuddenham, novembre 2002. http://www.effet-de-serre.gouv.fr/fr/etudes/BilanMTpdf.pdf.*

8 *Enquete Commission of the German Parliament*, Report on Sustainable Energy Supply Against the Background of Globalisation and Liberalisation – Summary of the final report, *2002.*

9 *Wuppertal Institut für Klima and DLR*, Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland *(Scénarios à long terme pour l'utilisation durable de l'énergie en Allemagne), 2002.*

10 *Prognos AG*, Ergänzungen zu den Energieperspektiven 1990-2030: Scenario IV: verschärfte und auf Nachhaltigkeit ausgerichtete CO_2-Reduktion (Synthesebericht) (Compléments aux perspectives énergétiques 1990-2030: Scénario IV: réduction intensifiée de CO_2 orientée vers la durabilité - rapport de synthèse, *1997). (www.energie-forschung.ch/ENET).*

11 *COOL project (Climate Options for the Long term)*, The national dialogue - Results and recommendations. Synthesis Report, *2001. (http://www.wau.nl/cool/).*

12 *Groupe de travail sur la politique climat, initiative du groupe de réflexion sur la politique de l'énergie*, Climate change – Solution in sight : A Dutch perspective, *2000.*

13 *DTI (Department of Trade and Industry)*, Long-term reductions in greenhouse gas emissions in the UK – *a report of an Interdepartmental Analysts Group, 2002. (http://www.dti.gov.uk/energy/greenhousegas/).*

14 *AEA Technology/Imperial College Centre for Energy Policy and Technology*, Options for a low carbon future – *a report produced for the Department of Trade and Industry (DTI), the Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) and the Performance and Innovation Unit (PIU), 2002. (http://www.dti.gov.uk/energy/environment/eerp/climatechange.shtml).*

15 *UK Energy White Paper*, Our energy future – creating a low carbon economy, *2003. (www.dti.gov.uk/energy/white-paper/).*

16 *DEFRA*, Energy Efficiency: The Government's Plan for Action, *2004. (www.defra.gov.uk)*

17 *Plus d'info sur http://www.negawatt.org/. L'Hexagone envisage par ailleurs un objectif de réduction de 75% des émissions entre 1990 et 2050, un groupe de travail « Facteur 4 » ayant récemment remis les conclusions de ses travaux qui avaient pour objectif d' « identifier les voies possibles pour une réduction par quatre des émissions de GES à l'horizon 2050 » (rapport disponible sur http://www.effet-de-serre.gouv.fr/fr/actions/rapport-final-lF4pdf.pdf).*

18 *The Australia Institute*, Long-term greenhouse gas scenarios – a pilot study of how Australia can achieve deep cuts in emissions, *Hal Turton, Jinlong Ma, Hugh Saddler, Clive Hamilton, Discussion paper n° 48, 2002.*

19 *Pour les combustibles fossiles, les chiffres du tableau ci-contre constituent les réserves prouvées, en 2003, à consommation constante.*

20 *Radanne P.*, Energies de ton siècle. Des crises à la mutation, *Ed. Lignes de repères, 2005.*

4. LE NUCLÉAIRE PERMET-IL DE RÉPONDRE À CES ENJEUX ?

Le nucléaire permettrait-il une réduction significative des émissions de CO_2 dans le monde et en Belgique ? Est-ce une option à garder à tout prix ? Est-ce une option compatible avec le développement d'alternatives ? Aurons-nous suffisamment d'uranium ? Au vu des éléments rassemblés, la réponse à chacune de ces questions est négative.

4.1. Le nucléaire : une réponse inefficace au réchauffement climatique

Si le lien entre émissions de gaz à effet de serre et changements climatiques n'est aujourd'hui plus sérieusement contesté, les moyens préconisés pour lutter contre ces changements divergent. Chacun sait que Kyoto n'est qu'un premier pas, largement insuffisant pour contribuer à long terme à réduire les émissions de gaz à effet de serre et contenir le réchauffement global. Mais la tentation est grande, pour éviter de remettre en question le mode de vie des pays industrialisés, qui ne peut pourtant être étendu à l'ensemble de la planète, de s'appuyer sur la perspective de progrès technologiques éventuels. Dans ce contexte, le nucléaire, très souvent présenté comme une technologie n'émettant pas de gaz à effet de serre, apparaît aux yeux de nombreux décideurs comme une « solution » de facilité, laissant croire, de plus, que le problème est pris en charge par le politique.

Qu'en est-il réellement ? Suffit-il de déployer massivement la technologie nucléaire pour enrayer le phénomène de réchauffement climatique ? Les préoccupations croissantes en matière de réchauffement du climat justifient-elles un recours accru à l'atome dans notre production d'électricité ? Est-il possible de réduire drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre sans l'énergie atomique ? Pour répondre à ces questions fondamentales, il convient de prendre du recul par rapport à la situation belgo-belge et d'aborder cette problématique à l'échelle planétaire.

4.1.1. Ce que dit le protocole de Kyoto du nucléaire

Invoquer le recours au nucléaire comme moyen d'atteindre les objectifs de Kyoto est contraire à l'esprit du protocole de Kyoto pour deux raisons au moins. Tout d'abord, parce que l'article 2 du Protocole énumère, à titre d'exemple, les « politiques et mesures » que les pays, en fonction de leur situation nationale, peuvent « appliquer et/ou élaborer » pour lutter contre les changements climatiques. Sont ainsi mentionnés : accroissement de l'efficacité énergétique, réduction progressive ou suppression graduelle des imperfections du marché, promotion de formes d'agriculture durables, etc. Pas un mot sur le nucléaire. Deuxièmement, parce que les Accords de Bonn et Marrakech, adoptés dans la foulée du protocole de Kyoto, préviennent que les économies de CO_2 liées aux projets nucléaires ne pourront constituer des crédits valables pour le compte des mécanismes de flexibilité.

Les mécanismes de flexibilité

Pour faciliter l'atteinte des objectifs pris dans le cadre du Protocole de Kyoto, et ce de manière plus efficace sur le plan économique, des mécanismes dits « de flexibilité » ont été mis en place en complément des mesures domestiques qui devront être prises par les Parties. Un *marché d'échanges* de permis d'émissions sera constitué afin de permettre aux pays industrialisés dont les émissions sont inférieures à leur objectif de vendre des quotas à ceux qui présentent un déficit. La *mise en œuvre conjointe* permet à un pays industrialisé d'investir dans des projets de réduction d'émissions dans un autre pays industrialisé. Les émissions ainsi évitées pourront être créditées au pays investisseur. Le *mécanisme de développement propre* est similaire au précédent, mais concerne les investissements dans des pays non-industrialisés, c'est-à-dire non engagés dans l'atteinte d'objectifs dans le cadre du Protocole de Kyoto.

Les 184 pays signataires de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques – dont le protocole de Kyoto fait partie – ont ainsi admis que le recours au nucléaire ne saurait figurer parmi les moyens d'action pour contrer les changements climatiques. Et pour cause, la communauté internationale ne veut pas d'une prolifération nucléaire au nom des changements climatiques.

De son côté, le « triptich approach », qui a servi à partager les objectifs de réduction entre pays européens et qui constituera probablement le fondement de la méthode qui sera utilisée pour le prochain partage des charges, tient compte de « *l'usage du nucléaire selon les préférences nationales* ». Cela veut donc dire que la présence, l'absence ou le retrait du nucléaire est un élément dont il est tenu compte pour le calcul des plafonds d'émissions de GES de chaque pays. La Suède a ainsi obtenu un objectif de réduction de ses émissions qui tient compte de sa sortie programmée du nucléaire, décidée à l'époque. Et la Belgique pourrait donc également faire valoir sa « préférence nationale » pour négocier un objectif d'après Kyoto (après 2012) en cohérence avec sa décision de sortie progressive du nucléaire. D'ici-là, les objectifs pris dans le cadre du Protocole de Kyoto concernent la période 2008-2012, tandis que les fermetures programmées des centrales nucléaires belges ne seront mises en œuvre qu'entre 2015 et 2025. *La décision de fermer progressivement nos réacteurs nucléaires n'aura donc aucun impact sur l'aptitude de la Belgique à respecter ses premiers engagements internationaux*.

4.1.2. Les émissions de CO_2 liées à la filière nucléaire

L'énergie nucléaire est souvent décrite comme une source de production d'électricité dont l'impact sur le climat est neutre. S'il est vrai que les centrales n'émettent pas (ou extrêmement peu) de CO_2 lors de la production d'électricité, il est cependant nécessaire – comme pour toute source d'énergie – de tenir compte de l'entièreté de la filière pour évaluer les émissions imputables à la production d'électricité. Dans le cas du nucléaire, cela revient à prendre en compte l'exploitation, le raffinage et l'enrichissement de l'uranium ; la fabrication des assemblages combustibles ; la construction, le fonctionnement et le démantèlement des centrales ; le conditionnement des

déchets et leur stockage durant des centaines – voire des milliers – d'années (cette étape devra être assumée par les générations futures). L'énergie nécessaire à ces opérations est en grande partie d'origine fossile et source d'émissions de gaz à effet de serre.

Evaluer avec précision les émissions de l'entièreté de la filière nucléaire est un exercice très complexe, et les résultats présentés par les nombreuses études qui s'y sont essayé peuvent varier fortement. Les chiffres présentés par les sources proches de l'industrie nucléaire sont généralement inférieurs à 20 gCO_{2eq}/kWh (la Commission Ampère mentionne par exemple des émissions de 7 gCO_{2eq}/kWh, l'AIEA 8,3-18,8 gCO_{2eq}/kWh[2]). D'autres organismes évoquent des niveaux d'émissions supérieurs : l'Öko-Institut[3] les évalue à 33 gCO_{2eq}/kWh et cite des chiffres de l'AIE se situant entre 30 et 60 gCO_{2eq}/kWh[4]. Des chercheurs de l'Université de Groningen[5] évoquent quant à eux des chiffres encore supérieurs : entre 90 et 140 gCO_{2eq}/kWh, ce qui représente environ un tiers des émissions d'une centrale au gaz performante.

A la lumière des chiffres présentés ci-dessus, on constate donc qu'il est erroné de prétendre que le nucléaire n'émet pas de gaz à effet de serre, même si l'impact de cette technologie sur le climat est aujourd'hui inférieur à celui des énergies fossiles. L'Université de Groningen[6] apporte par ailleurs un élément important au débat : *les émissions liées à la filière nucléaire sont appelées à augmenter dans l'avenir.* Les émissions de CO_2 attribuables à la filière nucléaire dépendent en effet dans une large mesure de la richesse initiale en uranium dans le gisement. Si le minerai de départ contient au moins 0,1 % d'oxydes d'uranium, les émissions de CO_2 atteignent environ 30% de celles d'une centrale thermique performante fonctionnant au gaz[7]. Si cette richesse tombe à 0,01%, la consommation énergétique entraînerait une émission de CO_2 supérieure à celle d'une centrale thermique. L'étude conclut que, comme les gisements à plus de 0,1% d'oxydes d'uranium se raréfient puisque l'on exploite actuellement les plus riches, les émissions de CO_2 nucléaires, elles, ne cesseront d'augmenter. Les auteurs vont même jusqu'à estimer qu'à moyen terme, soit dans un laps de temps inférieur à la durée de vie des centrales, l'énergie consommée tout au long de la filière sera supérieure à celle produite par les réacteurs[8]!

De telles informations nécessitent d'être confirmées puisque très peu d'études complémentaires existent en la matière. La World Nuclear Association a réalisé une analyse de l'étude hollandaise, mais les auteurs ont répondu point par point aux critiques qui leur étaient adressées[9].

Le graphique ci-dessous reprend les maximums des émissions de CO_2 de quelques moyens de production d'électricité, tels que résumés par l'Öko-Institut[10].

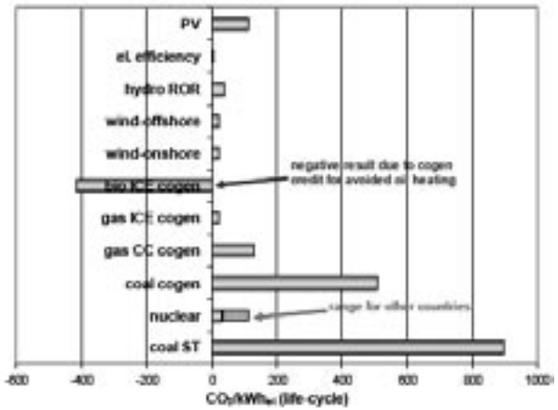


Figure 17 : Emissions de gaz à effet de serre des principales technologies de production d'électricité

Source : Oko-Institut, Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and abatement cost of nuclear and alternative energy options from a life-cycle perspective, 2006[11].

Il est ici intéressant de comparer le niveau d'émissions du nucléaire à celui de la cogénération. Les chiffres peu élevés de celle-ci s'expliquent par le fait qu'on soustrait des émissions de la production d'électricité, celles liées aux économies effectuées par la récupération de la chaleur pour le chauffage. Ainsi, dans une centrale thermique, chaque kWh d'électricité généré produit aussi 2kWh de chaleur... qui ne sont valorisés (sur place ou via un réseau de chaleur) que dans le cas d'une cogénération. La cogénération bénéficie des crédits de ces économies de chaleur, si l'on considère que celle-ci serait produite au moyen de combustibles fossiles dans une chaudière individuelle. De telles informations illustrent le potentiel de réduction de gaz à effet de serre qui pourrait être exploité en recourrant davantage à la production combinée d'électricité et de chaleur.

4.1.3. Quel effet espérer sur le climat ?

On vient de le voir, si de nombreuses incertitudes subsistent quant aux émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'électricité nucléaire et à l'évolution de celles-ci à l'avenir, l'énergie nucléaire bénéficie actuellement d'un avantage en termes d'impacts sur le climat par rapport aux énergies fossiles, en particulier le charbon. Dans un récent scénario BAU, l'Agence Internationale de l'Energie prévoit à l'échelle mondiale un recours accru aux énergies fossiles, en particulier le charbon. Faut-il défendre un déploiement de l'énergie nucléaire pour enrayer cette tendance dont les effets sur le climat seraient désastreux ? Sommes-nous face à un dilemme entre la peste et le choléra? C'est ce que certains redoutent.

Pourtant, à y regarder de plus près, on constate que le développement massif de l'énergie nucléaire qui serait nécessaire pour être susceptible de réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre est totalement irréaliste et improbable. La part minime qu'occupe actuellement le

nucléaire dans notre « mix énergétique » (moins de 3% des consommations finales) et sa faible contribution potentielle à une réduction des émissions de CO_2 au niveau mondial impliquent en effet que l'on développe considérablement le parc actuel.

Ainsi par exemple, l'étude « World energy, technology and climate policy outlook 2030 » publiée par la Commission européenne relativise fortement les bénéfices éventuels en termes d'émissions de CO_2 que pourrait induire un déploiement important de l'énergie nucléaire à l'échelle mondiale. Cette étude examine le rôle que seraient susceptibles de jouer diverses technologies de production d'électricité, si elles étaient soutenues massivement, dans une stratégie mondiale de réduction d'émissions à l'horizon 2030. Quatre scénarios sont examinés : recours accru au gaz naturel (dans des centrales performantes, notamment de cogénération), au charbon, au nucléaire, et aux renouvelables.

	Electricity generation based on :						Total
	%	%	%	%	%	%	%
Change as compared to Reference in 2030	Gas	Coal	Nuclear	Renewables	Total generation	CO_2 emissions	CO_2 emissions
Gas case	21.6	-12.2	-5.3	-10.5	0.3	-7.2	-1.6
Coal case	-16.0	15.0	-6.5	-10.2	1.1	0.3	0.0
Nuclear case	-7.1	-8.1	77.5	-9.9	0.6	-7.3	-2.8
Renewable case	-12.3	-8.8	-2.4	132.0	-2.2	-8.9	-3.0

Tableau 4 : Impact des 4 scénarios énergétiques en termes d'émissions de CO_2.

Source : Commission européenne, World energy, technology and climate policy outlook 2030, *2003.*

Les résultats, présentés dans le tableau 4 ci-dessus, doivent être lus comme suit : le scénario « gaz », par exemple, envisage à l'échelle mondiale un développement de la production d'électricité à partir de gaz de 21,6% par rapport au scénario de référence. Parallèlement, la production au moyen de charbon sera réduite de 12,2%, l'électricité nucléaire de 5,3% et les renouvelables de 10,5%. Au total, la production d'électricité augmentera de 0,3% et les émissions de CO_2 liées au secteur électrique seront réduites de 7,2%, toujours par rapport au scénario de référence. In fine, ce scénario prévoit une baisse de 1,6% de l'ensemble des émissions de CO_2.

Un enseignement important de ces résultats est le suivant : un développement du nucléaire (en particulier de l'EPR, considéré dans l'étude comme moins coûteux) n'entraînerait que peu de différence en matière d'émissions de CO_2 par rapport à un développement important des centrales au gaz : le premier permettrait de réduire de 7,3% les émissions par rapport au scénario de référence, le second 7,2%. Sans surprise, un recours accru au charbon entraînerait une hausse des émissions (+0,3%) tandis qu'un avenir tourné vers les renouvelables engendrerait une baisse de 8.9% des émissions de CO_2.

Les auteurs de l'étude attribuent les résultats peu favorables à l'atome au fait que le secteur de la production d'électricité « ne représente qu'environ un tiers des émissions mondiales de CO_2 » (le CO_2 comptant, au niveau mondial, pour environ 55% des émissions de gaz à effet de serre

d'origine anthropique). Le rôle que sont susceptibles de jouer les technologies exclusivement destinées à la production d'électricité est donc très réduit.

Une liste d'options mondiales pour résoudre la question climatique, recensées par l'Oeko-Institut[12] de Darmstadt (Allemagne), montre que le potentiel du nucléaire, via un triplement de cette énergie au niveau mondial, amène une moindre émission de l'ordre de 5 Gigatonnes (GT) de CO_2 soit le dixième des potentiels disponibles (tableau 5). Par rapport aux réductions nécessaires pour atteindre l'objectif de limiter les changements climatiques à moins de 2°C par rapport aux niveaux pré-industriels, soit 25 à 40 GT d'ici à 2050, le nucléaire n'est pas nécessaire même pour les scénarios de réduction d'émissions les plus ambitieux. Pour résoudre le problème à l'échelle globale, le nucléaire n'est qu'une option, loin d'être indispensable.

Triplement du nucléaire mondial	5
Efficacité énergétique dans les bâtiments	4
Efficacité énergétique dans l'industrie	5
Efficacité énergétique dans les transports	7
Amélioration des secteurs de l'énergie	2
Changement de combustible (charbon vers gaz)	3,6
Développement des énergies renouvelables (électricité et chaleur)	15
Capture et séquestration du carbone	4 à 10
Total	45 à 51,6

Tableau 5 : Potentiels d'économie de CO_2 à l'horizon de 2050 (en GigaTonnes de CO_2).

Source : Mathes F., Nuclear Energy and Climat Change, *Heinrich Boell Stiftung, 2005.*

Selon le Rocky Mountain Institute[13], chaque euro investi dans de nouvelles capacités nucléaires est gaspillé car la réduction des gaz à effet de serre pourrait être bien plus importante si cet euro était investi dans les économies et l'efficacité énergétique. Les programmes d'efficacité énergétique offrent en général un coût spécifique de réduction des gaz à effet de serre bien inférieur à celui du nucléaire. Pour lutter efficacement contre le réchauffement climatique, il faut des solutions rapides, en termes de déploiement collectif, et effectives, en termes de carbone évité par euro.

4.1.4. Développement massif du nucléaire à l'échelle planétaire : pas crédible

Pour que le nucléaire soit susceptible de contribuer significativement à la réduction de nos émissions, et considérant que cette technologie est neutre en carbone (ce qui est, nous l'avons vu, une simplification tronquée de la réalité), les spécialistes évoquent la nécessité de multiplier par dix au moins le nombre de réacteurs existants[14] d'ici la moitié du siècle. Si l'on tient compte du caractère vieillissant du parc nucléaire actuel, de nombreuses unités devraient en outre être remplacées, ce qui nécessiterait la construction de plus de 30 GW par an de capacité de production électronucléaire d'ici 2050 (soit l'équivalent d'une vingtaine de gros réacteurs par an).

Un tel scénario semble matériellement improbable si l'on considère la durée de concrétisation d'un projet de construction de réacteur (une décennie environ s'écoule entre la décision de construction et la connexion du réacteur au réseau) et les investissements pharaoniques – et risqués – qui s'imposeraient. En outre, l'on se heurterait rapidement à de nombreux défis qui paraissent aujourd'hui difficilement surmontables : les risques d'accidents et les impacts sur l'environnement seraient considérablement augmentés. La lutte contre le détournement de la technologie à des fins militaires, déjà ardue (en témoignent les situations en Iran et Corée du Nord), se complexifierait davantage encore. Un contrôle étroit des quantités importantes de Plutonium qui seraient alors produites nécessiterait la mise en place d'un régime de surveillance important et inédit à l'échelle internationale. La gestion des déchets radioactifs deviendrait plus préoccupante que jamais, alors que le stockage sûr et à long terme des déchets hautement radioactifs reste aujourd'hui un problème sans solution. Des infrastructures complexes et la construction de réseaux électriques hyper-centralisés seraient nécessaires dans de nombreux pays aujourd'hui totalement inadaptés à ce mode de production d'électricité. On devrait enfin faire face à des ressources en uranium rapidement insuffisantes ou disponibles à des prix exorbitants (et nécessitant, on l'a vu, une énergie croissante pour les opérations d'extraction et d'enrichissement). Les gisements exploités ne permettent en effet que de satisfaire la moitié des besoins actuels (le solde provenant de stocks militaires, de déchets retraités, etc.), et une augmentation des capacités d'extraction d'uranium est extrêmement complexe à mettre en œuvre (l'expérience montre que 10 à 20 ans sont nécessaires entre la découverte d'un gisement et son exploitation[15]).

De nombreux facteurs laissent donc penser qu'un développement massif de la technologie nucléaire à l'échelle planétaire n'est pas souhaitable (même dans le contexte d'un réchauffement global), et par ailleurs très peu probable. Sa contribution potentielle à la réduction des émissions de gaz à effet de serre serait en outre plus que limitée au regard des autres secteurs qui connaissent, eux, une croissance importante de leurs émissions (le transport en particulier). C'est à ce niveau-là que se situent les réels enjeux en matière d'atténuation des changements climatiques.

Un autre argument souvent avancé est le progrès technologique, le « nucléaire du futur », sans risque, sans déchet, avec des ressources pour des milliers d'années, ou encore la fusion nucléaire promise pour dans cinquante ans depuis… un demi siècle. Soyons clair : en terme de réchauffement climatique, ces ruptures technologiques, même si elles se produisent, arriveront trop tard pour répondre aux enjeux auxquels nous sommes aujourd'hui confrontés.

4.1.5. Kyoto et la sortie du nucléaire en Belgique

Nombreux sont ceux qui craignent une hausse importante des émissions de gaz à effet de serre de la Belgique en cas de fermeture des centrales nucléaires. Bien que les émissions induites en amont et en aval de la production d'électricité nucléaire soient rarement prises en compte dans ce type de raisonnement, il est évident que le faible niveau d'émissions lors de la production d'électricité laisse à penser que la sortie du nucléaire, puisqu'elle ne pourra être totalement compensée par le développement des sources d'énergie renouvelables, entraînera une hausse des émissions de CO_2 dans notre pays.

Mais il convient d'aborder cette question sous un angle plus global : est-il possible de réduire nos émissions de gaz à effet de serre de 80% d'ici 2050, comme le préconisent les scientifiques, tout en maintenant la décision de fermer progressivement nos sept réacteurs nucléaires d'ici 2025 ? De nombreuses études réalisées sur la question répondent par l'affirmative.

4.1.5.1. Les émissions de CO_2 liées à la production d'électricité en Belgique

Comme évoqué précédemment, la production d'électricité est responsable d'une part limitée – mais néanmoins non négligeable – des émissions de CO_2. Elle représentait, en 2002, 16,5% des émissions de gaz à effet de serre en Belgique et environ un tiers à l'échelle mondiale. Les centrales au charbon, qui bénéficient d'un regain d'intérêt au niveau mondial en raison de l'augmentation plus rapide des prix du pétrole et du gaz, sont de loin les plus polluantes (voir la figure 17 page 50).

En Belgique, les caractéristiques d'émissions de CO_2 du secteur électrique sont les suivantes :

Belgique	$gCO_2/kWh_{électrique}$
Parc électrique moyen $kWh_{électrique}$ marginal	325 (2005)

Source : CFDD, Troisième avis sur une stratégie de prévention des changements climatiques au-delà de 2012, *2005; Institut wallon; Vito*

On note ainsi qu'avec un taux d'émissions actuel de $325gCO_2$, le kWh électrique belge émet davantage de CO_2 que l'équivalent énergétique de la combustion directe du gaz naturel ($198g/kWh_{th}$) et que le mazout ($270\ g/kWh_{th}$). Relevons en outre que le kWh marginal (c'est à dire le dernier kWh consommé) est responsable d'émissions de CO_2 nettement supérieures au kWh moyen. Ainsi en Belgique, en heure de pointe, le dernier kWh consommé émet l'équivalent de $687gCO_2/kWh$[16]. Cela s'explique par le fait que les derniers kWh ne sont pas produits par les unités de base mais bien par les unités de pointe, selon le *merit order*. Les unités de production sont ainsi classées par ordre d'appel selon les coûts marginaux de production. Au fur et à mesure que la demande d'électricité augmente, les producteurs activent leurs unités de production dans un ordre croissant de coûts de production, comme illustré par la courbe d'offre d'électricité dans la figure ci-dessous.

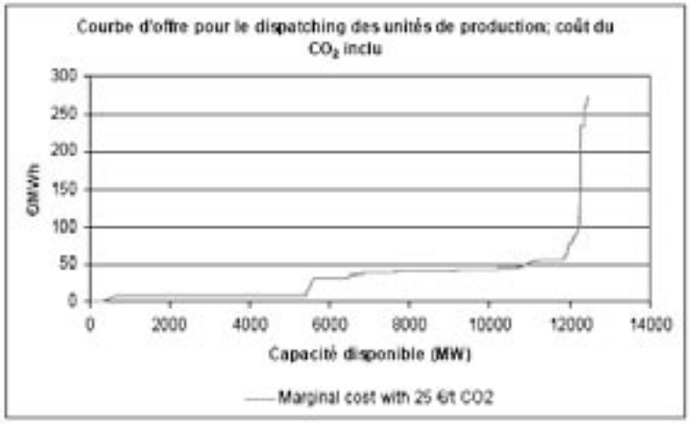


Figure 18 : Merit order *du parc de production d'électricité centralisé, coût du CO_2 inclus. Source : CREG,* L'impact du système des quotas d'émissions de CO_2 sur le prix de l'électricité, *2006.*

Les différents paliers représentent successivement :

- Les centrales nucléaires ;
- Les centrales de pompage-turbinage ;
- La biomasse ;
- Les turbines à gaz à cycle combiné ; les centrales thermiques au charbon et les centrales thermiques au gaz ;
- Les turbines à gaz à cycle ouvert ;
- Les diesels ;
- Les turbojets.

Les deux derniers types de centrales étant des unités de secours, la centrale marginale sera, selon le niveau de la demande, une unité au gaz ou une unité au charbon, moins performante et donc plus polluante. C'est pour cette raison que l'on peut considérer qu'économiser un kWh électrique en période de pointe de consommation évite l'émission de $687gCO_2$ (et pas seulement les 325g de la moyenne du parc belge).

On peut donc considérer que le chauffage électrique émet nettement plus de CO_2 qu'un chauffage performant, même si ce dernier utilise des combustibles fossiles : d'une part parce que le taux d'émission moyen du parc électrique belge est supérieur à celui de la combustion directe du gaz naturel dans une chaudière domestique performante, d'autre part parce que le chauffage électrique est souvent utilisé pendant les heures de pointe, principalement en soirée, durant la période d'hiver, ce qui nécessite de recourir aux installations de production d'électricité moins performantes (gaz et charbon).

Le niveau moyen d'émissions de CO_2 du parc électrique belge – peu élevé par rapport à certains pays voisins en raison de la part importante du nucléaire – a connu une diminution continue depuis plus de vingt ans, comme l'illustre la figure ci-dessous.

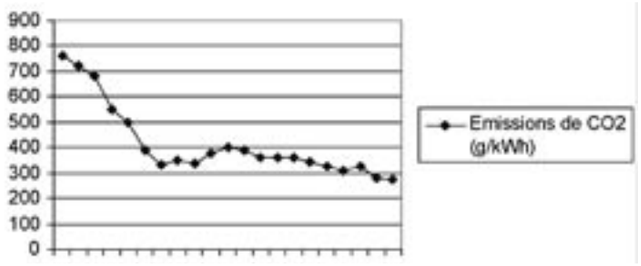


Figure 19 : Évolution des émissions de CO_2 du parc électrique belge (g/kWh). Source : Electrabel, SPE, FPE.

Il est intéressant de constater que la baisse continue des émissions moyennes du parc électrique a été observée même depuis la mise en route de la dernière centrale nucléaire dans notre pays (en 1985). Cela s'explique par la fermeture progressive des centrales les plus polluantes, principalement celles fonctionnant à l'aide de combustibles fossiles solides et liquides, et le recours accru aux centrales au gaz performantes depuis une vingtaine d'années.

Les potentiels de réduction d'émissions du parc électrique sont encore importants puisqu'à l'heure actuelle, un sixième de la production électrique belge est toujours assurée par des centrales thermiques à combustibles liquides et surtout solides. Malgré la fermeture des centrales nucléaires, une diminution de ces émissions moyennes de CO_2 est encore possible. C'est d'ailleurs ce que prévoit une récente étude réalisée par le Bureau fédéral du Plan[17] à la demande des ministre fédéraux de l'environnement Bruno Tobback et de l'énergie Marc Verwilghen. Dans le scénario BAU de l'analyse des réductions d'émissions à l'horizon 2020, le BfP table sur une réduction des émissions moyennes entre 2000 et 2010, et ensuite une stabilisation jusqu'en 2020. Aucune hausse de l'intensité en carbone du parc de production d'électricité ne serait donc observée durant la prochaine décennie, malgré la fermeture des trois premiers réacteurs (ceux de moindre capacité). Il va de soi qu'une politique plus volontariste en matière de cogénération et de renouvelables permettrait d'améliorer encore les performances de notre parc électrique. Néanmoins, l'étude du BfP prévoit, malgré les chiffres ci-dessus, une hausse des émissions imputables au secteur de production d'électricité sur la même période. Cela s'explique par une augmentation de la demande d'électricité. L'augmentation de l'efficacité énergétique du secteur serait donc annihilée par les consommations accrues.

4.1.5.2. L'impact de la sortie du nucléaire sur les émissions de gaz à effet de serre en Belgique

Comme nous l'avons expliqué aux chapitres 2.2 et 2.3 la production d'électricité ne représente qu'une part limitée de la problématique énergétique. Il est donc indispensable d'adopter une approche globale pour aborder le problème. En 2003, notre pays a émis quelque 147 Mt $CO_{2éq}$ dans l'atmosphère, dont 16,5% (23,6 Mt $CO_{2éq}$) étaient imputables au secteur de production publique d'électricité (lequel intervient à hauteur de 80% dans les émissions des secteurs énergétiques)[18].

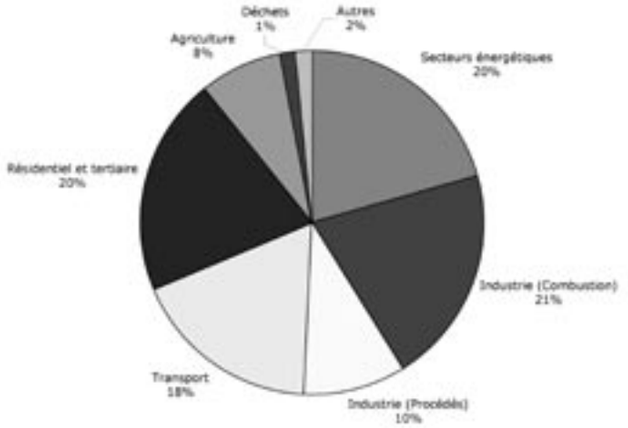


Figure 20 : Contribution des principaux secteurs à l'émission de gaz à effet de serre en 2003. Source : Commission nationale Climat, Quatrième communication nationale sur les changements climatiques en vertu de la CCNUCC, *2006.*

Une analyse de l'évolution de la contribution des différents secteurs aux émissions totales de gaz à effet de serre de la Belgique conduit à relativiser plus encore l'importance qui est accordée à la production d'électricité dans cette problématique, comme l'illustre la figure 21 ci-dessous.

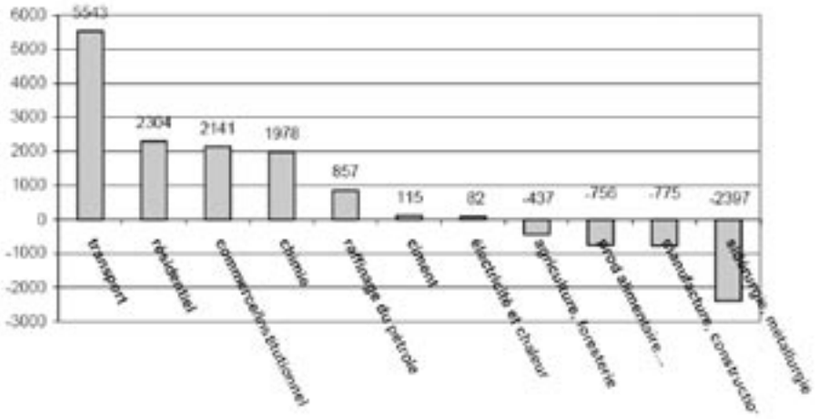


Figure 21 : Evolution annuelle des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2003 pour les principaux secteurs émetteurs en Belgique. Source : CFDD, Troisième avis sur une stratégie de prévention des changements climatiques au-delà de 2012, *2005.*

On constate sur la figure 21 que les secteurs résidentiel et tertiaire, mais surtout des transports, ont connu une hausse importante de leurs émissions depuis l'année de référence du Protocole de Kyoto. Pour ce qui concerne les industries, les secteurs de la sidérurgie et des aciéries ont vu leurs émissions diminuer fortement (principalement en raison de la fermeture de sites), tandis que les industries chimiques ont augmenté leurs émissions de façon non négligeable.

Même s'il ne faut évidemment pas négliger la production d'électricité, présenter le maintien du nucléaire comme un élément central pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre trahit donc la réalité : les véritables enjeux se situent ailleurs, en particulier dans les secteurs des transports et des bâtiments (résidentiel et tertiaire). Or, peu de mesures structurelles ont été prises ces dernières années en la matière, malgré les nombreux bénéfices qu'une telle stratégie pourrait induire. Plusieurs études vont dans le même sens :

- Les résultats de l'étude «*Evaluation de l'impact des mesures fiscales et non fiscales sur les émissions de CO_2*»[19], menée par le *Bureau fédéral du Plan* et *Econotec,* précisent : la mise en œuvre de mesures économiquement rentables permettrait d'éviter en Belgique l'émission annuelle de 10 millions de tonnes de CO_2 à l'horizon 2010 (en ne tenant pas compte du secteur des transports). De plus, des effets positifs sur l'économie (croissance du PIB et des investissements) et sur l'emploi accompagneraient la mise en œuvre de ces mesures[20].
- L'étude relative à la gestion de la demande d'énergie réalisée par le Fraunhofer Institut[21] estime quant à elle que, via un scénario *benchmarking*, la réduction des émissions de CO_2 serait suffisante (-8,1% entre 1990 et 2012) pour atteindre l'objectif de Kyoto en Belgique (-7,5%). Ceci signifie qu'en adoptant une politique climatique qui vise simplement à réaliser ce qui se fait déjà dans les pays voisins (benchmarking), la Belgique ne devrait pas faire appel massivement aux mécanismes flexibles pour souscrire à ses engagements internationaux. Et si les obstacles qui empêchent la mise en œuvre des potentiels d'efficience énergétique économiquement rentables pouvaient être levés (scénario potentiel économique), les émissions pourraient même être réduites davantage (-14,4%).
- En 1995 déjà, l'étude[22] du STEM de l'Université d'Anvers concluait que dans l'optique d'un scénario de sortie du nucléaire en 10 ans (entre 2000 et 2010), il était possible, « via une très forte politique de maîtrise de la demande et via un marché libre pour la production d'électricité, de fermer toutes les centrales nucléaires belges tout en diminuant les émissions de CO_2 de quelque 20% ». Il s'agit de la seule étude ayant considéré de manière intégrée (tant l'aspect de l'offre que celui de la demande) le secteur belge de l'électricité.

Mais que représenterait la sortie du nucléaire en termes d'émissions de CO_2 ? Un prolongement de la durée de vie, voire la construction de nouvelles centrales nucléaires, permettrait-il de réduire significativement nos émissions de CO_2 ? Voici ce que disent diverses projections d'émissions réalisées ces dernières années :

- Le scénario théorique du *Plan indicatif d'approvisionnement en gaz naturel 2004-2014*[23] de la CREG prend comme hypothèse – pessimiste – que 96,2% de la production d'électricité des centrales nucléaires soient compensées par des centrales au gaz naturel de type TGV. La CREG estime qu'une telle évolution « entraînera en 2016 une hausse des émissions de CO_2 de 3,6 millions de tonnes par an et passera à 11,7 millions de tonnes en 2026 ». C'est une hausse très significative dans le secteur de la production d'électricité mais, globalement, cela ne représente qu'une hausse de 8% des émissions de gaz à effet de serre belges. En sachant que cette hypothèse pessimiste ne tient compte ni des émissions de CO_2 de la filière nucléaire (voir chapitre 4.1.2), ni du recours accru à la cogénération et aux énergies renouvelables déjà observables aujourd'hui, ni d'une maîtrise de la demande.
- L'analyse du scénario S1 du Programme indicatif des moyens de production d'électricité 2005-2014[24] de la CREG illustre la faisabilité de la sortie du nucléaire, tant du point de vue sécurité d'approvisionnement qu'en termes d'émissions de CO_2. Ce scénario S1, à défaut d'être ambitieux, montre qu'à l'horizon 2019, la fermeture des trois premiers réacteurs nucléaires nécessite la construction d'une seule centrale TGV (au gaz) vers 2016 et n'accroît que marginalement (2,5%) les émissions de CO_2. Ce scénario S1 se base d'une part sur l'atteinte des objectifs que se sont assignés les Régions en termes de recours aux énergies renouvelables et à la cogénération et d'autre part sur le scénario Benchmarking de l'étude Gestion de la demande de 2003 en termes d'économies d'énergie.
- Le *Planning Paper 95 du Bureau fédéral du Plan*[25] compare différents scénarios énergétiques à l'horizon 2030, dont notamment un scénario nucléaire (« 60 ans ») et un scénario énergies renouvelables et cogénération (« REN ET COG »).
  Le scénario nucléaire « 60 ans » envisage le prolongement de la durée de vie des centrales belges de 20 ans. Le Bureau fédéral du Plan reconnaît que cette hypothèse est maximaliste : « *A notre connaissance, on ignore aujourd'hui la fraction du parc nucléaire belge qui pourrait fonctionner économiquement et sans risque jusqu'à 60 ans. En France, on estime*[26] *que seule la moitié des réacteurs nucléaires pourront fonctionner jusqu'à 50 ou 60 ans.* » Avec cette hypothèse optimiste pour le nucléaire, un remplacement pessimiste des centrales nucléaires par du gaz et du charbon (on double les émissions du secteur !) et des potentiels en énergies renouvelables et en cogénération plafonnés aux potentiels avancés par la Commission Ampère, le Bureau fédéral du Plan arrive à la conclusion que le scénario « 60 ans » permettrait de réduire les émissions de CO_2 de 21 Mt en 2030 par rapport au scénario de référence, tandis que le scénario « REN ET COG » ne permettrait qu'une réduction de 9,7 Mt.
  Si l'on applique l'estimation de Framatome – seulement la moitié des centrales pourraient voir leur durée de vie prolongée -, les autres hypothèses pessimistes étant maintenues, on voit que la réduction des émissions de CO_2 en prolongeant la durée de vie des centrales est équivalente à celle qui serait obtenue en développant les énergies renouvelables et la cogénération selon les objectifs définis par les Régions à l'horizon 2010…

Plus récemment, deux études explorant les projections d'émissions de gaz à effet de serre de la Belgique à l'horizon 2050, tout en tenant compte de la décision de fermer progressivement les centrales nucléaires, ont été publiées.

- La première, qui s'intitule « Révolution énergétique : un futur durable aussi pour la Belgique »[27], a été réalisée par l'*Institut de Thermodynamique technique du Centre allemand d'aérospatiale* (DLR) pour le compte de Greenpeace. Elle développe un scénario de référence (BAU), ainsi qu'un scénario « révolution énergétique » envisageant une sortie accélérée du nucléaire (au terme de trente années de durée de vie) et une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 75% d'ici la moitié du siècle. Principalement basée sur l'exploitation des potentiels

d'efficacité énergétique, le scénario ambitieux table en outre sur un développement massif des sources d'énergie renouvelables et de la cogénération dans notre pays, un recours progressivement moins important aux énergies fossiles, et une importation d'électricité verte depuis les pays européens bénéficiant de gisements plus favorables que notre pays.

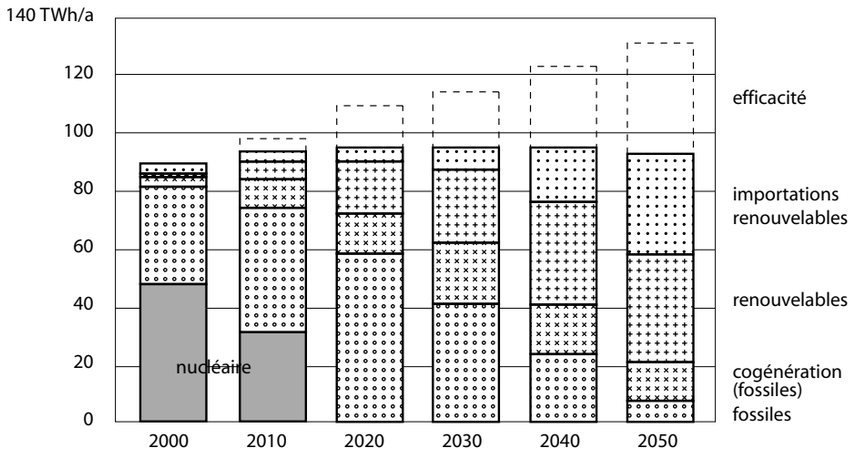


Figure 22 : Fourniture d'électricité en Belgique dans le scénario « révolution énergétique » (efficacité = écart par rapport au scénario de référence, obtenu par le biais de l'efficacité énergétique). Source : DLR, Révolution énergétique : un futur durable aussi pour la Belgique, *Greenpeace, 2006.*

- La seconde étude, « Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050[28]» a été réalisée par le Bureau fédéral du Plan à la demande du ministre fédéral en charge de l'environnement, Bruno Tobback. Pour l'échéance de 2020, l'étude se penche sur les impacts sur le système énergétique belge ainsi que sur l'économie nationale, de scénarios de réduction d'émissions de GES de 15% et 30% dans l'UE entre 1990 et 2020. La méthode du « backcasting »[29] est ensuite appliquée pour l'analyse de scénarios de réduction en Belgique de 50%, 60% et 80% entre 1990 et 2050. Les résultats détaillés de l'étude sont disponibles sur le site www.climat.be.

On le constate à la lumière de ces chiffres : l'argument des changements climatiques ne justifierait en aucun cas de revenir sur la décision de fermer progressivement les centrales nucléaires belges. Mais les lobbies industriels ne manquent pas de placer le caractère prétendument « propre » du nucléaire au centre de leur stratégie de communication, surfant sur la vague d'une opinion publique se montrant de plus en plus sensible aux enjeux environnementaux. Ceux-là même qui, il n'y a pas si longtemps, affichaient leur scepticisme quant à la réalité des changements climatiques et mettaient tout en œuvre pour empêcher que la Belgique ne ratifie le Protocole de Kyoto et ne s'engage à respecter des objectifs chiffrés, se servent aujourd'hui de cet argument pour vendre leur technologie, nous détournant des véritables enjeux : comment nous orienter vers une société plus sobre en énergie et dont les modes de production d'énergie sont plus durables.

Car si la fermeture des réacteurs nucléaires entraînera, toutes choses égales par ailleurs, une légère hausse des émissions de CO_2 imputables au secteur de la production d'électricité, celle-ci pourrait être largement compensée par une adaptation de notre parc de production d'électricité (fermeture des centrales au charbon, recours accru aux renouvelables, à la cogénération et aux centrales TGV) et par une politique de maîtrise de la demande. Nous l'avons vu, les véritables défis en matière de changements climatiques en Belgique concernent principalement les secteurs résidentiel et tertiaire, et surtout les transports. Prolonger une fois de plus la durée de vie des centrales s'apparenterait donc à une solution de facilité pour nos responsables politiques, qui se doivent de prendre enfin des mesures structurelles afin de réduire nos émissions de gaz à effet de serre.

4.1.6. Changements climatiques : opportunité ou menace pour le nucléaire ?

Les partisans de l'atome présentent souvent, de manière infondée on vient de le voir, le nucléaire comme une solution au réchauffement global. Les changements climatiques au secours de l'atome ? D'aucuns pensent plutôt qu'ils constituent une réelle menace, en raison de la multiplication des événements climatiques extrêmes que l'on connaîtra à l'avenir... Ainsi, de nombreux réacteurs ont été mis à mal à travers l'Europe (et le monde) ces dernières années en raison de conditions climatiques exceptionnelles. Les changements climatiques constituent donc une menace pour la sûreté des centrales et la sécurité d'approvisionnement en électricité, et ce d'autant plus que de tels évènements sont appelés à augmenter en fréquence et en intensité dans le futur.

Ce sont les vagues de chaleur qui ont créé le plus de craintes aux exploitants de centrales nucléaires ces dernières années. Les centrales électriques, en particulier nucléaires, puisent de grandes quantités d'eau dans la mer ou les cours d'eau, en amont de la centrale, afin de refroidir leurs condenseurs. Une part de l'eau prélevée s'échappe sous forme de vapeur tandis que la plus grande partie est rejetée en aval de l'installation à une température supérieure : avec un rendement de 33%, les réacteurs rejettent donc les deux tiers de l'énergie nucléaire produite dans l'atmosphère et dans les cours d'eau ! Les chaleurs torrides observées ces dernières années en Europe (en particulier durant les étés de 2003 et 2006) ont sérieusement mis à mal les systèmes de refroidissement des centrales : la température de l'eau puisée étant trop élevée, elle ne permettait pas de jouer suffisamment son rôle de liquide de refroidissement. Les producteurs d'électricité se sont alors souvent vus autorisés à rejeter des eaux à des températures supérieures aux restrictions légales, ce qui entraîne une hausse de la température de cours d'eau pourtant déjà très chauds. Les conséquences peuvent être dramatiques pour ces derniers : la température plus élevée altère la flore aquatique, favorisant la prolifération d'algues et diminuant la concentration en oxygène dissout dans l'eau. Les espèces les plus sensibles de poissons et d'invertébrés, qui doivent par ailleurs faire face à une température du cours d'eau à laquelle ils ne sont pas coutumiers, peuvent alors en payer un lourd tribu. En outre, les sécheresses estivales entraînent une diminution du niveau des cours d'eau, ce qui conduit à l'augmentation de la proportion d'eau prélevée (en quantités très importantes) par les centrales par rapport aux débits observés, ainsi qu'une augmentation de la concentration en rejets polluants ou pertes radioactives.

En 2003, la canicule a entraîné en France de nombreux dysfonctionnements du parc de production d'électricité, extrêmement dépendant du nucléaire. L'augmentation de la température des cours d'eau a obligé EDF à faire fonctionner de nombreux réacteurs à bas régime, voire même à en arrêter certains. Les centrales thermiques classiques ont elles aussi été confrontées à des problèmes de rejets d'eau chaude, tandis que les unités hydroélectriques subissaient de plein fouet la baisse du débit des cours d'eau. Conséquence : le producteur français d'électricité, traditionnel exportateur d'électrons, s'est vu contraint d'acheter au prix fort (les tarifs dépassaient alors 1000 euros/MWh sur la bourse Powernext !) du courant à l'étranger afin d'éviter la pénurie qui s'annonçait en raison de la demande particulièrement soutenue. La canicule de 2003 aurait ainsi coûté 300 millions d'euros à EDF[30].

Plus inquiétant encore, cet été-là, durant quatre jours, des équipes ont dû se relayer pour arroser la centrale de Fessenheim, en Alsace, dans le but d'essayer d'empêcher la température de grimper au-delà de la limite imposée de 50°C à l'intérieur du bâtiment. Selon les conclusions d'EDF, l'efficacité de la méthode était relative mais la température n'aurait pas dépassé le seuil requis. Le réseau « Sortir du nucléaire » a relevé durant la vague de chaleur de l'été 2003 une trentaine d'infractions à la limite autorisée de rejets thermiques à travers l'hexagone.

La Belgique n'a pas échappé aux températures méditerranéennes cet été-là : la Région wallonne a en conséquence autorisé Electrabel à rejeter les eaux de refroidissement à des températures supérieures à la limite habituelle de 28 °C. Le producteur belge fut en outre contraint de baisser la production de ses réacteurs. D'autres pays européens ont essuyé en 2003 les conséquences de la canicule qui a touché l'ensemble du continent : le manque d'eau a mis à mal la production hydroélectricité en Norvège et en Allemagne, tandis que l'Italie, l'Allemagne et la France une fois encore ont subi des coupures d'électricité au moment des pics de demande[31].

L'histoire se répète puisque l'on a connu des évènements similaires durant le mois de juillet 2006, lui aussi caniculaire. Pour la quatrième année consécutive, la France a été particulièrement exposée : EDF dut à nouveau baisser sa production et importer de l'électricité, et fut par ailleurs autorisée à rejeter des eaux dont la température était supérieure aux restrictions légales. Chez nous, de nombreuses centrales ont été ralenties suite aux fortes chaleurs, en particulier celles de Tihange et de Doel (cette dernière se trouvant en bordure de l'Escaut, dont la faune et la flore familières à l'eau froide sont particulièrement sensibles aux températures élevées). L'Espagne a dû mettre à l'arrêt son réacteur de Santa Maria de Garoña, sur l'Ebro. Les allemands E.ON et Vattenfall ont annoncé une réduction de la production de trois de leurs centrales nucléaires au bord de l'Elbe, tandis que des autorisations exceptionnelles de rejets thermiques étaient accordées outre-Rhin. Les Anglais ont également eu chaud cet été. Les gestionnaires du réseau de transport britannique ont alerté en urgence les producteurs et distributeurs d'électricité : la baisse de régime des centrales conjuguée à la hausse de la demande en raison de l'utilisation des conditionnements d'air « rendaient imminente une pénurie de courant »[32], tandis que des coupures à répétition étaient observées au centre de Londres.

D'autres évènements climatiques extrêmes constituent une menace pour les centrales nucléaires : les tempêtes et inondations. Tout le monde en Gironde garde en mémoire la tempête du 27 décembre 1999, qui avait touché l'ensemble du territoire français. Ce jour-là, les vagues soulevées par les vents violents franchirent à plusieurs reprises la digue de protection de la centrale du Blayais, située dans l'estuaire

de la Gironde, inondant des locaux, « affectant les installations du site, particulièrement les réacteurs 1 et 2 »[33] et mettant hors d'usage plusieurs installations de sauvegarde. L'Autorité française de sûreté nucléaire admettra par la suite qu'il s'agissait d'un défaut de conception : les ingénieurs n'avaient pas prévu de protections suffisantes alors que la centrale se trouve en zone inondable. De telles inondations ne sont pas non plus à exclure le long de cours d'eau en cas de crue, comme c'est arrivé en Allemagne le long de l'Elbe, en 2002. Certains estiment ainsi que si de telles « inondations s'étaient produites dans le Bade-Wurtemberg (et non en Saxe), deux centrales auraient été inondées»[34].

La multiplication des événements décrits ci-dessus illustre la vulnérabilité de nos systèmes de production d'électricité hyper-centralisés et dépendants d'un nombre restreint d'unités de production. La France, particulièrement nucléarisée, a incontestablement été la plus touchée ces dernières années. De tels faits posent question lorsque l'on sait que les centrales nucléaires se trouvent toutes en bordure de mer ou de cours d'eau (ainsi que d'autres installations comme les usines de retraitement de La Hague en France et de Sellafield en Angleterre, qui ont toutes deux déjà provoqué des pollutions radioactives en mer), et que les évènements climatiques extrêmes se multiplieront à l'avenir. Les climatologues prévoient ainsi qu'un été comme celui de 2003 se reproduira tous les trois ou quatre ans d'ici la moitié du siècle, et que le niveau des mers pourrait s'élever de plusieurs dizaines de centimètres durant les cent prochaines années.

Par ailleurs, au-delà des risques en matière de sûreté et de protection de l'environnement, il y a lieu de s'interroger sur les conséquences potentielles de tels évènements extrêmes sur notre production d'électricité. La multiplication des systèmes d'air conditionné, extrêmement gourmands en électricité, engendre dans de nombreux pays des pics de consommation en été, augmentant ainsi les risques de pénurie en raison des baisses de production qui s'imposent simultanément. Notre pays, dont les latitudes ne justifient certainement pas de s'équiper massivement de telles installations (pour lesquelles des alternatives existent, particulièrement en matière d'aération des bâtiments), n'échappe pas au phénomène puisque l'on a observé ces dernières années une hausse des consommations d'électricité durant l'été, même si la menace de pénurie ne nous concerne pas encore.

4.2. Le nucléaire : une énergie qui monopolise les budgets

4.2.1. Une source d'énergie chère

Le nucléaire est très souvent présenté par ses défenseurs comme une source d'énergie bon marché, permettant de garantir la fourniture d'électricité à bas prix. Qu'en est-il vraiment ? Le nucléaire est-il réellement plus compétitif que les autres sources de production d'électricité ? Est-ce la solution, ou en tout cas une partie de la solution, face à la hausse des prix pétroliers ?

Les coûts exacts de la filière nucléaire sont peu connus, et les chiffres avancés varient fortement selon les sources. Comme le décrit le *Science and Technology Policy Research* de l'Université du Sussex, dans un rapport[35] rédigé pour le compte de la Sustainable Development Commission au Royaume Uni, ces coûts peuvent être divisés en quatre composants distincts : les coûts de

construction, de combustible, de fonctionnement et maintenance, et enfin les coûts de démantèlement et de gestion des déchets.

Pour effectuer une comparaison des coûts de production d'électricité selon les différentes sources d'énergie, il convient de prendre en compte l'entièreté des frais fixes et variables en fonction de la quantité d'électricité produite tout au long de la durée de vie de l'installation. Si, pour ce qui concerne le nucléaire, les coûts des trois premiers composants évoqués ci-dessus peuvent être évalués avec une certaine fiabilité, les coûts exacts de démantèlement des centrales et de gestion de déchets sont quant à eux très peu connus. Cela pose bien entendu un réel problème car il est pour le moins hasardeux de réaliser une comparaison des coûts de production d'électricité d'une filière si l'ensemble des coûts ne peut être évalué avec un minimum de précision.

• Les coûts de capitaux ou de construction du réacteur.

L'énergie nucléaire étant particulièrement capitalistique, il s'agit ici de l'une des principales charges de cette source d'énergie. Par ailleurs, la construction d'un réacteur est une opération longue et complexe, dont les coûts sont très incertains. Cela est d'autant plus vrai pour les nouveaux types de réacteurs comme l'EPR, puisque l'on ne dispose que de très peu – voire pas du tout – d'expérience en la matière. La probabilité que ces coûts de construction soient dépassés est donc élevée, ce qui augmente les risques pour les investisseurs, les constructeurs et/ou les exploitants de centrale. L'exemple de l'EPR en cours de construction en Finlande est à cet égard très illustratif, puisqu'on estime que les surcoûts actuels s'élèvent à deux milliards d'euros après deux ans de construction (le coût de construction initialement annoncé était de 3,2 milliards d'euros).

• Les coûts de combustible.

Ces coûts variables sont caractérisés par un niveau peu élevé par rapport aux sources d'énergie fossiles (en particulier le pétrole et le gaz). Néanmoins, le prix de l'uranium a considérablement augmenté ces dernières années puisque la livre de U_3O_8 s'élevait en décembre 2006 à 72$, soit dix fois plus qu'en décembre 2000 (7,1$). Bien que le prix de l'uranium ait une moindre influence que les énergies fossiles sur le prix de l'électricité, une telle envolée des prix engendre inévitablement des conséquences sur les coûts de production de l'électricité, et ce d'autant plus dans une situation où les centrales sont totalement amorties (comme c'est le cas en Belgique) ; dans ce cas, les coûts de combustibles sont proportionnellement plus importants.

Evaluer précisément l'impact d'une augmentation du prix de l'uranium sur les coûts de production d'électricité est un exercice complexe car dépendant de nombreux facteurs (niveau d'amortissement du réacteur, les coûts de démantèlement, etc.). Néanmoins, l'*Uranium Information Center* estime que « *a doubling of the U_3O_8 price would increase the fuel cost for a light water reactor by 26% and the electricity cost about 7%*. »[36] Ces chiffres sont semblables à ceux présentés par l'OCDE ou l'Agence Internationale de l'Energie[37]. La première estime qu'un doublement du prix de l'uranium induit un surcoût de 10%[38], la seconde affirmant que le prix de l'oxyde d'uranium représente 30% des coûts totaux du combustible nucléaire, lequel représente 15% des coûts de production d'électricité. L'oxyde d'uranium représenterait donc, selon l'AIE, 5% des coûts totaux.

Bien que ne représentant qu'entre 5% et 10% des coûts de production d'électricité nucléaire, le décuplement du prix de l'Uranium observé ces dernières années ne peut être sans conséquences sur le prix de production d'électricité. C'est un facteur important à considérer lorsqu'on présente le nucléaire comme une solution à notre sécurité d'approvisionnement.

Par ailleurs, ce chiffre qui semble à première vue peu élevé est similaire à l'impact de la hausse des prix pétroliers sur les coûts moyens du transport routier pour les particuliers. Et rares sont les personnes restées insensibles à la hausse récente observée sur les marchés internationaux. Benjamin Dessus et Hélène Gassin[39] on ainsi réalisé l'exercice suivant, mettant en lumière les conséquences de la hausse du prix du baril sur notre budget consacré à la voiture :

Quelle est la part d'importation de pétrole dans le coût total d'une voiture qui fait 15 000 kilomètres par an pendant dix ans ?

Sachant que :
- le coût d'achat de la voiture est de 10 000 euros,
- elle consomme 7 litres aux 100 kilomètres,
- son coût d'entretien, assurance, etc., est de 1 200 euros par an,
- l'essence coûte 1,20 euro le litre à la pompe ;
- le coût du baril de pétrole importé est de 40 dollars (33,30 euros) et qu'il y a 159 litres dans un baril de pétrole.

Solution :

La consommation totale de pétrole de la voiture sur dix ans est de
10 x 15 000 x 7 / 100 = 10 500 litres ou 10,5 tonnes et 66 barils de pétrole

Le coût de l'essence consommée au cours des dix ans est de
10 500 x 1,2 = 12 600 euros

Le coût d'entretien, assurance, etc., au cours des dix ans est de
1 200 x 10 = 12 000 euros

Le coût total du véhicule pour son usager sera donc de :

achat :	10 000 euros
essence :	12 600 euros
entretien :	12 000 euros
coût total :	34 600 euros

Coût du pétrole d'importation :
66 x 33,3 = 2 200 euros

La part d'importation dans le coût du kilomètre parcouru est donc de 2 200 / 34 600, soit 6,4 %, ce qui n'est guère différent du résultat obtenu pour la part d'uranium importé dans le coût du kWh nucléaire (environ 5 %).

Source : Dessus B. et Gassin H., So Watt ? L'énergie : une affaire de citoyens, *L'aube, 2005.*

• Les coûts de fonctionnement et de maintenance.

La part de ces coûts dans les coûts totaux est proportionnellement faible, à tout le moins tant qu'aucun incident ne survient. Néanmoins, des composants des réacteurs doivent être régulièrement remplacés à des coûts non négligeables. C'est par exemple le cas des générateurs de vapeur, qui doivent être régulièrement remplacés en raison de dégâts dûs à la corrosion et à l'érosion, opérations qui représentent chaque fois un investissement d'une centaine de millions d'euros.

Par ailleurs, il convient de tenir compte des coûts évités grâce à la responsabilité limitée des exploitants de centrales en cas d'accident. Afin de limiter les frais d'assurance des propriétaire de centrales nucléaires, il est en effet très fréquent – c'est le cas dans notre pays – que l'Etat prenne la responsabilité d'assumer les conséquences financières d'un accident au-delà d'un certain montant (en l'occurrence, 300 millions d'euros[40]). Les coûts de fonctionnement seraient

ainsi supérieurs à ce qu'ils sont aujourd'hui si les exploitants étaient pleinement responsables (cfr. Chap. 4.2.2).

• Les coûts de démantèlement et de gestion des déchets.

Bien que le niveau de ces coûts soit encore aujourd'hui très incertain, il apparaît que les frais de démantèlement et de gestion des déchets contribuent en grande partie aux coûts du nucléaire. Le démantèlement d'un réacteur est en effet une opération très longue et fastidieuse, nécessitant l'usage de robots en raison du niveau très élevé de radioactivité d'une grande partie des composants du réacteur, composants qui doivent être extraits et stockés dans des conditions de sûreté optimale. Mais peu d'installations ayant été démantelées à ce jour, l'on dispose donc de peu d'expérience en la matière. Il faut ensuite gérer les déchets radioactifs produits lors de ce démantèlement, ainsi que ceux découlant de l'exploitation des centrales. Ces déchets, dont certains sont radioactifs durant des centaines de milliers d'années, nécessitent une surveillance durant plusieurs siècles au moins et la construction d'infrastructures extrêmement complexes. Ils engendrent donc des coûts très importants mais difficilement quantifiables à l'heure actuelle en raison du manque de connaissances et d'expérience en la matière : aucun site de stockage définitif de déchets hautement radioactifs n'existe au monde à l'heure actuelle. Comment parler aujourd'hui d'une source d'énergie bon marché alors que l'entièreté des coûts de la filière n'est pas encore connue ?

Au fur et à mesure que les connaissances progressent en la matière, l'estimation de ces coûts est néanmoins revue à la hausse par les spécialistes.

Quelques exemples chiffrés. Le démantèlement du réacteur nucléaire *Yankee Rowen*, dans le Massachusetts, avait été initialement estimé à 120 millions de dollars. La facture a finalement été multipliée par 4, s'élevant à 450 millions de dollars[41]. Et le démantèlement de l'ensemble du parc nucléaire des USA s'élèverait à quelque 33 milliards de dollars[42]! En France, c'est la Cour des Comptes qui a publié un rapport début 2005, s'interrogeant sur la suffisance des provisions constituées par EDF, AREVA et CEA pour le démantèlement de leurs sites nucléaires : le démantèlement de la centrale de Brennilis, pour ne citer qu'un exemple, était alors estimé à 482 millions d'euros, soit cinq fois le montant initialement prévu. Quelques mois plus tard, c'est une étude de la Nuclear Decommissioning Authority (NDA), institution constituée pour superviser le démantèlement des centrales nucléaires publiques en Grande Bretagne, qui revoyait de tels coûts à la hausse : plus de 81 milliards d'euros pour les 20 centrales britanniques les plus anciennes, contre 69 milliards avancés quelques années auparavant. Et si la DNA considérait le plutonium produit comme déchets, ce qui n'est pas le cas dans son analyse, la facture s'alourdirait de 14 milliards d'euros supplémentaires !

Comment, dans ces conditions, avoir la certitude que les provisions constituées par Electrabel en Belgique – qui s'élevaient à l'été 2006 à 4,3 milliards d'euros – seront suffisantes pour couvrir l'intégralité des coûts de démantèlement et de gestion de déchets générés par les combustibles irradiés ? Aujourd'hui estimées à respectivement 5 milliards et 12 milliards d'euros (en valeur du moment où ces sommes devront être déboursées, entre 2030 et 2040), ces opérations pourraient être revues à la hausse, comme dans les pays voisins. La probabilité est grande que les pouvoirs publics soient un jour contraints de prendre le relais si les acteurs privés ne sont plus en mesure d'assumer leurs responsabilités. Les Belges payeraient alors deux fois le démantèlement des centrales : aujourd'hui en tant que consommateurs, demain en tant que contribuables...

• Et les coûts externes ?

Comme pour tout mode de production d'électricité, il serait pertinent de considérer les coûts externes pour évaluer l'entièreté des coûts de production d'électricité. Un tel exercice comporte néanmoins certaines limites (comment quantifier avec précision les coûts externes d'émissions de gaz à effet de serre par exemple ?), et relève même de l'impossible pour le nucléaire puisque de nombreux coûts – directs ou indirects – ne peuvent à ce jour être quantifiés de manière fiable : pollutions radioactives, responsabilité limitée des exploitants, coûts de gestion des déchets, etc.

Le secteur avance ainsi régulièrement que les coûts externes sont inclus dans le prix de l'électricité, comme c'est le cas pour le rapport de la Commission Ampère qui se base sur l'étude « ExternE » (évaluation des coûts externes de différentes technologies) de la Commission européenne. Pourtant, dans cette même étude, la Commission européenne « *indique clairement les limites de l'exercice pour le cas du nucléaire. Les estimations ne sont pas jugées fiables pour les accidents nucléaires, les déchets radioactifs à haute activité, la prolifération nucléaire et le terrorisme. Ces lacunes pourraient être significatives et doivent être clairement soulignées pour toute évaluation* ».

4.2.2. Transferts financiers vers le secteur nucléaire

D'aucuns ne manquent pas de stigmatiser le coût plus élevé des énergies renouvelables à l'heure actuelle, et la nécessité de proposer des aides publiques pour permettre leur développement. Ils omettent cependant de mentionner que les filières classiques, en particulier le nucléaire, ont de tout temps bénéficié de multiples et généreuses aides et subsides autrement plus conséquents. En France par exemple, le secteur se serait vu octroyer 450 milliards d'euros ces cinquante dernières années[43].

Une analyse réalisée par Luc Barbé (chef de cabinet d'Olivier Deleuze, Secrétaire d'Etat à l'Energie, de 1999 à 2003), distingue les transferts financiers vers le secteur nucléaire en cinq catégories[44]:

- Le financement des activités nucléaires belges (budget fédéral, montant évalué à 49,7 millions d'euros pour 2005).
- Le financement d'EURATOM[45] (budget fédéral, contribution belge de 6,725 millions d'euros pour l'année 2004).
- Le budget de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (Electrabel y a contribué en 2003 à hauteur de 12,3 millions d'euros, répercutés sur la facture des consommateurs).

- La partie de la « cotisation fédérale » sur le transport d'électricité destinée au financement de l'assainissement de l'ancienne usine *Eurochimic* et des installations « ex-waste » du Centre d'étude d'énergie nucléaire. Les obligations d'assainissement ont en effet été transférées à l'Etat belge dans les années 70 et 80, celui-ci répercutant les frais sur les consommateurs d'électricité (le montant s'élève à 55 millions d'euros pour 2004).
- La répercussion par Electrabel des coûts de la constitution des provisions pour le démantèlement des centrales nucléaires et la gestion des combustibles irradiés sur les consommateurs d'électricité (montant évalué à 340 millions d'euros par an).

La somme de ces transferts dépasse les 460 millions d'euros (56 millions sont directement financés par les pouvoirs publics, 407 millions provenant des consommateurs et des entreprises).

En dehors de ces transferts aisément quantifiables, il convient également de tenir compte des subsides « cachés ». Ainsi, par exemple, l'intervention du secteur nucléaire en cas d'accident est plafonnée à 300 millions d'euros par site, le solde étant à charge de l'Etat. A titre de comparaison, le seul coût de l'explosion de l'usine chimique AZF en septembre 2001 à Toulouse est estimé aujourd'hui entre 1,5 et 1,7 milliards d'euros.

Ce mécanisme est unique en matière d'assurance civile et permet ainsi au secteur de limiter considérablement ses primes d'assurance. Eloi Glorieux et Bart Staes[46] ont appliqué à la Belgique les résultats d'une étude européenne[47], qui évaluait le coût supplémentaire du kWh allemand et français, sans l'existence d'un tel plafonnement, à respectivement 2,2 eurocents et 5 eurocents. La charge supplémentaire que devrait alors supporter Electrabel s'élèverait à 1 milliard d'euros et 2,25 milliards d'euros ! Inutile de dire que sans l'intervention de l'Etat, la viabilité du secteur ne serait pas garantie…

• L'énergie nucléaire monopolise les budgets de recherche

Pour ce qui concerne les budgets de recherche, le nucléaire bénéficiait par exemple en 1999 de 81% des crédits en Belgique, contre 2 % aux renouvelables. Le constat est identique à l'échelle de l'Union (Europe des Quinze) : 37 milliards d'euros alloués au nucléaire entre 1984 et 2002 (recherche nucléaire européenne et crédits nationaux), soit près de cinq fois plus que les 7 milliards alloués à toutes les sources d'énergie renouvelables confondues[48]. A l'encontre de toute logique environnementale, l'Europe a par le passé délaissé les investissements propres au profit des sources d'énergie les plus polluantes.

Les budgets relatifs à l'énergie dans notre pays sont tout aussi éloquents. Ainsi, pour la période 1974-1999, 70% des financements publics en Recherche et Développement ont été investis dans les filières nucléaires (fission et fusion), contre 5% pour les énergies renouvelables.

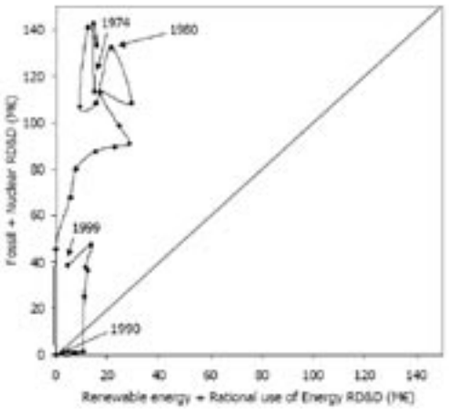


Figure 23 : Trajectoire des dépenses publiques belges en recherche et développement sur la période 1974-1999.
Source : G. Palmers et alii, Renewable energy evolution in Belgium 1974-2025, *SPSD, 2004.*

La figure ci-dessus illustre la part des dépenses publiques pour la recherche et Développement en Belgique, répartie en énergies nucléaire et fossile d'un côté et économies d'énergie et renouvelables de l'autre. Si l'on excepte le programme mis en place en 1975 en raison de la crise pétrolière, principalement dédié à l'utilisation rationnelle de l'énergie et aux renouvelables, ainsi que les quelques années suivant la catastrophe de Tchernobyl, il apparaît clairement que ce sont les sources d'énergie les moins « durables » qui ont bénéficié de la plus large part des moyens publics en matière de R&D.

Bien que modeste puisque ne représentant que 10% des budgets R&D de l'époque (contre 60% accordés au nucléaire), il s'agissait de la première (et unique jusqu'il y a peu) fois que les renouvelables bénéficiaient d'un réel soutien public… auquel a été mis un terme en 1987 en raison de la baisse des prix de l'énergie. Une étude réalisée par des chercheurs de l'UCL conclut : «La fin de ce programme peut expliquer en partie pourquoi les alternatives au nucléaire n'ont pas émergé à cette époque. (…) Nous observons que le soutien aux sources d'énergie renouvelables n'était pas à l'agenda politique dans les années 70 et 80. Exception faite du programme R&D de 1975 à 1987, aucun soutien public aux renouvelables ne fût mis en œuvre. Par conséquent, les technologies d'énergies renouvelables sont restées non-compétitives en Belgique. »[49] L'on peut aujourd'hui regretter les retards considérables pris en la matière par notre pays en comparaison de nos voisins.

Le CFDD établissait d'ailleurs un constat similaire en 2003: « L'essentiel des moyens publics consacrés à la recherche énergétique va au nucléaire (fission et fusion) et aux modes de production basés sur des ressources fossiles. Très peu de recherches sont menées sur les possibilités d'encourager les investissements dans les mesures sans regret, dans l'URE et dans la réduction de la demande »[50]. Il va de soi qu'une telle politique, qui n'a sensiblement pas changé aujourd'hui, a pour conséquence de favoriser les sources d'énergie polluantes au détriment des investissements plus propres.

4.2.3. La libéralisation : le pire ennemi du nucléaire ?

Le processus de libéralisation des marchés de l'électricité et du gaz a été initié il y a une dizaine d'années sous l'impulsion des instances européennes. En vertu de la directive 2003/54/CE du 26 juin 2003 concernant les règles communes pour le marché intérieur de l'électricité et abrogeant la directive 96/92/CE, les Etats-membres de l'Union européenne sont tenus d'ouvrir intégralement les marchés de l'énergie à la concurrence pour le 1er juillet 2007 au plus tard (cette mesure devant être appliquée aux clients non-résidentiels depuis 2004 déjà). Les activités de production, de transport et de distribution d'électricité devront donc être scindées en Belgique. Par ailleurs, les clients pourront dorénavant choisir leur fournisseur d'électricité.

Comment le marché de la production d'électricité va-t-il évoluer suite au bouleversement de cette donne économique ? Quel impact sur le parc de production d'électricité nucléaire ? Et sur les prix de l'électricité, dont la tendance promise à la baisse par les autorités il n'y a pas si longtemps encore semble aujourd'hui remise en cause ?

Dans une telle situation, les aides d'Etat sont bien entendu en principe proscrites et la Commission veille à ce que le marché soit totalement dérégulé et qu'il n'y ait pas d'entrave à la concurrence. Par ailleurs, la compétitivité du kWh est primordiale et les investisseurs sont plus exigeants car ils supportent davantage de risques. Ces éléments conduiront donc probablement à des changements majeurs dans le marché de la production d'électricité même si, en théorie, celui-ci était déjà ouvert à la concurrence par le passé.

4.2.3.1. La fin des aides publiques

Il va de soi que les aides publiques massives dont a bénéficié le secteur du nucléaire en Europe ces dernières années (cfr. Chap. 4.2.2) sont incompatibles avec un marché totalement soumis à la libre concurrence. La Commission européenne devra donc veiller à ce que les aides d'Etat ne viennent pas brouiller les cartes de la libéralisation. L'ouverture des marchés de la production d'électricité constituerait-elle la principale menace pour l'énergie nucléaire ? Nombreux sont ceux qui le pensent…

En Grande-Bretagne par exemple, « *diverses études du Gouvernement britannique réalisées en 1989, 1995 et 2002 sont arrivées à la conclusion que dans un marché de l'électricité libéralisé, les producteurs d'électricité ne construiraient pas de centrales nucléaires sans subsides publics et garanties gouvernementales de plafonnement des coûts* »[51].

On pouvait également lire dans la revue Alternatives économiques[52] : « *En termes de compétitivité, le nucléaire souffre désormais d'un grave handicap. Il n'a pu se développer qu'à coup d'aides publiques massives, directes (subventions, crédits) ou indirectes (aide à la recherche et au développement, assurance, fiscalité). Ce système n'est plus de mise : les règles du commerce international et le mouvement de libéralisation des marchés de l'énergie ont fait reculer ces pratiques. A ce jour, aucune commande de réacteur n'a eu lieu sur un marché de l'énergie totalement ouvert à la concurrence. Pour les investisseurs, les coûts d'investissement très élevés du nucléaire supposent une confiance à long terme incompatible avec les incertitudes qui pèsent sur cette technologie* »[53].

Car, outre la proscription des aides publiques, la libéralisation du marché de l'électricité augmente les incertitudes, et donc les risques auxquels s'exposent les investisseurs. Cet élément pourrait également constituer un obstacle important au développement de l'énergie nucléaire en Europe.

4.2.3.2. Seuls des investissements moins risqués sont réalisés

La régulation des marchés de l'électricité en Europe, et le soutien massif des pouvoirs publics dans certains pays, ont permis l'essor du nucléaire dans les années 1970 et 1980. Mais à l'aube d'une libéralisation totale des marchés européens de l'électricité, et face à la réticence du public et de certains gouvernements, l'industrie nucléaire se trouve face à de nouveaux obstacles. La nouvelle donne économique suscite en effet une certaine frilosité de la part des investisseurs à placer leur argent dans la production d'énergie nucléaire, préférant se tourner vers des modes de production dont les coûts d'investissement sont moindres et les temps de retour plus courts. *Standards & Poors*, l'agence d'évaluation de crédits, ne s'y trompe pas : selon ses analystes, le nucléaire induit « *the highest overall business risk compared with other types of [power] generation.* »[54]

En 1995 déjà, ce constat était admis chez nous, comme en témoigne le Programme national d'équipement de l'époque. « *Un aspect très important de l'énergie nucléaire est son coût d'investissement élevé qui signifie un risque très important pour le secteur de l'électricité et qui ne pourra être assumé que dans une perspective de marché assez stable à long terme* »[55].

Le Bureau fédéral du Plan (BfP) émet également de sérieuses réserves quant à l'attrait des investisseurs pour l'atome, dans le cadre d'un marché dérégulé : « *Les conditions d'une relance du nucléaire (…) ne dépendent pas uniquement de critères économiques, environnementaux ou technologiques. Etant donné l'ouverture des marchés de l'électricité en Europe, le fonctionnement des centrales existantes et la construction de nouvelles centrales se heurtent à des problèmes de financement. En effet, le développement du nucléaire entraîne le financement de risques spécifiques, financement que des investisseurs privés pourraient ne plus vouloir assurer dans un marché électrique ouvert à la concurrence.* »[56]

Le BfP distingue ainsi trois types de risques spécifiques: les risques de marché, les risques de coûts éloignés et les risques d'acceptation publique.

Les risques de marché concernent l'incertitude de gains résultant de changements dans des conditions de marché ; ils sont bien entendu d'autant plus élevés que l'investissement est important. Les coûts exorbitants de construction des réacteurs plaident ainsi en défaveur du nucléaire : « *Dans un contexte de libéralisation des marchés, les taux de retour demandés par les investisseurs sont élevés, ce qui défavorise le nucléaire pour lequel la proportion des coûts fixes non récurrents dans les coûts totaux est élevée.*»[57] Même son de cloche chez Standards&Poors, qui souligne en outre les risques inhérents aux délais très longs de construction d'un réacteur, dont tout retard peut affecter sérieusement la rentabilité des investissements : « *Developing new nuclear generation in the deregulated European market environment is a high-risk venture, given the long construction times and high capital costs. Siting issues are likely to be more sensitive today than in the 1970s and 1980s*

when most reactors were built. Furthermore, political support will remain fragile to nuclear safety performance worldwide »[58].

Les risques de coûts éloignés, ensuite, « *découlent d'incertitudes quant à l'adéquation ou non des provisions établies pour couvrir les coûts liés au stockage des déchets et au démantèlement des centrales nucléaires* ». Nous l'avons vu chapitre 4.2.1, ces derniers sont particulièrement importants et très difficilement quantifiables avec précision en raison des nombreuses incertitudes. Les producteurs de déchets radioactifs étant responsables du stockage et du démantèlement , une insuffisance dans les sommes provisionnées pourrait conduire à des coûts supplémentaires imprévus. Et les investisseurs ont horreur des incertitudes. Le BfP estime ainsi que « *dans ce contexte, il semble que le développement du nucléaire réclame une intervention de l'Etat pour le financement et pour la couverture de certains risques* »[59], ce qui est, nous l'avons vu, peu compatible avec un marché libéralisé.

Enfin, les risques d'acceptation publique s'expliquent par le fait que la population n'est en grande partie pas favorable à la technologie nucléaire pour la production d'électricité. Un Eurobaromètre réalisé par la Commission européenne début 2006 affirmait en effet que seuls 12% des Européens (11% des Belges) sont favorables à un développement de l'énergie nucléaire[60]. Cela peut conduire les décideurs à renforcer les exigences en matière de sûreté des centrales et, partant, les coûts de fonctionnement. Par ailleurs, toujours selon le BfP, ces risques « *pourraient entraîner une hausse des primes d'assurance, ce qui détériorerait la compétitivité de la filière nucléaire.* »

Investir dans la construction d'un réacteur nucléaire est donc une démarche très risquée pour les investisseurs, et ce d'autant plus dans un contexte de marché libéralisé de l'électricité. Au Royaume-Uni, la Chambre des Communes, l'une des deux assemblées législatives, constate que bien que rien ne de les en empêche, aucun opérateur n'a introduit une demande de construction de nouvelle centrale nucléaire outre-Manche. Selon le Comité d'Audit environnemental de la Chambre des Communes, cela s'expliquerait par le fait que « *les risques induits sont tellement importants que les investisseurs exigent un taux de retour très élevé, de l'ordre de 15% voire davantage, ce qui rendrait l'énergie nucléaire économiquement non-viable* »[61].

Mycle Schneider, ancien Directeur de WISE-Paris (un organisme indépendant d'information en matière d'énergie), attribue d'ailleurs de nombreuses fermetures de réacteurs aux Etats-Unis à la dérégulation du marché nord-américain : « *Les premières victimes de la dérégulation sont les centrales nucléaires. Aux Etats-Unis, six réacteurs ont déjà été fermés (Big Rock Point, Millstone-1, Connecticut Yankee, Main Yankee, Zion 1 et 2) suite à l'ouverture du marché de l'énergie à la concurrence. (...) D'autres réacteurs sont vendus à un prix dérisoire. En 1998, deux réacteurs ont été vendus au prix de 20 millions de dollars chacun, soit 3 à 4 % de leur valeur comptable. En juin 1999, les deux réacteurs de Nine Mile Point ont été vendus pour un montant total de 226,7 millions de dollars, alors que la tranche 2 n'a été mise en service qu'en 1998 avec un investissement de 6,3 milliards de dollars. En septembre 1999, les trois réacteurs de Millstone étaient mis en vente aux enchères* »[62].

4.2.3.3. Moins de sûreté, plus d'opacité

Outre le fait qu'elle puisse constituer un obstacle au développement du nucléaire, la libéralisation du marché de l'électricité engendrera d'autres conséquences en matière de production d'énergie nucléaire.

• Moins de sûreté

Nombreux sont en effet ceux qui craignent que l'ouverture du marché à la concurrence n'engendre chez les entreprises une course à la diminution des coûts afin d'améliorer la compétitivité par rapport aux concurrents. Les exploitants de centrales pourraient ainsi être incités à limiter les frais d'entretien notamment, ce qui peut bien entendu avoir de lourdes conséquences en matière de sûreté lorsqu'il s'agit de centrales nucléaires. La tentation de prolonger la durée de fonctionnement des centrales en remplaçant certaines pièces pourrait également augmenter les risques.

Lors d'un séminaire organisé en 2003, l'Association Vinçotte Nucléaire (AVN), organisme de contrôle indépendant, faisait le constat suivant :

« D'autres risques potentiels de dégradation de la sûreté induits par la libéralisation et la déduction consécutive des coûts ont également été identifiés au niveau international :

- Gestion orientée vers l'optimisation économique
- Pression sur les collaborateurs par réduction d'effectifs
- Réduction des opérations d'entretien et appel accru à la sous-traitance sans maîtrise de celle-ci
- Réduction des marges de sûreté
- Réduction de la stabilité et de la fiabilité du réseau
- Réduction de l'expertise disponible en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection
- Réduction de la coopération entre différents acteurs du nucléaire par effet de concurrence »[63]

Arbeid & Milieu rappelle d'ailleurs l'accident de Tokaimura, au Japon, qui avait fait une victime parmi le personnel d'entretien externe, pour illustrer les risques potentiels : « *La réalisation d'économies de personnel qualifié, disposant du savoir et de l'expérience nécessaires pour travailler dans une centrale nucléaire pourrait par exemple entraîner des suppressions d'emplois au niveau des agents qui surveillent la sécurité durant la nuit et le week-end. La sous-traitance de l'entretien à des personnes non habituées au travail au sein d'une centrale nucléaire provoque une hausse des risques et peut entraîner une augmentation des possibilités d'accident* »[64].

• Plus d'opacité

On peut en outre redouter que l'ouverture du marché à la concurrence ne conduise les exploitants de centrales à être plus avares encore en informations, faisant valoir le principe de confidentialité vis-à-vis de la concurrence, en sus des raisons de sûreté très souvent invoquées pour justifier l'opacité qui entoure ce secteur. Une telle évolution est bien entendu peu souhaitable de la part d'une industrie qui bénéficie déjà d'une image sérieusement écornée en la matière, alimentant de ce fait le sentiment de suspicion qui règne auprès d'une partie du grand public. Ainsi par exemple, un Eurobaromètre réalisé en 2005 révélait que 74% des Européens se dé-

clarent insuffisamment informés en matière de gestion des déchets radioactifs, seuls 23% des Belges estimant pour leur part être assez informés[65].

Le Bureau fédéral du Plan avance des explications : les « *infrastructures nucléaires demandent de gros investissements et ont une technologie complexe. Le coût, la taille et la complexité du système fait que les choix politiques peuvent difficilement être expliqués au public : il y a dans le secteur un manque de transparence vis-à-vis du public. Or, l'acceptation par le public d'un tel choix (la production d'électricité nucléaire) demande une bonne information et une grande transparence dans les critères et méthodes de prises de décision.* »[66]

Récemment encore, l'opacité du secteur nucléaire belge était (re)pointée du doigt par la Commission d'accès aux documents administratifs[67] qui rappelait que le principe de publicité doit être systématiquement d'application à partir du moment où les motifs d'exception ne peuvent être invoqués. L'AFCN (...) et l'Ondraf ont utilisé abusivement le recours aux exceptions face à des demandes de parlementaires, obstructions jugées illégales par la Commission.

4.2.3.4. Construction d'un réacteur EPR en Finlande : un retour du nucléaire ?

Malgré ces conditions peu favorables à un développement du nucléaire, la construction d'un nouveau réacteur nucléaire a été initiée début 2005 en Finlande. Ce projet est d'ailleurs régulièrement évoqué par les lobbies industriels qui disent y voir le signe annonciateur d'un retour de l'atome. Le réacteur finlandais serait-il le contre-exemple de ce qui a été exposé ci-dessus ? A y regarder de plus près, la réponse est négative.

Le futur exploitant de la centrale, la société finlandaise TVO, a en effet bénéficié de nombreux avantages pour concrétiser ce projet de construction d'une nouvelle centrale. Ainsi, Areva et Siemens, chargés de la construction du réacteur, étaient tellement désireux de remporter l'appel d'offres qu'ils ont proposé un prix fixe de 3,2 milliards d'euros. Alors que cette somme semble déjà peu élevée (Areva aurait, selon de nombreux observateurs, bradé les prix pour faire de ce réacteur une « unité de démonstration »[68]), TVO n'encourt de surcroît aucun risque financier puisque tout frais supplémentaire intervenu durant la période de construction sera supporté par les constructeurs. Or, après deux années de construction, on évoque déjà un retard de dix-huit mois et un surcoût de deux milliards d'euros. Areva s'est donc vu contraint de constituer des provisions pour pertes (entraînant une chute du cours de l'action), tandis que son client TVO annonçait l'été dernier le report d'une partie des avances qui devaient être versées au consortium de constructeurs.

Notons enfin que la société finlandaise a obtenu un crédit syndiqué d'un montant de 1,95 milliards d'euros au taux d'intérêt très avantageux de 2,6%[69]. Et que le Gouvernement français y est également allé de son coup de pouce puisque le projet a bénéficié de crédits à l'exportation pour un montant de 610 millions d'euros. In fine, ce sont donc les contribuables français qui paieront une partie de la facture du projet finlandais...

Nul doute donc que sans ces multiples soutiens, les coûts de construction du réacteur auraient été bien supérieurs. Les coûts annoncés aujourd'hui pour la construction d'une centrale EPR en

France sont d'ailleurs maintenant estimés à 25% de plus que le prix payé par TVO. EREF, la fédération européenne des énergies renouvelables, a introduit en décembre 2004 une plainte auprès de la Commission européenne, en raison de ces aides d'Etat qui faussent le jeu de la concurrence. Affaire à suivre...

Mais le nucléaire ne monopolise pas seulement les budgets. Sa centralisation extrême lui assure un quasi-monopole énergétique.

4.3. Le nucléaire nécessite un réseau électrique hyper-centralisé

La production d'électricité par les centrales nucléaires engendre une centralisation extrême du réseau, ce qui comporte de nombreux inconvénients énumérés par Greenpeace UK dans un rapport paru en 2005[70] :

• Un réseau de transport d'électricité très développé...

Le choix du nucléaire conditionne la taille des réseaux et implique donc le recours à des grands systèmes de transport et de distribution. Outre le fait que le transport d'électricité sur de longues distances induit des pertes importantes (l'équivalent d'environ 5% de la consommation finale d'électricité[71] pour le réseau belge), cela induit également une altération des paysages, des frais d'entretien et de maintenance élevés, l'émission d'ondes électromagnétiques, etc.

• ... et non adapté à des productions décentralisées

Le réseau électrique a été conçu pour distribuer l'énergie des centrales vers les lieux de consommation, et non pour accepter des quantités importantes d'électricité décentralisée à redistribuer. Ceci constitue un réel frein au développement des unités de production décentralisées (cogénération de qualité et renouvelables).

• Un parc de production d'électricité laissé aux mains de quelques gros opérateurs

Alors que la décentralisation du réseau permet de favoriser la concurrence et l'innovation technologique, la centralisation génère des monopoles. En témoignent les difficultés que l'on connaît en Belgique dans le processus de libéralisation du marché de l'électricité, caractérisé par une intégration horizontale et verticale très importante du groupe dominant en Belgique, *Suez*.

• Risque accru en matière de sécurité d'approvisionnement

Les conséquences de coupures d'électricité (en raison de problèmes techniques, d'évènements climatiques extrêmes, etc.) sont évidemment plus importantes dans un système centralisé qu'en cas de décentralisation du réseau, pour laquelle les coupures d'électricité sont alors plus locales (avec des conséquences économiques et sociales moins importantes).

Les avantages de la décentralisation du réseau sont donc nombreux. Celle-ci permet de surcroît d'impliquer davantage les acteurs locaux dans le processus de production et de distribution d'électricité, permettant aux individus d'être plus concernés par les questions énergétiques et

favorisant ainsi un changement culturel en matière de consommation d'énergie. La proximité entre le lieu de production et le lieu de consommation permet en outre d'augmenter les possibilités de recours à la cogénération (difficile à mettre en œuvre lorsque la demande de chaleur est éloignée des installations de production d'électricité) et ainsi de réduire les utilisations de combustibles fossiles ou renouvelables.

Les bénéfices pour l'environnement et la sauvegarde du climat sont donc indéniables: la *World Alliance for decentralised energy* (WADE[72]) estime que la poursuite d'une approche décentralisée dans le remplacement des infrastructures obsolètes et la satisfaction de la demande croissante permettrait de réduire les émissions imputables au secteur électrique de moitié d'ici 2020 par rapport à un scénario BAU. Lorsqu'on sait que ces dernières contribuent pour 20% aux émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine anthropique, le potentiel de réduction est ici non négligeable !

4.4. Un frein pour consommer moins

De nombreux éléments tendent à démontrer que le nucléaire est incompatible avec une politique ambitieuse de maîtrise de la demande. Pire, cette technologie favorise le gaspillage, et ce pour plusieurs raisons :

• Centralisation et monopole: un choix rationnel?

Le choix de recourir majoritairement à un moyen de production aux mains d'un seul opérateur a eu pour conséquence de délaisser les données statistiques, audits et autres indicateurs, préalables pourtant nécessaires à toute maîtrise de la demande.

• Production continue: incitation à la consommation?

Comme l'électricité ne se stocke pas, une production électrique abondante et continue comme le nucléaire (non modulable, 24 heures sur 24) incite à lisser la consommation pour utiliser la production à toute heure, même en dehors des heures de pointe. Au lieu de maîtriser la consommation, on préfère adapter la demande à l'offre. Par l'éclairage des autoroutes, par le chauffage électrique à accumulation, par le compteur bi-horaire. Stimuler la consommation pour amortir les centrales, est-ce là une politique « raisonnable » ? Certes, un lissage de la consommation est nécessaire. Mais pas au point d'induire une augmentation de la consommation.

• Financer le nucléaire ou l'efficience énergétique?

Cela va de soi, les capitaux importants investis dans l'énergie nucléaire ne peuvent l'être ailleurs, notamment dans des programmes d'efficacité énergétique, pourtant moins coûteux que l'énergie nucléaire pour réduire les émissions de CO_2[73]. Chaque euro dépensé pour le nucléaire serait investi beaucoup plus efficacement dans des programmes de maîtrise de l'énergie. Ainsi selon une étude américaine[74], chaque dollar investi dans l'efficacité énergétique permet de réduire sept fois plus de dioxyde de carbone que lorsqu'il est investi dans le nucléaire.

La figure 10 du chapitre 2.3.3 issu du rapport de la commission AMPERE illustre le niveau élevé de l'intensité électrique dans notre pays. On observe en effet que seules la France et la Belgique ont encore une intensité électrique en croissance...

Il est en outre intéressant de comparer les consommations électriques résidentielles[75] par habitant dans les pays de l'UE15 (figure 24). Bien qu'il faille interpréter le graphique avec prudence, on observe une tendance à une consommation électrique plus élevée dans les pays ayant développé le nucléaire et poursuivant cette voie ou n'ayant choisi que récemment d'en sortir.

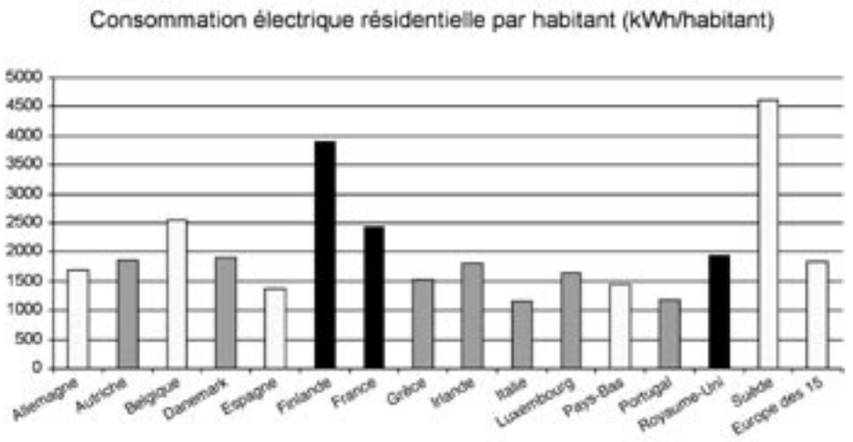


Figure 24 : Consommation électrique résidentielle par habitant dans les pays de l'UE15 en 2004. En gris, les pays n'ayant jamais eu de centrales nucléaires, en blanc, ceux ayant annoncé ou adopté un moratoire et en noir, ceux continuant sur la voie du nucléaire ou n'ayant pas encore pris position. Source : Eurostat, Energie : statistiques annuelles – données 2004, 2006.

Dans la figure suivante, illustrant cette même consommation électrique en fonction de la part de nucléaire dans la production d'électricité, cette tendance apparaît aussi clairement. Même sans prendre des extrêmes, on voit que la consommation en France (ou en Belgique) est plus élevée de près de 40% par rapport à l'Autriche.

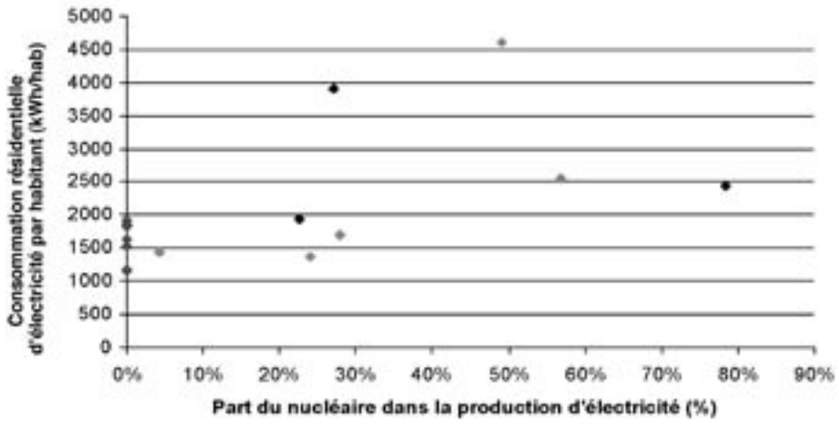


Figure 25 : Consommation électrique résidentielle par habitant dans les pays de l'UE15 en fonction de la part de nucléaire dans la production d'électricité en 2004. Source : Eurostat, Energie : statistiques annuelles – données 2004, *2006 et Energy Information Administration,* International Energy Annual 2004.

4.5. Un frein pour produire mieux

De manière similaire à ce qui a été dit pour les économies d'énergie, les sommes très importantes allouées au nucléaire ne peuvent l'être à des sources d'énergie durables. Historiquement, la majorité des budgets liés à l'énergie ont été affectés au secteur nucléaire, et ce tant au niveau belge qu'européen (cfr. Chap. 4.2.2). C'est aussi un frein aux alternatives en raison du réseau électrique centralisé (cfr. Chap. 4.3).

La revue Alternatives économiques le soulignait ainsi il y a quelques années[76]: « *Le nucléaire constitue, du fait de son poids économique et politique, un obstacle majeur à la réorientation de la politique énergétique. En particulier, parce que sa logique d'offre massive et centralisée s'oppose à la production décentralisée des énergies renouvelables et à la maîtrise de la consommation* » .

Le constat est identique chez nos voisins français : « *Depuis trente ans le nucléaire accapare la majeure partie des subventions publiques à la recherche et au développement énergétiques, tandis que seulement 2% des crédits publics sont accordés aux énergies renouvelables, en baisse de 40% dans le budget de l'Ademe 2003* » (Yves Cochet, ancien ministre français de l'Environnement, le Monde diplomatique, février 2004).

Ce constat se vérifie d'autant plus en Belgique, où la présence d'un opérateur dominant sur le marché et bénéficiant de moyens de production amortis – donc moins onéreux – incite peu les entreprises à investir dans de nouvelles capacités de production. Ce n'est donc pas un hasard si, comme l'illustrent les figures 12 et 13 du chapitre 2.3.6 (p36, 37), la Belgique et la France se distinguent nettement par un recours particulièrement faible aux sources d'énergies renouvelables et à la cogénération.

4.6. Le nucléaire : les ressources s'épuisent aussi

Selon le constat du secteur nucléaire lui-même[77], les réserves d'uranium sont évaluées à maximum 65 ans au rythme de la consommation mondiale actuelle. Le son de cloche est encore plus alarmiste du côté de l'agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA), qui estime que « *les ressources connues sont suffisantes pour satisfaire les besoins en ressources primaires jusqu'à 2035, en supposant une demande moyenne, après quoi il faudrait développer de nouvelles ressources.* »[78] Effectivement, en janvier 1997, les ressources mondiales raisonnablement assurées à un coût de production de $80 ou moins le kilo étaient estimées à 2,53 millions de tonnes[79]. Or le besoin en uranium des réacteurs dans le monde en l'année 2010 est estimé à 67.000t/an[80]. Soit une sécurité d'approvisionnement en Uranium pour 37 années, à compter de l'an 1997... Signalons que les premières mines d'uranium, celles qui ont servi à la fabrication de la bombe atomique d'Hiroshima, étaient congolaises. Aujourd'hui, les principaux filons sont situés au Canada, en Australie, au Niger et au Kazakhstan[81].

La World Nuclear Association a récemment fait part de son inquiétude concernant une pénurie possible à plus court terme encore : « *(...) fuel supply is potentially short beyond 2015, unless the lower demand scenario occurs. (...) future uranium supply is now a big issue. Actually, the uranium market has been concerned about it for some time and accordingly, the price has been increasing for the last couple of years. (...) One of our concerns is that uncertainties about fuel security in the future may depress possible investors' confidence in the nuclear power industry. This could potentially delay or cancel the nuclear programmes, currently set.* »[82]

Bref, au rythme de notre consommation actuelle, tant les énergies fossiles (hormis le charbon) que l'uranium seront des denrées en voie d'extinction d'ici la seconde moitié du siècle... et chères bien avant ! Car l'uranium n'échappe pas à l'envolée des prix énergétiques observée depuis de nombreux mois : le cours de la livre d'U_3O_8 a été multiplié par dix entre début 2001 et début 2007 (cfr. Chap. 4.2.1.) .

Il est bien sûr possible que les augmentations de prix stimulent de nouveaux investissements dans la prospection mais l'approvisionnement futur en uranium – même si la demande n'augmente que modérément – n'est pas assuré. Et bien que le prix de l'uranium intervienne actuellement dans une moindre mesure dans les coûts de production de l'électricité, cette situation pourrait évoluer.

L'hypothèse selon laquelle les augmentations de prix pourraient encourager le développement d'autres technologies permettant de repousser l'échéance paraît peu probable[83] : « *The MIT 2003 report on nuclear comprehensively showed that alternative fuel cycles are significantly more costly than a straight-through cycle*[84]*. Indeed, the UK's experience in reprocessing spent fuel at Sellafield has been disastrous, while the development of fast-breeder reactors has been beset with difficulties world-wide. Such suggestions can in any case only undermine the argument for investing now in the current designs on offer.* »

Notes

2 *AIEA*, Nuclear power and climate change, *2003*.

3 *Öko-Institut*, Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective, *2006*.

4 *AIE*, *Energy and the Environment*, Transport Systems Responses in the OECD - Greenhouse Gas Emissions and Road Transport Technology, *1994*.

5 *Storm Van Leeuwen*, *Smith*, Nuclear power : the energy balance, *Groningen University*, *2005*.

6 *Smith Ph.*, The energy efficiency of nuclear power, *Groningen University*, *2003*.

7 *Aujourd'hui, la centrale thermique la plus performante, appelée Turbine Gaz Vapeur (TGV), émet, sur l'ensemble de la filière, environ 365grCO2/kWh. La Commission AMPERE considère un niveau d'émission de 350grCO_2/kWh (executive summary p. 22).*

8 *Storm van Leeuwen & Smith*, Can nuclear power provide energy for the future; would it solve the CO_2 emission problem?, *Groningen University*, *2004*.

9 *Le document peut être consulté sur : http://www.stormsmith.nl/report20050803/Rebuttal_WNA.pdf*

10 *Oko-Institut*, Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and abatement cost of nuclear and alternative energy options from a life-cycle perspective, *2006*.

11 *Les initiales ICE et CC font référence à la technologie de cogénération utilisée (respectivement le moteur à combustion interne et celui à cycle combiné).*

12 *Mathes F.*, Nuclear Energy and Climat Change, *Heinrich Boell Stiftung, 2005*.

13 *Lovins A.*, Nuclear power: economics and climate-protection potential, *Rocky Mountain Institute*, *2005*. *http://www.rmi.org/images/other/Energy/E05-14_NukePwrEcon.pdf*

14 *van der Zwaan B.*, Nuclear energy : tenfold expansion or phase out?, *Technological Forecasting & Social Change*, *n°69 (2002), pp. 1545-1554*.

15 *Price et al.*, Uranium production and demand. Timely mining decisions will be needed, *NEA News n°22.1, 2004*.

16 *Chiffre utilisé par Vito, émis en 2002*.

17 *BfP*, Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050, *2006*.

18 *Commission nationale Climat*, Quatrième communication nationale sur les changements climatiques en vertu de la CCNUCC, *2006*.

19 *BfP et Econotec*, Evaluation de l'impact des mesures fiscales et non fiscales sur les émissions de CO_2, *2001*.

20 *CFDD*, Avis cadre sur les obstacles à la mise en œuvre des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre économiquement rentables (mesures «no regret»), *2003*.

21 *Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research*, Gestion de la demande d'énergie, dans le cadre des efforts à accomplir par la Belgique pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre pour le Ministère des Affaires économiques, *2003*.

22 *De Groote W. et al.*, Een toekomst zonder atoomenergie in België : opties en gevolgen, *Universiteit Antwerpen (STEM), 1995*.

23 *CREG*, Proposition de Plan indicatif d'approvisionnement en gaz naturel, *2004*.

24 *CREG*, Programme indicatif des moyens de production d'électricité 2005-2014, *2004*.

25 *BfP*, Planning paper 95 – Perspectives énergétiques pour la Belgique à l'horizon 2030, *2004*.

26 *Déclaration de Framatome dans le quotidien* Le Monde *du 17 mai 2003*.

27 *DLR*, Révolution énergétique : un futur durable aussi pour la Belgique, *Greenpeace*, *2006*.

28 *BfP*, Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050, *2006*.

29 *Le backcasting est une méthode de prospective qui « envisage des visions de l'avenir porteuses de changements importants ». Elle permet de déterminer quelles sont les voies à suivre pour atteindre une situation déterminée. Ainsi, « contrairement aux exercices de prospective qui ne posent que la question « où allons-nous ? », toute étude de backcasting met un accent volontariste sur la question « où voulons-nous aller » et « comment y arriver » (BfP, 2006).*

30 *Czarnes R.*, « La canicule a coûté environ 300 millions d'euros à EDF », *Les Echos, 1er octobre 2003*.

31 *s.n.*, La production d'électricité se complique, *La Revue Durable n°15, 2005*.

32 *Le Soir du 22 juillet 2006*.

33 *Lettre de l'adjoint au directeur de la sûreté des installations nucléaires au directeur de la centrale du Blayais, 1er février 2000*, in *La Revue Durable*, La production d'électricité se complique, *avril-mai 2005*.

24 *s.n.*, La production d'électricité se complique, *La Revue Durable n°15, 2005*.

35 *Colenutt D. and al.*, Economics of nuclear power – A Report to the SDC, *University of Sussex*, *NERA Economic Consulting*, *2005*.

36 *UIC*, The Economics of Nuclear Power, *Briefing Paper 8*, *Novembre 2006*.

37 *AIE*, World Energy Outlook, *2006*.

38 *OCDE*, Electricity Supply in the OECD, *1992*.

39 *Dessus B. et Gassin H.*, So Watt ? L'énergie : une affaire de citoyens, *L'aube*, *2005*.

40 *Loi du 11 juillet 2000 modifiant la Loi du 22 juillet 1985 sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire.*

41 *WISE*, A back door comeback – nuclear energy as a solution for climate, *2005*.

42 *GAO*, Nuclear regulation : NRC needs more effective analysis to ensure accumulation of funds to decommission nuclear power plants, *2003*.

43 *Lhomme S.*, La crise de l'énergie et les changements climatiques... condamnent le nucléaire, *Réseau Sortir du Nucléaire*, *2006*.

44 *Barbé L.*, Les coûts du nucléaire, *Etopia, 2005*.

45 *L'EURATOM (ou Communauté européenne de l'énergie atomique) est chargée de coordonner les programmes de recherche sur l'énergie nucléaire. Fondé en 1957, il avait notamment pour objectif de « contribuer à la croissance rapide des industries nucléaires dans les Etats-membres ». Les nombreuses réticences quant à cette source d'énergie l'ont cependant contraint à revoir ses ambitions à la baisse mais il bénéficie toujours, à l'heure actuelle, de financements très importants de la part de ses Etats-membres.*

46 *Glorieux E.*, *Staes B.*, Geldtransfers naar de nucleaire sector in België, *2005*.

47 *CE*, *Solutions for Environment*, *Economy and technology*, *Report for DG Environment*, Environmentaly harmful support measures in EU Member States, *2003*.

48 *Eurendel*, Energy R&D spending report, *2004*.

49 *De Lovinfosse I. et alii*, Renewable electricity policy in Belgium, *UCL*, *2003*.

50 *CFDD*, Avis cadre sur les obstacles à la mise en œuvre des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre économiquement rentables (mesures «no regret»), *2003*.

51 *Thomas S.*, The economics of nuclear power, *Heinrich Boll Stiftung, 2005*.

52 *Marignac Yves*, L'obstination française - Energie, La France s'accroche au nucléaire, *Alternatives Economiques n° 203, 2002*.

53 *Marignac Yves*, L'obstination française - Energie, La France s'accroche au nucléaire, *Alternatives Economiques n° 203, 2002*.

54 *Standards&Poors*, Credits aspects of north american and european nuclear power, *2006*.

55 *CGEE*, Programme national d'équipement des moyens de production et de grand transport d'énergie électrique, *1995*.

56 *BfP*, Planning paper 95 – Perspectives énergétiques pour la Belgique à l'horizon 2030, *2004*.

57 *BfP*, Planning paper 95 – Perspectives énergétiques pour la Belgique à l'horizon 2030, *2004*.

58 *Standards&Poors*, Credits aspects of north american and european nuclear power, *2006*.

59 *BfP*, Planning paper 95 – Perspectives énergétiques pour la Belgique à l'horizon 2030, *2004*.

60 *Commission européenne*, Special Eurobarometer – Attitudes towards Energy, *2006*.

61 *House of Commons – Environmental Audit Comittee*, Keeping the lights on : nuclear, renewables and climate changes, *Vol. I, 2006*.

62 *Schneider M.*, Changements climatiques et nucléaire, *2002*.

63 *AVN*, Une sortie à risque ? La perception d'AVN, Séminaire sur le démantèlement des centrales nucléaires, *Huy, 25 avril 2003*.

64 *Arbeid & Milieu*, La sortie du nucléaire – raisons et conséquences, *2001*.

65 *Commission européenne*, Special Eurobarometer – radioactive waste, *2005*.

66 *BfP*, Quelle énergie pour un développement durable ?, *2005*.

67 *Schoune C.*, L'opacité nucléaire (re)pointée du doigt, *Le Soir du 8 novembre 2006*.

68 *House of Commons – Environmental Audit Committee*, Keeping the lights on : nuclear, renewables and climate changes, *Vol. I, 2006*.

69 *NERA Economic Consulting and University of Sussex*, Economics of nuclear Power, *Report to the Sustainable Development Commission, 2006*.

70 *Greenpeace*, Decentralising power: an energy revolution for the 21st century, *2005*.

71 *FPE, statistiques 2004*.

72 *Alliance internationale d'entreprises d'énergie décentralisée incluant les membres de gouvernements nationaux*.

73 *WWF*, Climate change & nuclear power, *2000*.

74 *Keepin B. and Kats G.*, Greenhouse Warming: comparative analysis of nuclear and energy efficiency abatement strategies, *Energy Policy, vol. 16, no. 6, 1988*.

75 *Pour ne pas tenir compte d'une influence éventuellement importante du secteur industriel*.

76 *Marignac Yves*, L'obstination française - Energie, La France s'accroche au nucléaire, *Alternatives Economiques n° 203, 2002*.

77 *AEN (Agence pour l'énergie nucléaire)*, « Livre Rouge » Uranium 1999 – Ressources, Production and Demand, *1999*.

78 *AIEA*, Analysis of Uranium Supply to 2050, *2003*

79 *OCDE*, Uranium : Ressources, production et demande, *1997*.

80 La France Nucléaire, *2003*

81 *Euratom Supply Agency*, Annual report, *2002*.

82 *World Nuclear Association, 30th Annual Symposium, September 2005, presentation by Haruo Maeda, ITOCHU International*

83 *House of Commons Environmental Audit Committee*, Keeping the lights on: Nuclear, Renewables and Climate Change, Sixth Report of Session 2005–06, *Volume I, 2006*.

84 *MIT*, Nuclear Power, *2003*.

5. PEUT-ON SE PASSER DU NUCLÉAIRE EN BELGIQUE ?

Nous l'avons dit, l'électricité produite par les centrales nucléaires représente moins de 3% de la consommation mondiale d'énergie. Un développement massif de cette technologie étant très peu probable (cfr. Chap. 4.1.4) – et non souhaitable – on peut donc tout à fait se passer de la contribution infime de l'énergie nucléaire à l'échelle planétaire. Mais qu'en est-il en Belgique plus particulièrement ?

L'énergie nucléaire occupe une place importante dans notre parc de production d'électricité. La sortie progressive du nucléaire constitue donc un défi de taille, mais surtout une opportunité de réorienter notre système énergétique de manière plus durable, en phase avec les enjeux auxquels il faut faire face (chapitre précédent). Deux éléments, par ailleurs nécessaires, seront capitaux dans le processus d'abandon du nucléaire : réduire notre boulimie électrique (et énergétique d'une manière générale) et produire l'électricité d'une façon plus soutenable.

5.1. Revoir nos modes de consommation d'énergie

C'est un fait avéré : les modes de consommation actuels des pays industrialisés ne sont ni soutenables, ni généralisables. L'exemple des consommations d'énergie est à cet égard frappant : si les Chinois consommaient la même quantité de pétrole par habitant que les Américains, ils monopoliseraient à eux seuls l'entièreté des capacités mondiales de production de brut. Il est donc indéniable qu'une diminution drastique de nos consommations d'énergie s'impose. Celle-ci peut être mise en œuvre en agissant simultanément sur deux volets. Premièrement, l'augmentation de l'efficacité énergétique, qui consiste à consommer moins d'énergie pour un même service rendu (remplacer les ampoules classiques par des ampoules économiques permet par exemple de diviser par cinq l'électricité consommée). Deuxièmement, utiliser l'énergie de manière rationnelle (en éteignant la lumière lorsque l'on quitte une pièce, en relocalisant l'économie pour réduire le transport de marchandises, etc.).

Si une maîtrise des consommations d'énergie aura des effets bénéfiques évidents en matière de protection du climat, elle permettra également de limiter les impacts négatifs qu'impliquent nos consommations énergétiques : dépendance énergétique, raréfaction des ressources naturelles, pollution de l'air, tensions géopolitiques, non respect des droits de l'homme dans de nombreux pays, etc. En outre, une telle diminution entraînera auprès des consommateurs une réduction évidente de la facture énergétique.

Dans ce chapitre, nous limiterons notre analyse à la consommation d'électricité sans nous étendre aux consommations d'énergie en général. L'objectif est ici de montrer la diversité des scénarios possibles selon les choix que nous effectuerons dans un avenir proche, de briser certains mythes et de mettre en avant des pratiques actuelles en matière de (non-)maîtrise des consommations. Il est indéniable qu'un abandon progressif du nucléaire en Belgique tout en réduisant drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre passe inévitablement par une maîtrise des

consommations. Un programme national de maîtrise des consommations d'électricité pourrait à cet égard constituer un outil intéressant. En attendant, sans aborder les spécificités des différents secteurs ni la multiplicité des applications électriques, la compilation suivante veut montrer que l'augmentation des consommations d'électricité est loin d'être une évolution sur laquelle nous n'avons pas prise.

5.1.1. La croissance est-elle inéluctable ? Leçons du passé

En 1995, lorsqu'il fallu définir quelles nouvelles installations électriques s'avéreraient nécessaires, le *Programme national d'équipement en moyens de production et de transport d'énergie électrique 1995-2005*, élaboré par le Comité de contrôle de l'électricité et du gaz (CCEG), s'est appuyé sur divers scénarios de consommation :

- La projection « tendancielle »[1] s'apparentait à un scénario « Business as usual (BAU) », sans mise en œuvre de politique particulière.
- Le scénario « pilotage de la demande »[2] semblait plus ambitieux : il nécessitait l'adhésion de tous les acteurs de la société pour arriver à l'économie de 8TWh/an à l'horizon 2005.

Une dizaine d'années après l'élaboration de ces scénarios, il est aujourd'hui possible d'en tirer certains enseignements illustrés par le graphique ci-dessous.

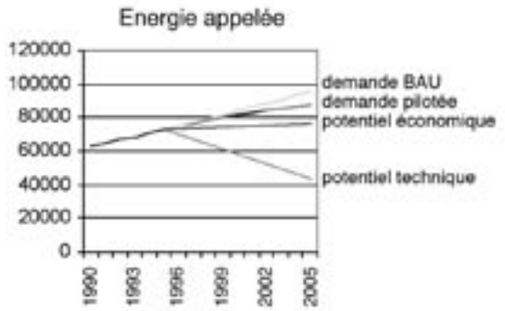


Figure 26 : Electricité appelée : Scénarios du Plan d'équipement 1995-2005. Source : Programme national d'équipement en moyens de production et de transport d'énergie électrique 1995-2005, CCEG.

En 2004, l'on a pu constater que l'électricité effectivement appelée (ou, en d'autres mots, la demande d'électricité) au cours de la période 1995-2004 a sensiblement suivi le scénario « demande pilotée » de 1995. Et ce n'est pas grâce à une véritable politique de maîtrise de la consommation d'énergie où « *chacun dans son rôle traditionnel, s'est impliqué pour transformer le potentiel en économie bien réelle* », comme le prévoyait ce scénario, mais plutôt parce que la projection tendancielle de l'époque était surestimée. L'autre enseignement de ce graphique concerne le potentiel économique (c'est-à-dire économiquement rentable), qui correspond selon le Programme national de l'époque à une quasi-stabilisation de la consommation d'électricité! Quant au potentiel technique (réalisable avec les meilleures technologies disponibles) de réduction des consommations d'électricité, il était évalué à 40% des consommations d'alors.

Aujourd'hui, c'est à la Commission de régulation de l'électricité et du gaz (CREG) que revient la tâche de rédiger un Programme indicatif des moyens de production d'électricité (PI) décennal, qui sert de fondement aux prises de décision relatives aux choix énergétiques futurs. Pour ce faire, la CREG s'appuie sur une série de scénarios de consommation, élaborés par plusieurs études. Malheureusement, il ne revient pas à la CREG d'impulser une politique de maîtrise de la consommation. La planification des moyens de production s'aligne donc grossièrement sur un faisceau de scénarios BAU. Dès lors, doit-on s'étonner que la politique énergétique du pays se limite à adapter (légèrement) la demande à l'offre planifiée ?

N'est-il pas déraisonnable de planifier les moyens de production (et de transport) d'électricité sans avoir au préalable fixé un objectif de maîtrise de la consommation d'électricité ? Cela revient à installer une chaudière très puissante dans une maison non isolée... Un objectif de maîtrise de la consommation est malheureusement inexistant dans notre pays. Dès lors, et c'est bien regrettable, c'est davantage l'offre d'électricité qui influence la demande que l'inverse. L'exemple français est à ce sujet très frappant : pour le lancement de son programme nucléaire, les prévisions de consommation d'électricité dans l'hexagone ont été largement surestimées. Résultat : les capacités de production de la France sont gigantesques[3]. Avec comme corollaires des politiques agressives d'exportation de l'électricité et d'incitation à la consommation...

Il est donc regrettable que les autorités se résignent à considérer l'augmentation des consommations d'électricité (et d'énergie d'une manière générale) comme un postulat de base. La mise en place d'une politique de maîtrise des consommations est tout à fait possible, comme le démontre l'expérience de l'intercommunale limbourgeoise *Interelectra*. Celle-ci est en effet parvenue, dans le cadre des anciens fonds « URE », à faire baisser la consommation résidentielle d'électricité de 7% entre 1996 et 2001 alors que la moyenne belge évoluait dans le même temps à la hausse de 5%. En outre, le rapport annuel 2005 de la Commission de régulation de l'énergie et du gaz (CREG) révèle une diminution de 0,6% de l'électricité appelée entre 2004 et 2005 en Belgique[4]. A l'échelon européen, la production d'électricité de EU-25 a elle-aussi légèrement diminué entre 2004 et 2005 (-0,2% selon Eurostat)[5].

5.1.2. Le potentiel d'économies du ménage belge

Bien que l'industrie soit de loin la plus grande consommatrice d'électricité en Belgique puisqu'elle a consommé plus de 40TWh[6] (soit environ 48% de la consommation totale), nous nous limiterons ici aux usages domestiques qui représentent 21,9% de la consommation finale d'électricité en 2003 (contre 20,6% pour les commerces et services, 3% pour les transports et 2% pour l'agriculture)[7].

En 2003, environ 18 TWh d'électricité ont été consommés par les 4,4 millions de ménages belges (taille moyenne d'un ménage: 2,36 personnes). En moyenne et par an, un ménage belge consomme donc environ 4000kWh.

Pour quels usages le ménage belge consomme-t-il son électricité ?

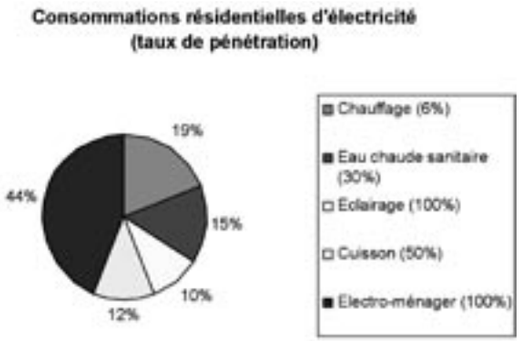


Figure 27 : Consommations résidentielles d'électricité en Wallonie. Les pourcentages entre parenthèses dans la légende indiquent les taux de pénétration.

De prime abord, les données de la figure 27 indiquent que la principale dépense électrique des ménages est l'électroménager. C'est sans compter qu'il s'agit d'une moyenne nationale et que la répartition des consommations électriques dépend de l'équipement électrique de chaque ménage. Ainsi, les 6% de ménages équipés d'un chauffage électrique consomment 19% de l'électricité des ménages pour se chauffer l'hiver!

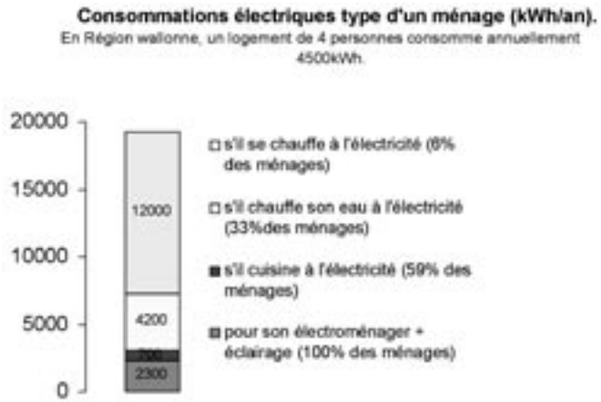


Figure 28 : consommations électriques d'un ménage moyen.

Pour un ménage moyen de 4 personnes : 5300 kWh

électroménager et éclairage (y compris veille)	3450 kWh
cuisson électrique	910 kWh
eau chaude sanitaire	4200 kWh
chauffage	13900 kWh

Sources: Institut Wallon, La consommation électrique d'un ménage URE, 2004.

La figure 28 montre bien ces différences : un ménage de quatre personnes qui n'utilise l'électricité ni pour se chauffer, ni pour chauffer son eau, ni pour la cuisson, consomme – en moyenne – 2.400kWh pour son électroménager (y compris l'éclairage). Mais s'il fait du « tout à l'électrique », cette moyenne passe à 19.200kWh.

5.1.2.1. Dissuader le recours au chauffage électrique

Le chauffage électrique est particulièrement inefficient : il faut trois unités énergétiques – d'abord converties en chaleur pour faire tourner une turbine qui produira de l'électricité – pour en fournir une seule (sous forme d'électricité) dans l'habitat. Vu le faible rendement de la production électrique (33% pour le nucléaire), économiser un kWh électrique revient donc à économiser deux autres kWh (thermiques) perdus dans le processus de production électrique. Et ces chiffres ne tiennent pas compte des pertes sur le transport et la distribution de l'électricité (estimées à 5%). Pour estimer le rendement du chauffage électrique, il faut par ailleurs tenir compte des pertes de la transformation d'électricité en chaleur dans l'habitat!

Ce type de chauffage a aussi un impact important sur le parc de production d'électricité et sur les infrastructures de transport et de distribution. Les quelque 300.000 logements belges chauffés à l'électricité (environ 7% du parc immobilier) absorbent environ 25% de la consommation électrique du secteur résidentiel. Or, le chauffage des bâtiments n'est nécessaire en Belgique qu'une partie de l'année, son intensité variant en outre selon les conditions météorologiques (qui peuvent de surcroît être très différentes d'un hiver à l'autre). Sans surprise, c'est principalement le chauffage électrique qui est responsable des pointes annuelles de consommation, en début de soirée durant les froides journées d'hiver. Le dimensionnement du parc de production, mais aussi du réseau de transport et de distribution d'électricité étant dicté par les consommations de pointe, ces équipements sont donc sous-utilisés la majeure partie de l'année. L'exemple français en dit long sur l'influence du chauffage électrique sur le parc de production : le Réseau « Sortir du nucléaire » estime que l'Hexagone pourrait fermer de huit à dix réacteurs nucléaires (environ un sixième du parc actuel) si le recours au chauffage électrique était abandonné. Une baisse de température de 1°C en hiver entraîne en effet la mobilisation de 1.400MW supplémentaires (contre 400 MW en 1980, lorsque le chauffage électrique était moins répandu).

Du fait que ce sont les centrales les moins performantes (donc celles qui crachent le plus de CO_2) qui sont mises en fonctionnement lors des pics de consommation, l'on peut considérer qu'en période de pointe, le chauffage électrique émet davantage de CO_2 qu'un système de chauffage conventionnel (au gaz naturel par exemple)... Une étude française estime ainsi sur base du parc

de production d'électricité dans l'hexagone que « le chauffage électrique émet moins ou autant (suivant les années) de CO_2 que le chauffage au charbon, mais plus que le chauffage au fioul, au gaz naturel, que le chauffage urbain et que le chauffage au bois »[8]. Compte tenu de la part plus importante des sources d'énergie fossiles dans la production d'électricité en Belgique, les résultats obtenus dans notre pays iraient davantage encore en défaveur du chauffage électrique (cfr. Chap. 4.1.5.1). Vraiment propre le chauffage électrique ?

C'est pourquoi le secrétaire d'Etat à l'énergie et au Développement durable a proposé en 2002 d'interdire la publicité pour le chauffage électrique. Mais la mesure suffit-elle ? L'éradication progressive de ce mode de chauffage aberrant est une nécessité, particulièrement dans les logements modestes, où l'installation est effectuée à moindre frais par le propriétaire et où la consommation – coûteuse ! – est laissée au locataire. On observe ainsi que le chauffage électrique apparaît comme un facteur aggravant la précarité des ménages défavorisés qui en sont équipés, et qui doivent alors faire face à des factures exorbitantes qui grèvent fortement leur pouvoir d'achat. Une telle éradication est tout autant une question sociale qu'il convient de considérer avec attention. Ne faudrait-il pas interdire l'installation du chauffage électrique, comme c'est le cas au Danemark depuis 1985 (sauf dérogation exceptionnelle)? Ou, au minimum, la soumettre à autorisation préalable comme en Suisse?

5.1.2.2. Dissuader le recours à l'air conditionné

Avec des étés régulièrement plus chauds, une autre tendance alarmante se profile : le recours à l'air conditionné. La « clim » bénéfice ainsi d'un effet de mode et est de plus en plus souvent présentée comme indispensable sous nos latitudes. Les ventes d'installations d'appoint – particulièrement inefficientes – explosent dès les premiers jours de grosse chaleur. Le constat est identique pour les véhicules automobiles, pour lesquels l'installation de la climatisation s'est généralisée ces dernières années. Pourtant, sous nos latitudes, un logement bien conçu et/ou l'application de quelques règles de base permettent de se passer d'une telle installation. Dans le secteur tertiaire aussi, des alternatives existent et elles devraient être envisagées avant de se lancer tête baissée, car même si la climatisation s'avère parfois nécessaire, une conception adéquate permettra d'éviter tout gaspillage.

Mais pourquoi vouloir l'éviter ?

Tous les climatiseurs - sauf un système solaire thermique - rejettent des gaz à effet de serre. La « clim » classique fonctionne avec des fluides frigorigènes à base d'hydrofluorocarbones (HFC), substances à pouvoir de réchauffement 1.300 fois plus élevé que celui du CO_2 (1 gramme de ce fluide rejeté dans l'atmosphère équivaut à 1.300 grammes de gaz carbonique). Les fuites d'HFC sont inhérentes à la marche de l'appareil : circuits, joints et tuyaux souples laissent échapper des gaz à effet de serre. On estime à 15% la quantité nécessaire pour compenser ces pertes dues aux fuites[9]. Enfin, l'appareil est encore rarement recyclé et finit donc souvent en décharge, générant de nouveaux rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Le climatiseur dévore aussi beaucoup d'énergie, souvent produite à partir de sources d'énergie polluantes. Lors d'un été « normal », les climatiseurs accroissent la consommation d'électricité de plus de 1.000 kWh pour trois mois pour une petite surface (45 m^2) seulement, et alourdit par ailleurs la facture de 20 à 25%, selon un calcul de l'ADEME.

Comment faire sans ? Il suffit d'adopter quelques règles de base :

- limiter le plus possible les apports de chaleur extérieure (volets, auvents, stores extérieurs... tout ce qui permet de limiter l'entrée des rayons du soleil) ;
- profiter de la nuit pour évacuer la chaleur accumulée. La nuit, la température extérieure descend facilement 10°C en dessous de la température maximum atteinte en journée. Une ventilation efficace permet de refroidir les pièces la nuit, évitant l'accumulation au fil des jours ;
- en cas de besoin, préférez les ventilateurs. S'ils ne refroidissent pas l'air, ils permettent de mieux supporter la chaleur et consomment moins.

En voiture non plus, l' « airco » n'est pas incontournable. Le fonctionnement du climatiseur entraîne une surconsommation de l'ordre de 25 % à 35 % en ville, et de 10 % à 20 % en extra urbain. A l'année, cela représente une surconsommation et donc une surémission de CO_2 de plus de 5 % (ADEME). A laquelle s'ajoute aussi l'impact des rejets en fluides frigorigènes des circuits de l'air conditionné.

La directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments[10], qui impose aux Etats-membres de fournir des conseils utiles aux utilisateurs de systèmes de conditionnement d'air (avec une capacité de refroidissement nominale supérieure à 12kW) sur l'amélioration ou le remplacement éventuel du système de conditionnement d'air et sur des solutions alternatives (art. 9), devrait contribuer à rationaliser quelque peu l'utilisation de la climatisation dans les bâtiments. Elle sera toutefois insuffisante pour enrayer la tendance actuelle, et les autorités nationales devraient accorder davantage d'attention à ce problème, par exemple en pénalisant son usage lorsqu'il n'est pas nécessaire ou en favorisant les méthodes alternatives de refroidissement.

5.1.2.3. Promouvoir l'efficacité énergétique.

Une étude réalisée dans les 22 pays membres de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), montre qu'en renforçant les politiques d'amélioration de l'efficacité des appareils courants, l'ensemble des pays de l'AIE pourrait réduire de 24% la demande d'électricité des ménages d'ici 2010 et de 33% d'ici 2030 par rapport à un scénario « Business as usual »[11], et ainsi réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre et la facture électrique des particuliers. Et ce, uniquement en adoptant des mesures d'efficacité énergétique économiquement rentables! Une fois de plus, tout n'est question ici que de volonté politique.

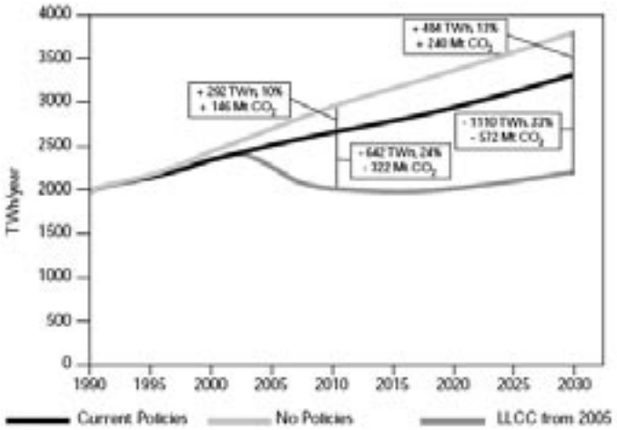


Figure 29 : Consommation résidentielle d'électricité par les appareils domestiques dans les pays de l'AIE. Source : AIE, 2003.

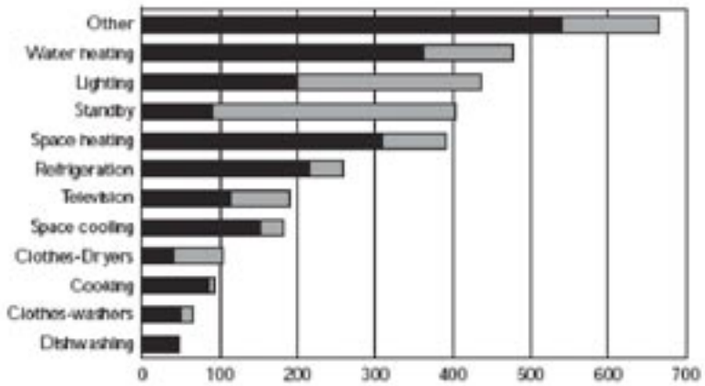


Figure 30 : Projection des économies d'électricité (en TWh/an) réalisables pour les appareils domestiques dans l'ensemble des pays de l'AIE à l'horizon 2030. Source : AIE, 2003.

Le graphique 30 ci-dessus illustre les potentiels importants d'économies d'électricité (zone grise) économiquement rentables si les pays de l'AIE mettent en place des politiques volontaristes, en particulier pour ce qui concerne l'éclairage (ampoules économiques) et les modes « veille » (stand-by) des appareils. En effet, de nombreux appareils électriques continuent à consommer de l'électricité quand on ne les utilise pas. Prises indépendamment, ces consommations sont faibles (de 5 à 15 W), mais leur généralisation sur nos équipements engendre des consommations totales importantes. Le bureau E-Ster évalue ainsi la consommation totale engendrée en Belgique par les appareils sous tension lorsqu'on ne les utilise pas à 2,24 TWh par an[12] !

De plus, des gisements d'économies encore plus importants que ceux illustrés sur le graphique résident dans le chauffage, l'eau chaude sanitaire, voire les cuisinières puisque ces applications ne sont pas spécifiques à l'électricité. Décourager le recours à l'électricité pour ces utilisations

pourrait ainsi quasiment doubler le potentiel d'économies. A l'horizon 2030, ce sont ainsi 1.800TWh qui seraient économisés au niveau mondial, soit la moitié de la consommation électrique prévue des ménages.

Dans l'Union européenne, la mise en œuvre de la directive relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques[13] pourrait également donner une impulsion importante à la « chasse au gaspi ». Elle exige des Etats membres de définir des plans d'action nationaux afin de réaliser une économie d'énergie annuelle de 1% dans l'approvisionnement, la distribution et la vente au détail d'électricité, de gaz naturel, de chauffage urbain, et d'autres produits énergétiques. Si cet objectif de 1% est indicatif (les Etats membres ne sont pas contraints de le respecter), les plans d'action devront être approuvés par la Commission européenne.

Mentionnons également le Livre Vert sur l'efficacité énergétique[14], publié par la Commission européenne en 2005 et auquel a fait suite le Plan d'action pour l'efficacité énergétique[15]. L'Europe y présente comment réduire de 20% les consommations d'énergie dans l'Union d'ici 2020, et ce de manière économiquement rentable grâce à des mesures d'efficacité énergétique. Selon la Commission, une mise en œuvre par les Etats membres de la législation européenne déjà adoptée permettrait d'atteindre la moitié de cet objectif.

Cependant, l'amélioration des technologies a par le passé montré ses limites en matière de réduction de consommation d'énergie. En effet, les effets positifs de l'efficacité énergétique sont souvent absorbés par l'augmentation des consommations ; c'est ce que l'on appelle « l'effet rebond ». La baisse de consommation des véhicules automobiles nous permet ainsi de parcourir davantage de kilomètres avec le même budget, mais avec les conséquences que l'on sait sur la pollution de l'air, l'augmentation de l'effet de serre, etc. Installer des ampoules économiques incite moins les usagers à limiter les éclairages inutiles. De la même manière, nos réfrigérateurs consomment proportionnellement moins d'électricité qu'auparavant, mais ils sont beaucoup plus volumineux, équipés de congélateurs, de distributeurs de glaçons, etc. Malgré l'augmentation de l'efficacité énergétique, nos consommations d'électricité (d'énergie) ont augmenté. Il est donc nécessaire de freiner aussi nos besoins si l'on veut diminuer ces consommations.

5.1.2.4. Une tarification intelligente

Comme le dénonce le Conseil fédéral de développement durable (CFDD), « *Des systèmes de tarification dégressive ou mal conçue peuvent avoir comme effet pervers d'inciter à une consommation d'énergie excessive.* »[16]

C'est pourquoi un rapport, réalisé par l'Institut de conseil et d'études en développement durable pour le compte du Ministère des Affaires économiques, formule les suggestions suivantes :

- La non-dégressivité de la facture. Une telle tarification encouragerait encore plus l'achat de produits économes en électricité et pénaliserait les consommateurs résidentiels les plus gourmands au profit des plus économes.

- L'arrêt de propositions tarifaires très intéressantes pour des usages particuliers et très énergivores. Pendant longtemps, les électriciens ont favorisé, par des mesures tarifaires avantageuses, un certain nombre d'applications très énergivores comme les applications thermiques (chauffage, etc.).

On pourrait même aller plus loin en étudiant la possibilité de mettre en place une tarification solidaire et progressive de l'électricité : les premiers kilowattheures seraient fournis à un prix démocratique afin de permettre à tous l'accès aux services électriques. Les suivants seraient fournis au prix actuel, tandis que ceux de la dernière tranche seraient vendus à un prix dissuasif. Une telle tarification progressive inciterait certainement les ménages à suivre de plus près leurs consommations d'électricité.

A quand donc une obligation de service public wallonne où les fournisseurs d'électricité devraient réduire progressivement la consommation moyenne de leur clientèle ? Les fournisseurs pourraient alors enfin s'intéresser aux petits consommateurs, économes et/ou plus pauvres. Et la structure tarifaire, libéralisée, devrait s'adapter à ce nouveau marché…

5.1.3. Demain, quels scénarios de consommation électrique ?

En 2005, l'énergie électrique appelée (consommation nette plus les pertes de réseau) en Belgique s'élevait à 87TWh[17b]. Quelle sera la consommation d'électricité vers 2020 ?

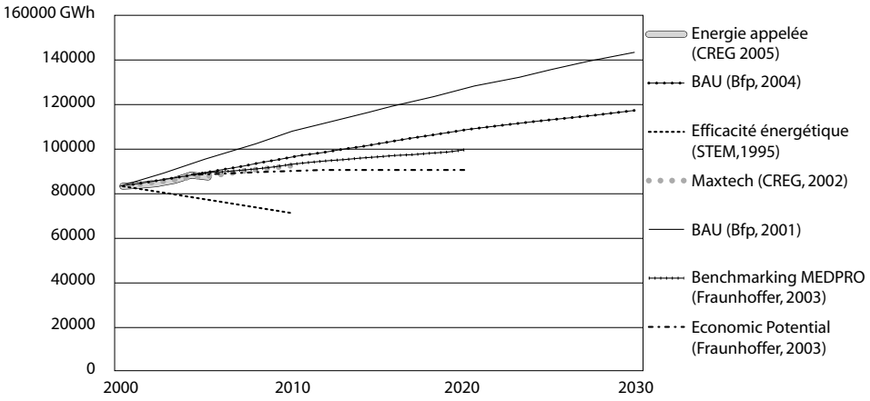


Figure 31 : Scénarios de consommation d'électricité à l'horizon 2020-2030. Sources : FPE (2005), STEM (2005), CREG (2002, 2005), Fraunhofer Institute (2003).

Toutes ces estimations (hormis celles du scénario « efficacité énergétique » du STEM) tiennent compte de la sortie programmée du nucléaire. Pour des explications détaillées sur les différentes courbes de ce riche graphique, nous renvoyons à l'avis d'Inter-Environnement Wallonie concernant le Programme indicatif des moyens de production d'électricité 2005-2014[18]. On peut constater de manière succincte :

- Une surestimation récurrente des scénarios de consommation. Cela illustre le fait que la croissance des consommations d'électricité est généralement surestimée. La consommation des ménages ne croît que marginalement et c'est en grande partie à l'industrie que l'accroissement de la consommation annuelle est imputable. Le scénario « Potentiel économique » de l'étude « Gestion de la demande » réalisée par le Fraunhofer Institute en 2003[19] table ainsi sur une stabilisation des consommations dès 2011.
- En 2002, la CREG avait élaboré un « potentiel technique d'économies d'énergie » tellement négligeable que la consommation électrique actuelle évolue au niveau de ce « potentiel technique d'économies ». Et ce, sans véritable politique de maîtrise des consommations. Rappelons une nouvelle fois qu'on peut regretter que la CREG ne s'intéresse pas davantage à la maîtrise des consommations d'électricité.

Une augmentation importante des consommations d'électricité a donc par le passé constitué un postulat de départ dans l'élaboration de politiques énergétiques à long terme. Il est indispensable que cette vision tronquée soit abandonnée au profit d'une politique volontariste de maîtrise de la demande. Il y a une dizaine d'années, une étude réalisée par le bureau STEM[20] élaborait un scénario « efficacité énergétique » pour lequel la demande d'électricité diminuait de 3,7% l'an entre 1995 et 2010. Moins de 71TWh seraient alors consommés en Belgique à l'horizon 2010. Une telle diminution aurait à tout le moins demandé une politique volontariste de réduction des consommations, inexistante en Belgique. C'est d'autant plus regrettable qu'en 2001, la Commission Ampère rappelait qu'en termes de demande électrique, un différentiel du taux de croissance de 3% par an engendrerait une différence de consommation de près de 37TWh en 2012. L'enjeu de la maîtrise de la demande d'électricité est ainsi fixé !

5.2. Produire de manière plus durable

Parallèlement à une politique ambitieuse de maîtrise de la demande, une adaptation de notre parc de production d'électricité sera, bien entendu, nécessaire pour répondre aux différents enjeux : changements climatiques, dépendance énergétique, etc.

Lors des débats et de l'adoption de la loi sur la sortie du nucléaire, le gouvernement était clair à ce sujet, plaidant pour que l'arrêt de la production d'électricité nucléaire s'accompagne d'une part beaucoup plus grande d'électricité provenant de sources plus durables (énergies renouvelables, cogénération de qualité). En outre, un recours accru aux centrales au gaz (TGV) était attendu, considérant que ce sont les centrales thermiques les plus performantes actuellement sur le marché.

Quelles sont les alternatives qui s'offrent à nous pour saisir l'opportunité de la sortie du nucléaire et orienter notre système énergétique vers un modèle plus durable ? Ce n'est évidemment pas l'objet de ce dossier d'analyser en détail le potentiel de chaque filière. Nous nous limiterons à quelques exemples, l'objectif étant davantage d'ouvrir le débat… Successivement, nous aborderons l'éolien, la biomasse, la cogénération et, pour le plus long terme, le photovoltaïque. D'autres sources d'énergie renouvelables sont en cours de développement et sont également appelées à

jouer un rôle dans la production d'électricité à l'avenir, en particulier l'énergie des océans (vagues, courants, marées, gradients thermiques). Elles ne seront pas abordées ici (on ne s'attend pas à ce qu'elles se développent massivement avant 2020 au plus tôt, et la Belgique ne bénéficie que de potentiels limités en la matière).

5.2.1. La filière éolienne

L'énergie éolienne est exploitée depuis des siècles, notamment grâce aux moulins à vent ou aux bateaux à voile. Les technologies ont fortement évolué, principalement au cours de la dernière décennie. Alors que les éoliennes érigées dans les années nonante étaient caractérisées par des capacités de production de 0,5 MW, les modèles les plus performants d'aujourd'hui offrent une puissance 6 MW. Le potentiel éolien techniquement exploitable est ainsi évalué au niveau mondial à quelque 53.000TWh/an. Soit plus de deux fois la consommation électrique mondiale estimée pour 2020[21].

Fin 2005, près de 60GW éoliens étaient fonctionnels dans le monde (dont 18GW rien que pour l'Allemagne), soit de quoi alimenter en électricité plus de 70 millions de personnes. Le développement de l'éolien a donc connu une croissance fulgurante puisqu'en 1997, seuls 7,5 GW étaient installés dans le monde. Selon le rapport *Wind Force 12*, 1.200 GW pourraient être installés pour 2020, soit une capacité de production suffisante pour atteindre 12% de la consommation mondiale à partir d'éoliennes[22].

En Europe, le secteur éolien a connu une croissance de 18% en 2005 puisque plus de 6.000 MW ont été installés en un an, portant la capacité totale à plus de 40 GW. Pour 2020, le rapport *Wind Force 12* estime que la puissance éolienne pourrait avoisiner les 230GW en Europe si les conditions réglementaires le permettent. À titre de comparaison, la capacité de production du nucléaire en Europe est actuellement de 125GW (il convient néanmoins de tenir compte du fait que les éoliennes ne peuvent fonctionner en permanence en raison de la variabilité des vents, au contraire des centrales nucléaires si celles-ci ne connaissent pas de dysfonctionnement). Irréaliste ? Rappelons que l'objectif (indicatif, donc non contraignant) européen du Livre blanc de la Commission européenne de 1997 n'était que de 40.000 MW pour 2010. La barre a été franchie fin 2005, soit cinq ans plus tôt que prévu. Si la tendance se poursuit, on prévoit une capacité de production de 72.000 MW d'ici 2010.

Et la Belgique ?

Comme nous l'avons dit précédemment, la Belgique est à la traîne puisqu'elle occupe la dernière place européenne en matière de recours aux énergies renouvelables. Mais grâce à l'instauration du marché des certificats verts (cfr. Chapitre 2.3.6), le secteur se développe fortement. La production d'électricité éolienne est ainsi passée de 9,3 MW en 1999, à 67 MW en 2003 et à 167,4 MW en 2005[23] (pour production totale de 240 GWh). C'est encore terriblement peu (les Pays-Bas bénéficiaient d'une capacité de production de 1.219 MW en 2005[24]) mais les perspectives de développement sont encourageantes pour le secteur. De nombreuses études ont en effet évalué les potentiels de développement en tenant compte des espaces disponibles, des contraintes d'urbanisme et de « cartes des vents ». L'une d'elles évalue ainsi en Flandre le potentiel de production d'électricité grâce aux éoliennes à 1.720 GWh d'ici 2020[25]. Du côté wallon, l'APERe évalue le potentiel de production d'électricité éolienne au sud du pays à 3.000 GWh à l'horizon 2020 également[26]. Au total, selon Edora et OPDE-Vlanderen, ce sont 6.820 GWh d'électricité qui pourraient être produits chaque année par l'éolien onshore dans notre pays dans un scénario proactif, à l'horizon 2030[27].

Ces chiffres ne tiennent pas compte de l'éolien offshore, pourtant amené à occuper une place non négligeable dans notre parc de production d'électricité. C'est en effet au large de nos côtes que les potentiels sont les plus intéressants en raison de vents moins capricieux et de contraintes visuelles moins importantes. Le potentiel technique éolien au large des côtes est plus de deux fois supérieur à la consommation d'électricité combinée du Royaume-Uni, de la Belgique, des Pays-Bas, de l'Allemagne et du Danemark[28]. La Belgique, comme les autres pays de la Mer du Nord, a donc accès à cet immense potentiel. Via un réseau haute tension en mer, l'éolien offshore dans les eaux internationales pourra être acheminé en Belgique. L'accès au réseau électrique est un des éléments essentiels à cet essor. L'éolien offshore est particulièrement adapté à la fourniture d'énergie à grande échelle pour la Belgique.

Un rapport remis à la Politique scientifique belge en 2004 évalue ainsi le potentiel économique de production d'électricité des éoliennes offshore entre 6.000 et 13.000 GWh d'ici 2025[29]. Dans le document que le Pr. De Ruyck a remis à la Commission « Energy 2030 », un potentiel de 3.800 MW est considéré, soit une production totale de plus de 14.000 GWh par an en 2030. On observe ainsi aujourd'hui que les projets prévus (216 à 300 MW par C-POWER et 150 MW par le consortium *Eldepasco*) devraient permettre de produire entre 1,2 et 1,5 TWh/an d'ici 2010. Et Belwind a annoncé durant l'été 2006 son intention de construire 66 éoliennes (pour une capacité totale de production de 330 MW, ce qui en ferait le plus grand parc éolien en Belgique) sur le « Bligh Bank », à 46 kilomètres des côtes…

Au total pour notre pays, la Commission européenne table sur un potentiel maximum de développement de 3,4GW installés en 2020, soit une production de 11,7TWh/an[30]. Et le scénario proactif (PROA) de la récente étude *Renewable Energy evolution in Belgium 1974-2025* (réalisée pour le compte de la Politique scientifique belge) estime quant à lui le potentiel éolien installé à l'horizon 2025 à 12,1TWh (dont 8TWh d'offshore), soit plus d'un quart de la production nucléaire actuelle ! Et à plus long terme, l'éolien occupera une place plus grande encore dans notre parc de production d'électricité : le Bureau fédéral du Plan prévoit une production d'électricité éolienne de 43,5 TWh (l'équivalent de la production nucléaire actuelle) en 2050[31]. Les fédérations de producteurs d'électricité renouvelable vont même plus loin puisqu'elles considèrent qu'une politique proactive permettrait d'atteindre plus de 23 TWh grâce à l'éolien d'ici 2030[32].

Et les chiffres présentés pourraient être revus à la hausse si l'on tenait compte des perspectives de développement de la puissance nominale des éoliennes, qui a augmenté d'un facteur 10 en une dizaine d'années. Au contraire des ressources en combustibles fossiles et fissiles, les potentiels de l'éolien ne cessent d'augmenter au fil des ans.

5.2.2. La biomasse

La biomasse (en particulier le bois) est également utilisée depuis des millénaires comme source d'énergie. Outre le fait qu'elle soit renouvelable, elle possède l'avantage d'être stockable et ainsi complémentaire de sources d'énergies fluctuantes, comme l'éolien. Par ailleurs, la combustion de biomasse n'émet qu'une quantité de CO_2 équivalente à celle qu'elle a absorbé au cours de la croissance du végétal lors de la photosynthèse[33]. La biomasse est la principale source d'énergie renouvelable valorisée en Belgique (notamment grâce à l'incinération de la fraction organique des déchets ménagers).

La biomasse peut être valorisée sous différentes formes pour produire de l'électricité. Mentionnons d'une part la combustion conventionnelle (bio-énergie), comme c'est le cas dans la centrale des Awirs, près de Liège. Electrabel a en effet récemment converti une centrale au charbon vétuste afin d'y brûler du bois canadien sous forme de granules. Notons au passage qu'une telle option est regrettable, cette ancienne centrale étant caractérisée par des rendements très faibles, ce qui conduit à un gaspillage important de cette source d'énergie renouvelable (près des deux tiers de l'énergie primaire part en fumée !).

D'autre part, la biomasse peut être valorisée sous forme de biogaz (gaz à haute teneur en méthane). Placée dans un digesteur en absence d'oxygène, la matière organique (déchets végétaux, lisier, etc.) est alors transformée en biogaz qui pourra ensuite être brûlé pour produire de l'énergie. Une réaction similaire a lieu dans les centres d'enfouissement technique qui accueillent nos déchets ménagers. Le méthane, gaz à effet de serre, doit alors être récupéré pour limiter les impacts sur le réchauffement global et peut être utilisé pour la cogénération ou la production d'électricité.

L'augmentation des prix pétroliers conduit à un recours accru au bois et à ses dérivés pour produire de l'électricité (on a constaté une hausse des consommations de 24% entre 2003 et 2004 en Europe[34]). Pour ce qui concerne les potentiels de développement de la filière biomasse dans la production d'électricité en Belgique, la politique scientifique table pour 2025 sur une production se situant aux alentours de 6,5TWh sans son scénario « PROA »[35], en ce compris la combustion de biomasse dans des unités de cogénération. Etopia évoque quant à lui un niveau similaire de production - 6TWh - à la même échéance[36].

5.2.3. La cogénération

Le principe de la cogénération consiste à produire simultanément de la chaleur et de l'électricité, ce qui permet d'augmenter considérablement le rendement énergétique. En effet, lors de la production d'électricité, une partie de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur. Dans une unité de cogénération, ces calories, perdues dans les centrales thermiques classiques, sont récupérées pour être utilisées dans un processus industriel, dans un réseau de chaleur ou de chauffage urbain, etc. Grâce à l'exploitation de cette chaleur, le rendement peut atteindre 90%. Bien mieux que les 55% d'une centrale gaz à cycle combiné, incomparablement mieux que les rendements de l'ordre de 30% d'une centrale nucléaire. Pour optimaliser ce rendement, l'unité de cogénération doit être dimensionnée en fonction des besoins en chaleur. La cogénération, applicable tant à la combustion d'énergies fossiles (gaz, ...) que de biomasse, permet ainsi de diminuer de 15% à 20% la quantité d'énergie primaire nécessaire par rapport à des productions séparées d'électricité et de chaleur, et donc de réduire les émissions de CO_2 en comparaison avec une centrale « classique », même si elle fonctionne au moyen de combustibles fossiles : produire 1000 kWh d'électricité au moyen de cogénération permet ainsi d'économiser 644 kWh de gaz naturel par rapport à une centrale électrique au gaz performante et une chaudière fonctionnant au gaz naturel !

En 2002, la production d'électricité par cogénération s'est établie à 299 TWh dans l'UE-25, soit 9,9% de la production brute d'électricité[37]. Tandis qu'au Danemark la cogénération participait à hauteur de 49,1% dans la production d'électricité, contre 38% en Finlande et 30% aux Pays-Bas, la Belgique accusait un retard important en la matière puisque la cogénération ne représentait que 7,5% en en 2002[38].

Historiquement, la cogénération n'a jamais bénéficié d'un cadre favorable en Belgique. Le STEM de l'Université d'Anvers affirmait ainsi : « *Dans le dernier Plan d'équipement (1988-1998), tout comme dans les Plans d'équipement précédents, le potentiel réel d'auto-production n'avait jamais été correctement estimé par le Comité de gestion des entreprises d'électricité (CGEE). Nous avions alors remarqué que le CGEE limitait le marché de façon non justifiée et n'appliquait aucune méthode scientifique pour estimer ces potentiels* »[39]. Ainsi, le potentiel estimé par la CGEE pour la période 1988-1998 n'était que de 220 Mwe soit une production annuelle d'à peine 1TWh. Selon la FPE, la capacité de production d'électricité par cogénération s'élevait fin 2004 à 1340 MWe[40] ! Divers projets ont en outre été annoncés depuis, ce qui devrait rapidement augmenter la capacité de production des centrales à cogénération.

En 2001, la Commission Ampère estimait quant à elle le potentiel belge à 5,5TWh pour 2010, soit moitié moins que celui estimé par la Commission européenne (11TWh) et que le seul objectif wallon (fixé à 7TWh pour la même date[41]). Une étude du STEM va encore plus loin, estimant pour 2010 le potentiel de cogénération industrielle économiquement rentable à 8,3TWh et celui dans les bâtiments de 15,5 à 27,3TWh. Soit un total de 23 à 35TWh[42], davantage que la moitié de la production nucléaire actuelle.

Plus récemment, deux études réalisées en 2006 par le Bureau fédéral du Plan et basées sur le même scénario de référence tablaient dans celui-ci sur une contribution de la cogénération à hauteur de 19% dans la production belge d'électricité en 2020, soit une production de 19,8TWh[43], ce qui représente un peu moins de la moitié de l'électricité produite actuellement par les réacteurs nucléaires.

Encore une fois, une réelle volonté politique fait défaut pour exploiter ces potentiels importants. Un cadre de promotion stable doit être défini à long terme, car le système des certificats verts octroyés à la cogénération de qualité, s'il est efficace, ne suffira probablement pas.

5.2.4. Le solaire

Le soleil est une source d'énergie renouvelable extrêmement abondante : notre planète reçoit quotidiennement près de 9.000 fois l'énergie que nous consommons[44]. Capter 0,01% de cette énergie (via une valorisation de la biomasse, du vent, mais aussi de l'énergie solaire directe) nous permettrait donc d'assouvir nos besoins énergétiques. Il y a là un potentiel énorme et le soleil constitue indéniablement l'énergie du futur.

Mais si le solaire thermique (panneaux destinés à chauffer l'eau sanitaire, et plus rarement les bâtiments) se développe rapidement dans notre pays grâce aux primes proposées par les pouvoirs publics, le solaire photovoltaïque (panneaux destinés à produire de l'électricité) connaît un essor moins important en raison des coûts de production plus élevés et d'un rendement énergétique encore faible (de l'ordre de 15% actuellement, mais certains systèmes récents dépassent les 30%), malgré les progrès extrêmement importants réalisés par l'industrie ces dernières années.

Le solaire photovoltaïque sera-t-il l'énergie phare de demain ?

En Belgique, chaque mètre carré reçoit, en moyenne et par an, de l'ordre de 1.000kWh. Avec nos 30.000km^2 de superficie, l'apport d'énergie solaire annuel sur la Belgique est donc de quelque 30.000TWh. Théoriquement et en moyenne, il faudrait donc couvrir un peu moins de 2% du territoire national pour fournir les 80TWh annuellement consommés si l'on pouvait valoriser entièrement cette énergie. Il est bien évidemment impossible, dans la pratique, d'exploiter totalement ce potentiel, mais le chiffre démontre à quel point l'énergie solaire est un gisement considérable non exploité à ce jour.

À l'échelle mondiale, le rapport *Solar generation*[45] estime qu'il est possible pour 2040 de produire 9.113TWhc via l'énergie solaire. Soit plus de 60% de la consommation mondiale d'électricité actuelle. Mais de nombreux progrès doivent encore être réalisés afin de réduire les coûts et d'augmenter les rendements énergétiques du solaire photovoltaïque. Les spécialistes ne tablent donc pas sur un développement massif de cette technologie avant 2020.

De nombreuses études prévoient toutefois un recours croissant à cette technologie dès aujourd'hui, et ce, pas uniquement dans les pays bénéficiant d'un climat particulièrement ensoleillé.

Ainsi, au niveau européen, l'EPIA (European Photovoltaic Industry Association) estime que le scénario proposé par la Commission européenne suggérant une capacité de production de 3.000MWc à l'horizon 2010 est tout à fait réalisable. 1800 MWc étaient en effet installés fin 2005 contre 600 MWc deux ans plus tôt[46]. Atteindre un tel objectif nécessite une volonté politique de chaque Etat-membre afin de garantir une demande suffisante, le maintien de la croissance du photovoltaïque dans les pays développés étant le seul moyen de diminuer les coûts de production des modules photovoltaïques grâce aux économies d'échelle. La baisse de ces coûts facilitera alors la mise en place de programmes internationaux d'électrification rurale décentralisée de grande envergure. De tels programmes commencent à voir le jour actuellement.

En Belgique également, le solaire est amené à se développer considérablement. Le rapport de la Commission AMPERE envisage ainsi une production de 10 à 20 TWh/an à long terme et de 500 GWh à l'horizon 2020. Etopia reprend les estimations de la Commission AMPERE, soit environ 500 GWh par an en 2020, mais estime que la capacité de production grimpera à plus de 4.000 GWh en 2030. Enfin, l'étude *Renewable Energy evolution in Belgium* table sur une production de plus de 1.000GWh d'ici 2025.

Une croissance importante du photovoltaïque est observée depuis peu chez nous. Le secteur a connu une croissance de 71% entre 2002 et 2003, et de 60% entre 2003 et 2004. La Belgique accuse néanmoins un retard important sur ses pays voisins, pourtant caractérisés par un climat similaire au nôtre : l'Allemagne était équipée fin 2005 de 1.537 MWc, et les Pays-Bas de 51 MWc, contre 1,4MWc installés en Belgique.

Rappelons enfin que l'énergie solaire peut être exploitée par d'autres technologies que le photovoltaïque (citons par exemple le solaire passif ou le solaire thermique). Nous ne les aborderons pas ici car elles ne permettent pas de produire de l'électricité.

5.2.5. Le potentiel d'électricité renouvelable en Belgique

L'étude sur l'évolution des énergies renouvelables en Belgique 1974-2025[47] estime dans son scénario BAU qu'en 2025, seuls 8TWh électriques seront produits à partir d'énergies renouvelables. Si le scénario « proactif » de cette étude, davantage ambitieux comme son nom l'indique, était mis en œuvre, plus de 20TWh d'électricité renouvelable seraient produits en 2025 – les filières éoliennes et liées à la biomasse contribueraient pour la majeure partie à cet objectif – soit près de la moitié de la production nucléaire actuelle…

Le Bureau fédéral du Plan a quant à lui élaboré un scénario[48] (« Ren+Cog ») ayant pour objectif d'analyser les conséquences du respect par les Régions des objectifs qu'elles se sont fixées en matière d'énergies renouvelables et de cogénération à l'horizon 2010[49]. Ce scénario, qui n'est donc pas basé sur des objectifs particulièrement ambitieux, prévoit que 11,2TWh seraient produits à partir d'énergies renouvelables en 2030. Il est évident qu'une politique réellement ambitieuse permettrait d'aller bien au-delà de ces objectifs.

Dans deux études plus récentes[50] et envisageant le même scénario BAU, le BfP évalue à 9% la contribution des sources d'énergie renouvelables dans la production d'électricité, et 19% pour la cogénération (soit respectivement 9,4 TWh et 19,8 TWh) à l'horizon 2020. *Cela signifie donc que sans aucune mesure complémentaire, les renouvelables et la cogénération devraient produire une quantité d'électricité représentant de l'ordre des trois quarts de la production électronucléaire actuelle. S'il convient d'interpréter ces chiffres avec prudence car des unités de production variables (comme l'éolien) ne peuvent être comparées avec des unités de production baseload (comme le nucléaire), ces chiffres n'en sont pas moins éloquents : les potentiels d'alternatives au nucléaire existent dans notre pays et sont à ce jour largement sous-exploités*. En outre, dans l'étude remise au Ministre Tobback, des scénarios plus ambitieux (prévoyant que l'Europe s'engage à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de respectivement 15% et 30% en 2020 par rapport à 1990) prédisent un développement accru des renouvelables et de la cogénération dans notre pays, mais sans quantification précise. Les renouvelables, par exemple, représenteraient 17% de la production totale d'électricité (cette

augmentation par rapport au BAU étant attribuée dans une large mesure à l'extension du parc éolien offshore).

Comme on le voit, les sources d'énergie renouvelables sont nombreuses et bénéficient de potentiels importants et largement sous-exploités en Belgique. Si des efforts sont consentis dans un avenir proche afin de les développer, une part importante de notre électricité pourrait être produite à moyen terme grâce aux sources d'énergie renouvelables. C'est une question de priorité du monde politique, qui n'accorde pas à ces sources d'énergie l'importance qu'elles méritent (en témoignent les budgets accordés par les pouvoirs publics aux renouvelables, en comparaison avec ceux alloués aux énergies fossiles et au nucléaire, cfr. chapitre 4.2.2). Avec une meilleure maîtrise de la demande d'énergie, nous n'avons pourtant pas d'autres choix à moyen et long terme face à la rareté des ressources fossiles et d'uranium et au développement des Pays du Sud, et à court terme face au phénomène des changements climatiques.

5.3. Les combinaisons gagnantes

Nous venons de le voir : il est erroné d'affirmer que l'on ne peut se passer du nucléaire en Belgique. Une politique énergétique ambitieuse, agissant tant sur l'offre que sur la demande, peut nous permettre de fermer les sept réacteurs belges d'ici 2025. Cependant, rien n'est aujourd'hui mis en œuvre pour préparer la sortie du nucléaire, et aucune stratégie n'a été mise en place par le Gouvernement malgré les recommandations de l'Agence internationale de l'énergie[51]. Encore faut-il que nos gouvernants ne se contentent pas des solutions de facilité consistant à agir sur l'offre d'électricité, sans s'attaquer au réel défi que constitue une maîtrise de la demande. Car c'est bien à ce niveau que se situe le levier d'action le plus important.

Il serait ainsi opportun d'élaborer un scénario « Negawatt[52] » pour la Belgique, tel que développé par l'association du même nom pour la France.

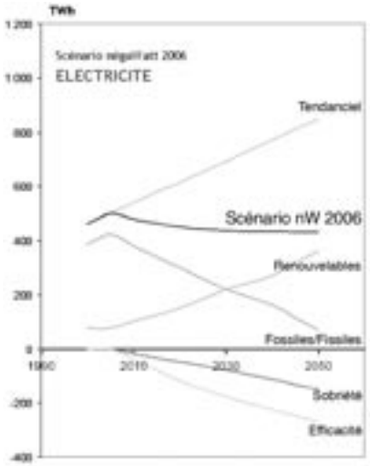


Figure 32 : Evolution en énergie finale de la consommation d'électricité en TWh. Sources : www.negawatt.org

Ce scénario, basé sur l'efficacité et la sobriété énergétiques, table sur un abandon du nucléaire d'ici 2040 et un recours décroissant aux sources d'énergie fossiles (qui se limiterait à la combustion de gaz naturel dans des centrales performantes afin de pallier l'intermittence des renouvelables). Il prévoit en outre une augmentation importante de l'usage de l'électricité, dont la consommation finale serait cependant plus ou moins maintenue au niveau actuel grâce aux « négaWatts ». Le chauffage électrique des locaux et de l'eau chaude sanitaire serait progressivement abandonné au profit d'alternatives plus efficaces d'un point de vue énergétique.

D'autres analyses, au Royaume-Uni[53], en Allemagne[54] ou aux Pays-Bas[55] par exemple, sont aussi arrivées à la conclusion que le nucléaire n'était qu'une option, pas une nécessité.

Pour en revenir à la Belgique, si l'on récapitule les potentiels d'efficacité énergétique et de développement des sources d'énergie renouvelables et de cogénération de qualité présentés ci-dessus, on obtient les résultats suivants :

Pour ce qui concerne la maîtrise de la demande :

Au vu des chiffres mentionnés précédemment, il semble réaliste d'envisager un niveau de consommation d'électricité au maximum équivalent à celui que nous connaissons aujourd'hui, si les mesures adéquates sont prises par les pouvoirs publics pour favoriser les mesures d'efficacité énergétique (cfr 4.1.3).

Pour ce qui concerne le développement des alternatives au nucléaire, on peut estimer qu'une politique volontariste devrait permettre, à l'horizon 2025, de porter à :

- 22-24 TWh la production d'électricité au moyen de cogénération (hors biomasse) (cfr. chap. 5.2.3) ;
- 11-13 TWh la production d'électricité éolienne, dont une large part serait produite par les parcs offshore (cfr. chap. 5.2.1) ;
- environ 6 TWh la production d'électricité grâce à la biomasse (bois-énergie et biogaz) (cfr. chap. 5.2.2) ;
- 1 TWh la production d'électricité au moyen du solaire photovoltaïque (cfr. chap. 5.2.4).

La production cumulée (40 à 45 TWh) de ces différentes sources ou moyens de production d'énergie permettrait ainsi de compenser la fermeture des centrales nucléaires. Ces chiffres sont bien entendu fixés de manière approximative, et ne considèrent pas les autres dimensions d'une politique énergétique (en particulier les aspects économiques). Nous vous renvoyons pour cela aux études publiées récemment[56]. Ils ont uniquement pour objet de présenter un ordre de grandeur de la contribution potentielle de ces sources d'énergie plus respectueuses de l'environnement dans la production d'électricité belge à moyen terme. Si l'on considère en outre qu'un recours légèrement accru aux centrales TGV (gaz) est attendu, et que des potentiels de réduction de la demande supérieurs à ceux qui sont présentés ci-dessus peuvent être envisagés, il apparaît que le remplacement des sept réacteurs nucléaires d'ici 2025 n'est pas une opération impossible comme on l'entend souvent.

5.4. Le remplacement du nucléaire est déjà une réalité

A l'approche des élections législatives, diverses voix – peut-être pas toujours objectives… – affirment que la fermeture des réacteurs nucléaires en 2015, comme prévu par la loi de sortie, mettra en péril notre approvisionnement en électricité (« *On devra s'éclairer à la bougie !* ») et nous contraindra à importer (davantage) de l'étranger pour satisfaire la demande. Ces mêmes voix remettent constamment la loi en question, demandant même son abolition. Or, cette loi comporte une clause stipulant que la fermeture des centrales nucléaires pourra être reportée si la sécurité d'approvisionnement devait être compromise. Ceux qui appellent à sa révision, plaidant pour un prolongement de la durée de vie des réacteurs, s'inscrivent donc en faux contre ladite clause. Ce faisant, ils suscitent un climat instable peu propice aux investissements et entraînent le report de ceux-ci jusqu'à ce que les perspectives à long terme du marché de l'électricité en Belgique se clarifient. Les centrales nucléaires existantes représentent un obstacle au développement des alternatives et la remise en question de leur fermeture constitue un frein supplémentaire à l'innovation et aux nouveaux investissements.

Quatre ans après l'approbation de la loi de sortie du nucléaire par le Parlement fédéral, Greenpeace a souhaité faire le point sur la question et a dressé, avec l'appui d'autres associations, un inventaire des projets liés à la production d'électricité dans notre pays lancés ou annoncés depuis 2003. Les résultats sont encourageants : entre 2003 et fin 2006, pas moins de 156 projets ont été mis en œuvre, pour une production totale d'électricité estimée 10.387 GWh/an. La distribution de ces projets entre cogénération et renouvelables est à peu près équivalente (respectivement 52% et 48%), l'essentiel des renouvelables étant couvert par la biomasse.

Si l'on considère la période préalable à la fermeture des premiers réacteurs (entre 2003 et 2015), on constate donc qu'au tiers du parcours, 75% de la production des réacteurs concernés sont d'ores et déjà remplacés (pour rappel, les trois réacteurs qui fermeront en 2015 produisent environ 14.000 GWh/an). Un résultat obtenu en dépit de conditions parfois peu favorables à la concrétisation de nouveaux investissements : incertitudes entretenues par certains concernant la loi de sortie du nucléaire, domination sur le marché belge d'un acteur (Suez/Electrabel), extension des lignes à haute tension entre la Belgique et les pays avoisinants qui menacent d'augmenter l'afflux de courant nucléaire français subsidié, etc.

Par ailleurs, près de 100 projets supplémentaires ont été répertoriés comme étant dans les « starting blocks » et devraient aboutir dans les années à venir. La majorité des initiateurs de ces projets ont été contactés et ont confirmé leur intention de les mettre en oeuvre. Pour la plupart, les autorisations requises ont déjà été délivrées et les financements sont prévus. Mais leur réalisation dépend également de la clarté concernant l'avenir des centrales nucléaires belges et de notre marché de l'électricité en général. La confirmation par le prochain gouvernement fédéral de notre intention de fermer progressivement les sept réacteurs belges au terme de quarante années de fonctionnement est donc une condition cruciale pour que ces projets aboutissent.

Au total, pour la période 2003-2011, comme l'illustre la figure 33 ci-dessous, 36.900 GWh/an devraient être produits par les nouveaux projets mis en œuvre ou annoncés, ce qui équivaut à plus de 80% de la capacité de production de l'ensemble du parc nucléaire belge, pour lequel les dernières fermetures ne sont prévues qu'en 2025.

Même dans le cas d'un scénario pessimiste qui ne verrait qu'une fraction des projets annoncés voir réellement le jour, l'arrêt des trois plus vieux réacteurs ne devrait donc pas poser de problème en 2015 et cela resterait vrai si les consommations d'électricité venaient à augmenter dans les années à venir. Car il s'agit là d'un postulat systématiquement considéré lorsqu'on évalue l'avenir de notre système énergétique, bien qu'on ait observé ces dernières années un ralentissement sensible de l'augmentation de la consommation d'électricité. Cette augmentation a ainsi été d'environ 1% par an entre 2000 et 2005 contre plus de 3% d'augmentation annuelle fin des années 1990 et l'on a même enregistré une diminution de la demande en 2005. Les chiffres pour 2006 semblent indiquer une légère reprise à la hausse mais, comme nous l'avons vu au chapitre 5.1, une maîtrise des consommations est largement souhaitable pour diverses raisons économiques, sociales ou environnementales et est d'ailleurs prévue dans le Plan d'efficacité énergétique de la Commission européenne cautionné par la Belgique lors du Conseil des ministres de novembre 2006.

Un autre enseignement intéressant de ce recensement de projets naît de sa comparaison avec les nombreuses projections réalisées par le passé en matière d'approvisionnement énergétique. On observe ainsi, par exemple, que la réalité dépasse les prévisions formulées dans les deux scénarios du dernier Programme indicatif des moyens de production d'électricité (cfr. Chapitre 5.1.3). La liste des projets annoncés et mis en œuvre jusqu'en 2011 dépasse largement les investissements prévus par la CREG jusqu'en 2019, même dans son scénario « ambitieux » prévoyant un recours accru aux renouvelables et à la cogénération.

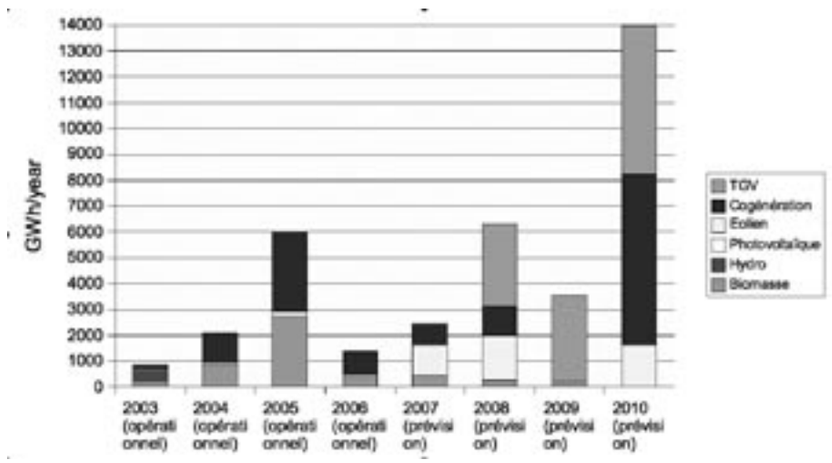


Figure 33 : Production d'électricité additionnelle prévue chaque année en Belgique grâce aux nouvelles unités de production (2003-2010). Source : Greenpeace. La liste complète de ces projets est disponibles sur www.iewonline.be ou http://www.greenpeace.org/belgium/

En conclusion, tout porte à croire que la fermeture des trois réacteurs programmée en 2015 ne devrait pas poser le moindre problème puisque, sept ans avant leur mise à l'arrêt, ceux-ci sont déjà quasiment remplacés. Le véritable enjeu de la sortie du nucléaire porte donc sur les fermetures suivantes, prévues dans le cadre de la loi entre 2022 et 2025.

Pour Inter-Environnement Wallonie, nous disposons là du temps nécessaire pour créer un cadre propice aux investissements et mettre en œuvre toutes les mesures permettant d'assurer que les capacités de production soient suffisantes à cette échéance. Au-delà des différentes études et des scénarios prospectifs, la réalité observée aujourd'hui nous montre que la sortie du nucléaire est possible et qu'il est fallacieux – et populiste – de faire croire à la population que la lumière s'éteindra si nous fermons nos centrales nucléaires !

5.5. Et l'emploi ? Quelques chiffres...

L'argument de la perte d'emplois est souvent avancé pour défendre le maintien du nucléaire en Belgique. Selon Electrabel, l'industrie nucléaire emploie 2.000 personnes dans les centrales nucléaires belges, auxquelles il faut ajouter celles actives dans les secteurs de la sous-traitance et de la recherche (soit 2.000 emplois indirects selon Arbeid & Milieu[57]). Si la fermeture des centrales nucléaires entraînera inévitablement la perte d'emplois dans ce secteur, il convient toutefois de relativiser ces préoccupations pour plusieurs raisons.

Tout d'abord car il sera nécessaire de maintenir de nombreux emplois dans le secteur nucléaire afin de garantir la sécurité des centrales existantes jusqu'à leur fermeture, ainsi que pour assurer le démantèlement des centrales, la recherche dans le domaine des déchets radioactifs ainsi que la gestion et la surveillance de ceux-ci durant des décennies, et également pour ce qui concerne les applications médicales de la technologie nucléaire.

Ensuite, car le nombre d'emplois dans le secteur de l'électricité ne dépend pas spécifiquement du type de centrale, mais plutôt de la taille de l'installation, les grosses unités demandant une main d'œuvre moins importante (et plus concentrée sur le territoire) par électricité produite[58].

Enfin et surtout, car les alternatives au nucléaire permettraient à budget égal de créer davantage d'emplois et de produire davantage d'électricité. Par exemple, une étude réalisée par l'Institut de recherche Detente estime que sur une période de 60 ans (durée de vie d'un réacteur EPR tel qu'envisagé dans l'hexagone), l'éolien génèrerait cinq fois plus d'emplois et 2,3 fois plus d'électricité que le réacteur nucléaire[59]. Plus récemment, le réseau « Sortir du Nucléaire » a publié une étude[60] aux conclusions similaires : la construction du réacteur fournirait une moyenne cumulée de 600 emplois créés sur quinze ans, pour un effectif permanent de 300 emplois et une pointe à 2300 personnes engagées durant la phase de construction du réacteur. Investir les trois milliards d'euros que nécessite ce projet nucléaire dans des programmes d'efficacité énergétique, d'incitation à l'utilisation rationnelle de l'énergie, et de production d'énergie au moyen de sources renouvelables permettrait de produire davantage d'énergie tout en assurant la création de plus de 10.000 emplois sur quinze ans.

Les sources d'énergie renouvelables, qui sont appelées à se développer massivement à l'avenir, recèlent des potentiels de création d'emplois considérables. Au niveau mondial, d'après le World Watch Institute[61], le nombre d'emplois pour la construction et l'installation des éoliennes était estimé à 86.000 en 1999, et il pourrait monter jusqu'à 1,7 millions en 2020.

Aux Etats-Unis, l'adoption d'une norme nationale visant à augmenter la proportion d'électricité produite à partir de sources renouvelables à 20% d'ici 2020, permettrait la création de 355.000 emplois, soit deux fois ce que génère le secteur de l'électricité thermique[62].

En Europe, l'EurObserv'ER indique qu'en 2003, la filière européenne de l'éolien employait 80.000 personnes dans l'UE (emplois directs et indirects, ce qui équivaut à 3,5 emplois par MW installé), et qu'elle pourrait être à l'origine de la création de 280.000 emplois à l'horizon 2010. Pour ce qui concerne l'industrie photovoltaïque, la production, la mise en place et l'entretien des installations en Europe pourraient offrir un emploi à 294.000 personnes en 2010 selon l'EPIA (Association Européenne de l'Industrie Photovoltaïque). Et en 2020, ce sont 2,3 millions d'emplois temps-plein qui pourraient avoir été créés par le développement du photovoltaïque à travers le monde[63]. La biomasse n'est pas en reste puisque selon un rapport de l'Imperial College et E4Tech[64], elle pourrait fournir 15% de l'électricité des pays industrialisés d'ici 2020, et ainsi générer 400.000 nouveaux emplois, principalement dans les zones rurales.

Didier Mayer, président de l'European Renewable Energy Council (EREC), résume : le secteur des renouvelables pourrait créer 1 million d'emplois en Europe à l'horizon 2010. La Commission européenne plus ambitieuse encore, tablait dans son Livre Blanc sur la création de 1,6 millions d'emplois pour un objectif de 12% d'énergies renouvelables en 2010 dans le bilan énergétique européen[65].

De nombreux pays l'ont compris et investissent donc massivement dans ces technologies afin d'y acquérir un savoir-faire. Ainsi, on comptait en Allemagne (où le nucléaire produit 33% de l'électricité) 38.000 travailleurs nucléaires en 1998[66]. L'énergie éolienne ne fournissait encore à cette époque que 1,2% de la production totale d'électricité, mais ce secteur employait environ 15.000 personnes pour la fabrication, l'installation et le fonctionnement des turbines. En 2002, la tendance s'était inversée : environ 50.000 travailleurs employés de manière directe ou indirecte dans le secteur éolien pour 30.000 personnes dans le nucléaire[67]. Aujourd'hui, les énergies renouvelables fournissent, selon les chiffres du Ministère allemand de l'environnement, plus de 150.000 emplois (principalement dans les filières éolienne et photovoltaïque), soit davantage d'emplois que les secteurs nucléaire et du charbon réunis !

En Belgique, malgré la part minime qu'occupent les renouvelables dans notre approvisionnement en électricité[68], 1.000 emplois avaient déjà été créés en 2004 grâce au mécanisme des certificats verts et 5.000 emplois supplémentaires pourraient être créés en couvrant 10% des besoins de Bruxelles et de la Wallonie grâce aux énergies renouvelables[69]. A cela s'ajoutent les emplois créés grâce aux exportations, qui représentent plus de 15% du chiffre d'affaire des fournisseurs de biens et de services en matière d'électricité produite à partir de sources renouvelables[70].

Les programmes d'économies d'énergie sont également sources d'emplois. Ainsi, en 2001, a été créée en Allemagne « l'alliance pour le travail et l'environnement » par les syndicats, les fédérations

industrielles, des ONG et le gouvernement. L'objectif était alors de rénover 300.000 logements par an pour réduire leurs consommations d'énergie et leurs émissions de CO_2 (réduction prévue de 2 millions de tonnes par an), de créer 200.000 emplois et de générer une économie budgétaire de 4 milliards d'euros pour l'Etat. Fin 2004, l'opération livrait ses premiers résultats : pour un subside de 1,12 milliards d'euros dispensé sur la période 2001/2004, 4,4 milliards d'investissements privés supplémentaires ont été réalisés, nécessitant le travail de 85.000 hommes/année (25.000 emplois générés en 2004). 196.000 logements ont été rénovés au plan énergétique, avec pour résultat 1 million de tonnes de CO_2 évitées. L'alliance connut un tel succès que l'accord gouvernemental de novembre 2005 prévoit de doubler en 2020 – par rapport à 1990 – l'efficacité énergétique de l'économie, en augmentant notamment d'au moins 1,5 milliards d'euros par an les fonds alloués au programme d'efficacité énergétique des bâtiments. Le but de cette mesure est d'assainir chaque année, du point de vue énergétique, 5% des bâtiments construits avant 1978.

En Belgique également, les potentiels de création d'emplois et de réduction de consommations d'énergie dans le domaine des bâtiments sont considérables, en raison de la vétusté du parc immobilier. Dans son avis relatif à l'efficacité énergétique dans le secteur du logement[71], le Conseil Central de l'Economie « *constate que 44.650 emplois supplémentaires peuvent être créés d'ici 2010 grâce au plan d'action flamand "REG in huishoudens". Si l'on suppose que chaque chômeur coûte quelque 25.000 euros par an à la collectivité, cette création d'emplois reviendrait à faire économiser une somme de 1,1163 milliards d'euros à la collectivité.* » Et Ecolo estime que rénover 15.000 logements par an, pour diviser par trois leur consommation moyenne d'énergie, permettrait de créer 10.000 nouveaux emplois en Wallonie et à Bruxelles[72].

A l'heure on l'on doit faire face à des défis énergétiques sans précédent, une telle dimension devrait être davantage prise en compte dans notre politique de production et de consommation d'énergie. Les sources d'énergie renouvelables, qui sont l'un des secteurs connaissant l'expansion la plus importante en Europe, représenteront en effet à l'avenir un gisement d'emplois considérable. Comme d'autres pays européens, la Belgique aurait donc tout intérêt à se créer un savoir-faire dans des technologies qui sont appelées à se développer massivement. Notre pays a bénéficié d'une renommée internationale en matière de know-how nucléaire. Pourquoi ne pas mettre en place une stratégie afin de nous positionner à moyen terme de manière semblable dans une filière d'avenir, le photovoltaïque par exemple ? Malheureusement, notre pays ne semble pas saisir de tels enjeux, certains préférant se reposer sur notre expertise existante – mais déclinante – dans le domaine de l'atome. Un exemple qui en dit long : la place quasi-nulle accordée dans le Plan Marshall wallon à l'énergie, qui ne figure pas parmi les fameux pôles de compétitivité.

5.6. Maintenir les centrales nucléaires belges en fonctionnement pour limiter la facture énergétique ?

5.6.1. L'électricité n'est qu'une partie du problème

L'envolée des prix du pétrole depuis 2005, dont tout porte à croire qu'elle perdurera à l'avenir et que l'ère d'une énergie bon marché est révolue, a conduit des voix de plus en plus nombreuses à réclamer le prolongement de la durée de vie des centrales nucléaires belges. Cela afin d'éviter la hausse du prix du kWh qu'engendrerait, selon eux, la fermeture progressive des réacteurs à partir de 2015. Le nucléaire pour limiter l'augmentation des prix du kWh ? Les choses ne sont malheureusement pas aussi simples…

Il convient tout d'abord de rappeler que l'électricité ne représente qu'une part limitée de nos consommations d'énergie, puisqu'elle ne représentait en moyenne que 27% de la facture énergétique d'un ménage wallon moyen en 2000 (il est probable que cette proportion ait diminué depuis lors, en raison d'une augmentation plus importante des prix des autres vecteurs énergétiques tels que les carburants, et autres combustibles fossiles)[73]. Une baisse du prix de l'électricité n'aura donc aucun impact sur nos dépenses en matière de transports ou de chauffage des bâtiments par exemple, usages auxquels les ménages belges consacrent des budgets autrement plus importants.

5.6.2. Le nucléaire est une source d'énergie coûteuse

Comme on l'a vu au chapitre 4.2, le nucléaire ne peut être considéré comme une source d'énergie bon marché si l'on prend en compte l'entièreté des coûts de la filière. Et de nombreuses incertitudes subsistent quant au coût exact du démantèlement des centrales et de la gestion des déchets radioactifs. Le coût de ces opérations est ainsi régulièrement revu à la hausse, comme en témoignent des publications récentes en France et au Royaume-Uni[74].

Rappelons enfin la particularité du contexte belge : en plus des aides considérables dont a bénéficié le secteur ces dernières décennies, les petits consommateurs ont également contribué au financement de nos réacteurs. L'opérateur historique a en effet amorti ses centrales en vingt ans, alors que la durée de vie initialement prévue était de trois décennies et qu'elle a été prolongée à quarante ans depuis. Ces lourdes charges financières ont bien entendu été répercutées sur les prix de l'électricité des particuliers, qui ont connu en Belgique un prix du kWh parmi les plus élevés en Europe. A l'inverse des consommateurs industriels, qui bénéficiaient de prix particulièrement attractifs (ce qu'on appelle les « subsides croisés »). Electrabel nous assurait alors que les consommateurs bénéficieraient d'un juste retour lorsque les centrales seraient totalement amorties, promettant une baisse des tarifs. Mais la donne a fortement changé depuis : le prix du baril de pétrole est monté en flèche et la libéralisation du marché a bouleversé la fixation du prix de l'électricité.

5.6.3. Le prix de marché de l'électricité guidé par les coûts marginaux de production

Nous l'avons vu, divers facteurs interviennent pour expliquer que les centrales nucléaires belges sont aujourd'hui caractérisées par des faibles coûts de production. Ces faibles coûts permettent-ils de tirer les prix du kWh vers le bas, comme l'affirment certains ? Rien n'est moins sûr…

Ainsi, selon la CREG, « les prix de marché jouent un rôle plus important que les coûts de production pour la fixation des prix de vente. (…) En Belgique, le prix de marché «base load»[75] est sensiblement identique au coût marginal de production »[76]. Ceci signifie que le prix de vente du kWh est directement lié aux coûts de production variables de la centrale marginale – c'est-à-dire la centrale permettant de couvrir le « dernier kWh consommé », caractérisée par les coûts variables les plus élevés. Nous l'avons vu au chapitre 4.1.5.1, la mise en service d'installations de production afin de satisfaire la demande s'effectue sur base du *merit order.*

Dans notre pays, la demande est telle que les centrales marginales sont généralement celles fonctionnant au gaz ou au charbon. Les faibles coûts de production des centrales nucléaires, qui s'expliquent par le fait que les centrales sont entièrement amorties, n'influence donc en aucun cas le prix de fourniture de l'électricité. Pour preuve, les prix *forward* représentés sur le graphique ci-dessous (le prix *forward*[77] est considéré, selon la CREG, comme un bon indicateur des prix de gros).

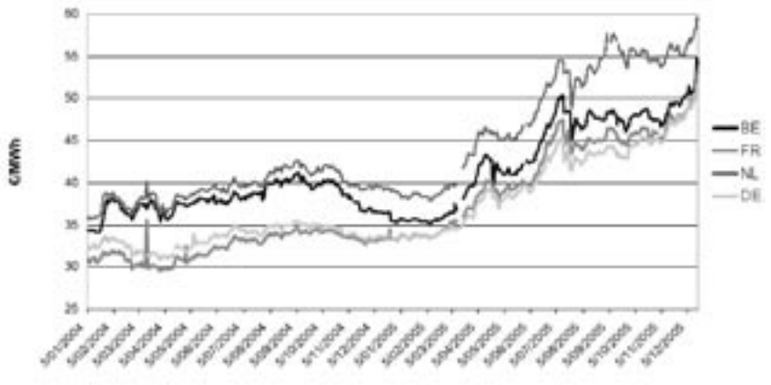


Figure 34 : Prix forward Y+1. Source : CREG, Etude relative à la régulation nécessaire en vue de réaliser des baisses tarifaires possibles au sein des différentes composantes tarifaires de l'électricité, 2006.

On observe sur ce graphique que les prix belges varient entre 40 et 60 euros/MWh depuis début 2005, alors que les coûts de production des centrales nucléaires belges amorties tourneraient aux alentours de 10 à 15 euros/MWh[78] (contre 30 euros/MWh environ pour une centrale au charbon et de l'ordre de 50 euros/MWh pour une centrale au gaz)[79]. Cette différence considérable entre les prix de marché de l'électricité et les coûts de production d'électricité nucléaire permettent ainsi à l'exploitant de réaliser des bénéfices faramineux : la CREG évalue à 3,9 milliards d'euros l'avantage financier global pour l'opérateur historique, tandis que la prolongation de la durée de vie des réacteurs à 60 ans porterait cet avantage à 8,6 milliards d'euros[80]. L'enjeu financier est ainsi fixé pour le principal propriétaire des centrales nucléaires belges…

5.6.4. Le prix de marché de l'électricité n'est qu'une des composantes du prix final de l'électricité

Le prix de l'électricité est actuellement déterminé par quatre composante principales : la composante énergie, la composante fourniture, les tarifs de réseaux (transport et distribution) et enfin, les taxes et prélèvements.

Comme le souligne Etopia[81], le prix d'achat de l'électricité (composante énergie) ne représente environ qu'un tiers du prix de vente final de l'électricité aux particuliers puisque le prix de marché tourne aux alentours de 5,7 cents/kWh pour un prix de vente aux particuliers s'élevant à environ 15 cents/kWh. L'évolution des prix de vente de l'électricité aux particuliers n'est donc pas proportionnelle aux prix de marché de l'électricité, et il est par ailleurs également possible d'agir sur les autres composantes du prix final de l'électricité.

5.6.5. Les centrales : une entrave à la concurrence sur le marché belge

Ce ne sont donc pas les faibles coûts de production qui sont susceptibles de faire baisser les prix de l'électricité, mais bien la concurrence. Soutenir le nucléaire n'aura aucun effet sur cet élément-là vu sa nature concentrée ; que du contraire même, puisque l'amortissement accéléré des centrales nucléaires leur permet aujourd'hui de produire de l'électricité à faible prix, ce qui leur confère un avantage important et dissuade considérablement l'arrivée de nouveaux entrants sur ce marché. Et, de ce côté, les choses avancent plutôt lentement en Belgique: Electrabel-Suez reste le leader absolu de la production et de la vente d'électricité en Belgique. Sans doute assisterons-nous dans les années à venir à un peu de concurrence, mais cela restera marginal tant que le parc de production et/ou l'importation d'électricité de l'étranger ne seront pas plus diversifiés.

Un autre enseignement intéressant du graphique ci-dessus concerne la corrélation observée entre les prix sur les marchés nationaux en Belgique, au Pays-Bas, en Allemagne et en France. On observe ainsi que jusque fin 2005 (prix *forward* jusque fin 2004), les prix belges suivaient fortement ceux des Pays-Bas. Depuis lors, ils s'alignent davantage sur les prix en vigueur en France et en Allemagne. Ainsi, les prix de marché en Belgique sont-ils directement dépendants des tarifs valables dans nos pays voisins, en raison des interconnections entre les différents réseaux. Les conséquences d'une modification du parc de production d'électricité sont fortement atténuées, voire annihilées par l'influence des tarifs dans les pays voisins. Dans la perspective d'une ouverture progressive des marchés nationaux de l'électricité, les pays seront donc amenés à avoir de moins en moins d'emprise sur les prix nationaux de l'électricité.

La France, dont le parc de production est, on le sait, fortement basé sur l'énergie nucléaire, en fait d'ailleurs les frais. Pire, le marché français dérégulé a connu l'une des hausses les plus importantes de l'Union européenne, comme on le constate sur la figure ci-dessous. Les Français ont ainsi réalisé

que les avantages du nucléaire qu'on leur faisait miroiter depuis des années s'envolaient avec les prix de l'électricité. Et ce malgré un constat réalisé par la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (DGEMP, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie) lorsqu'elle affirmait dans son Rapport annuel 2003: « *Pourtant, dans le cadre d'un marché libéralisé et ouvert à la concurrence, il est tout à fait légitime que les opérateurs exerçant en France fondent leurs offres de prix non sur les coûts de production, mais sur le prix issu de la rencontre entre l'offre et la demande au niveau européen. Or, le prix d'équilibre susceptible de se former au niveau européen n'intégrera que partiellement les avantages compétitifs du parc de production français et pourrait donc être supérieur au coût de développement de long terme.* »[82]

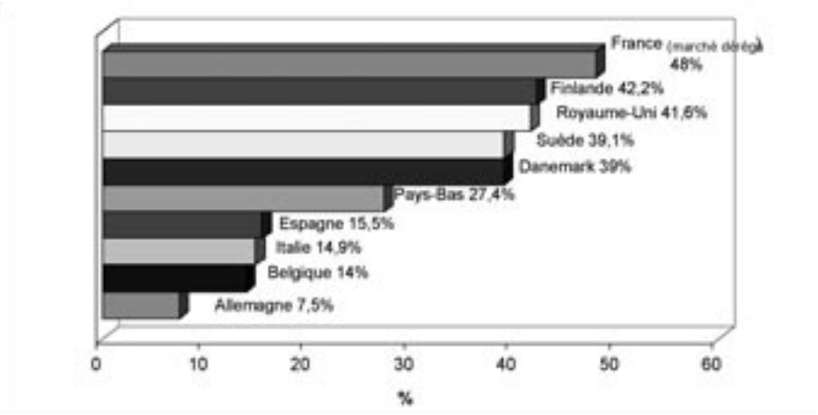


Figure 35 : Evolution des prix de l'électricité entre avril 2005 et avril 2006 (chiffres de NUS Consulting). Source : La Libre Entreprise, Les prix de l'électricité flambent, 1er juillet 2006.

On le constate, de nombreux éléments entrent en ligne de compte dans la détermination des prix de l'électricité, et dans le contexte actuel, prolonger la durée de vie des centrales belges n'aura aucun impact sur les prix de l'électricité. Ce constat est d'ailleurs partagé par Francis Ghigny, directeur de la CWAPE (Commission wallonne pour l'énergie, l'organisme officiel de régulation de l'électricité et du gaz en Région wallonne) : « *Compte tenu de l'absence de concurrence en matière de production d'électricité dans notre pays, permettre à l'opérateur historique de réduire le coût d'exploitation en rallongeant la durée de vie des centrales nucléaires n'aura aucun impact sur les prix du marché. Il permettra, par contre, à cet opérateur de disposer d'une marge bénéficiaire accrue.* » [83]

5.6.6. Constituer un fonds de promotion de l'efficacité énergétique et des renouvelables ?

L'idée, inspirée du modèle hollandais mis en place en accompagnement de l'allongement de la durée de vie de la centrale de Boorsele, a été évoquée à plusieurs reprises ces derniers temps dans notre pays. C'est notamment l'une des recommandations de la Commission « Energie 2030 » qui a publié son rapport préliminaire fin 2006. Il est ainsi proposé d'assortir le prolongement de la durée de vie des réacteurs nucléaires d'un accord avec leurs exploitants afin de créer un fond destiné à stimuler les investissements dans les sources d'énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Les associations environnementales s'opposent à ce qu'un tel instrument soit mis en place en contrepartie de la prolongation de la durée de vie des réacteurs belges. Il est en effet très difficile de garantir l'« additionnalité » d'une telle mesure (comment s'assurer que les fonds financent des programmes d'efficacité énergétique ou de développement des renouvelables qui n'auraient pas vu le jour sans ce nouveau financement?). Par ailleurs, le système mis en place aux Pays-Bas prévoit également de soutenir le développement du « charbon propre », ce qui ne peut en aucun cas faire l'objet de priorités en raison de son caractère non-soutenable.

Sous certaines conditions, les associations environnementales défendent néanmoins l'idée d'un prélèvement sur les centrales nucléaires afin de favoriser les alternatives, tout en maintenant la durée de vie des réacteurs actuellement prévue. Leurs exploitants bénéficient en effet aujourd'hui de l'amortissement accéléré réalisé ces vingt dernières années, ce qui leur permet aujourd'hui de vendre des GWh à des prix bien supérieurs aux coûts de production (cfr. chapitre 5.6.3.), et qui constitue un obstacle important au développement des alternatives.

Par ailleurs, comme le relève Eric De Keuleneer, un autre mécanisme très simple pourrait être mis en place en Belgique afin de neutraliser la rente nucléaire d'Electrabel. Rappelant que l'exploitant des centrales nucléaires bénéficie d'une responsabilité limitée en cas d'accident (c'est donc la collectivité qui paiera en cas de catastrophe, alors que c'est l'acteur privé qui engrange aujourd'hui les bénéfices), ce qui lui permet de diminuer les frais de couverture d'assurance, le Professeur de la *Solvay Business School* propose de prélever une prime par MWh nucléaire afin d'alimenter un fonds d'assurance d'accident nucléaire. Le risque d'accident nucléaire étant croissant avec l'âge des réacteurs, un mécanisme de primes croissant avec l'âge des réacteurs serait logique et offrirait une alternative autorégulée et conforme à la logique économique en matière de gestion de fin de carrière des centrales nucléaires[84].

5.6.7. Prolonger la durée de vie des centrales belges ne diminuera pas la facture énergétique

A la lumière des éléments présentés ci-dessus, il apparaît donc bien que l'énergie nucléaire ne peut être considérée comme bon marché et que de nombreuses incertitudes subsistent concernant les opérations les plus coûteuses de la filière. Mais les nombreux transferts financiers dont a bénéficié le secteur en Belgique ces dernières décennies ont permis à l'exploitant de nos centrales nucléaires de jouir aujourd'hui d'un avantage considérable par rapport à ses concurrents.

Dans un contexte où l'augmentation des prix de l'énergie suscite des préoccupations croissantes au sein de la population, présenter le nucléaire comme solution à l'alourdissement de la facture des consommateurs est sans conteste un thème porteur et populaire. Mais les choses ne sont malheureusement pas aussi simples et, nous venons de le voir, prolonger la durée de vie des centrales ne permettra pas d'influencer les prix du kilowattheure à la baisse. C'est donc tant en matière de diversification de la production qu'au niveau des consommations qu'il convient d'agir pour limiter l'impact de la hausse des prix de l'énergie sur nos factures d'électricité.

Notes

1 *Projection tendancielle de la demande d'électricité. « La demande tendancielle d'électricité en Belgique croîtra à un rythme annuel moyen de 2,7% entre 1995 et 2005. Ainsi en 2005, la consommation d'électricité atteindrait quelque 22TWh de plus qu'en 1995. Cette prévision suppose une croissance démographique et économique moyenne et tient compte des changements structurels qui en découlent ; elle tient aussi compte des nouvelles utilisations de l'électricité que pourraient faire apparaître à long terme certaines préoccupations environnementales. D'autre part, elle suppose que les tendances actuelles en matière d'efficacité énergétique se poursuivront, même en faisant abstraction des programmes volontaristes en ce domaine. Enfin, il est supposé que le prix de l'électricité évolue au rythme de l'inflation ».*

2 *Evolution pilotée de la demande d'électricité. « Le taux moyen d'évolution de la demande pilotée est de 1,8% entre 1995 et 2005. Pour la période 1995-2005, nous retenons l'hypothèse que les actions en matière de pilotage de la demande combleront 8TWh (dont 65% de mesures d'économie d'énergie et 35% d'actions de lissage du diagramme de charge). Si 8TWh constituent un potentiel réaliste d'économies, on insistera sur le fait qu'ils supposent l'adhésion de tous les acteurs de la chaîne électrique : producteurs, distributeurs, fabricants, consommateurs et autorités. Chacun, dans son rôle traditionnel, doit s'impliquer pour transformer le potentiel en économie bien réelle ».*

3 *La puissance électrique installée en France dépasse les 100GW. En 2004, la pointe de consommation d'électricité s'est élevée à 81,4GW et le creux de consommation à 30GW. Malgré cela, la France envisage sérieusement la construction d'un nouveau réacteur nucléaire, de type EPR.*

4 *CREG*, Rapport annuel, *2005.*

5 *Eurostat*, Statistiques de l'électricité – données provisoires pour 2005, *2006.*

6 *SPF Economie et Energie*, Bilan Global 2004, *2005.*

7 *CREG*, Rapport annuel, *2004.*

8 *AERE*, Etude chauffage électrique en France, *2002.*

9 *CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment).*

10 *Communautés européennes, Directive 2002/91/CE du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments.*

11 *AIE*, Cool appliance : Policy strategies for energy efficient homes, *2003.*

12 *E-STER*, Potential of short-term energy efficiency and energy saving measures in Belgium, *2005.*

13 *Communautés européennes, Directive 2002/91/CE du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments.*

14 *Commission européenne*, Livre vert sur l'efficacité énergétique – comment consommer mieux avec moins, *DG TREN, 2005.*

15 *Commission européenne*, Plan d'action pour l'efficacité énergétique : réaliser le potentiel, *2006.*

16 *CFDD*, Avis cadre sur les obstacles à la mise en œuvre des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre économiquement rentables (mesures «no regret»), *2003.*

17 *ICEDD*, Les coûts énergétiques des PME et des indépendants, *cité par la Commission Ampère dans son rapport, 2000.*

17b *FPE*, Rapport annuel, *2004.*

18 *Document disponible sur le site internet www.iewonline.be*

19 *Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research*, Gestion de la demande d'énergie, dans le cadre des efforts à accomplir par la Belgique pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre pour le Ministère des Affaires économiques, *2003.*

20 *De Groote W. et al.*, Een toekomst zonder atoomenergie in België : opties en gevolgen, *Universiteit Antwerpen (STEM), 1995.*

21 *EWEA*, Wind Force 12, *2003.*

22 *EWEA*, Wind Force 12, *2003.*

23 *EurObserv'ER*, Le Baromètre éolien, *Systèmes solaires n°171, 2006.*

24 *EurObserv'ER*, Le Baromètre éolien, *Systèmes solaires n°171, 2006.*

25 *Cabooter Y., Dewilde L., Langie M.*, Een windplan voor Vlaanderen; een onderzoek naar mogelijke locaties vor windturbines, *VUB, stromingmechanica, ODE Vlanderen.*

26 *APERe*, Mémorandum pour les énergie renouvelables 2004-2009, *avril 2004.*

27 *EDORA et ODE-Vlaanderen*, Comments on Preliminary Report of Commission «Energy 2030», *2007.*

28 *Deutsches Windenergie-Institut*, Offshore wind energy in the North Sea, *2000.*

29 *Belgian Federal Science Policy Office*, SPDDII - Optimal offshore energy developments in Belgium, *2004.*

30 *Commission européenne (DGTREN)*, TERES II - *The European Renewable Energy Study, 1997.*

31 *BfP*, Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050, *2006.*

32 *EDORA et ODE-Vlaanderen*, Comments on Preliminary Report of Commission «Energy 2030», *2007.*

33 *Pour calculer les émissions de CO_2 dues à l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie, il convient néanmoins de tenir compte de l'entièreté du cycle de vie de celle-ci (en ce compris la coupe, le transport, etc.).*

34 *EurObserver*, Baromètre Européen des énergies renouvelables : 5ème bilan, *2005.*

35 *Palmers G. et alii*, Renewable enrgy evolution in Belgium 1974-2025, *SPSD, 2004.*

36 *Desgain X., Negro O., Electricité 2030 :* Respecter Kyoto I & II sans le nucléaire, c'est possible!, *Etopia, 2005.*

37 *Eurostat, Statistiques en bref* - La production combinée de chaleur et d'électricité a représenté 9,9% de la production totale de l'EU-25 en 2002, *2006.*

38 *Eurostat, Statistiques en bref* - La production combinée de chaleur et d'électricité a représenté 9,9% de la production totale de l'EU-25 en 2002, *2006.*

39 *De Groote W. et al.*, Een toekomst zonder atoomenergie in België : opties en gevolgen, *Universiteit Antwerpen (STEM), 1995.*

40 *FPE*, Rapport annuel, *2004.*

41 *Région wallonne*, Plan pour une maîtrise durable de l'énergie, *2002.*

42 *De Groote W. et al.*, Een toekomst zonder atoomenergie in België : opties en gevolgen, *Universiteit Antwerpen (STEM), 1995.*

43 *BfP*, Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050, 2006 et BfP, Long term energy and emissions' projections for Belgium with the PRIMES model, *Addressed to the COMMISSION ENERGY 2030, 2006.*

44 *Jancovici J-M., www.manicore.com*

45 *Greenpeace/European photovoltaic industry association*, Solar Generation, *2001.*

46 *EurObserv'ER*, Le baromètre photovoltaïque, *Systèmes solaires n°172, 2006.*

47 *Palmers G. et alii*, Renewable energy evolution in Belgium 1974-2025, *SPSD, 2004.*

48 *BfP*, Planning paper 95 – Perspectives énergétiques pour la Belgique à l'horizon 2030, *2004.*

49 *Dans ce scénario, un subside fictif est attribué à l'électricité verte (le modèle PRIMES ne permet pas de modéliser le système des certificats verts) de manière à ce que les objectifs formulés par les Régions soient rencontrés en 2010. Au-delà de 2010, le subside est maintenu constant jusqu'en 2030 et des plafonds sont définis pour tenir compte des limites des renouvelables en Belgique sur base des potentiels (sous-)estimés par la Commission Ampère (p.63).*

50 *BfP*, Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050, 2006 et BfP, Long term energy and emissions' projections for Belgium with the PRIMES model, *Addressed to the COMMISSION ENERGY 2030, 2006.*

51 *AIE*, Energy policies of IEA countries – Belgium In-depth review, *2005.*

52 *La notion de « négaWatt », introduite par le fondateur du* Rocky Mountain Institute *Amory Lovins, réfère aux MégaWatts que l'on ne consomme pas.*

53 *Sustainable Development Commission*, « The role of nuclear power in a low carbon economy », *SDC position paper, 2006.*

54 *Wuppertal Institut für Klima and DLR*, Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland *(Scénarios à long terme pour l'utilisation durable de l'énergie en Allemagne), 2002.*

55 *COOL project (Climate Options for the Long term)*, The national dialogue - Results and recommendations. Synthesis Report, *2001. (http://www.wau.nl/cool/)*

56 *Lire par exemple BfP*, Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050, *2006.*

57 *Arbeid&Milieu*, La sortie du nucléaire – raison et conséquences, *2001*

58 *Altener*, The impact of renewables on employment and economic growth, *1997.*

59 *Bonduelle A. et Lefèvre M.*, Eole ou Pluton ?, *Institut Detente, 2003.*

60 *Réseau Sortir du nucléaire*, Un courant alternatif pour le Grand Ouest – Quelles alternatives au réacteur EPR ?, *2006.*

61 *Renner M.*, Working for the environnement : a growing source of jobs, *Worldwatch Paper 152, Worldwatch Institute, 2000.*

62 *Centre Hélios*, Enjeux-Energie *Vol. 3, 2004*

63 *Greenpeace/European photovoltaic industry association*, Solar Generation, *2001.*

64 *Bauen A., Woods J.*, Bioelectricity Vision: Achieving 15% of Electricity from Biomass in OECD Countries by 2020, *Imperial College London, 2004.*

65 *Commission européenne*, Livre Blanc – Energie pour l'avenir : Les sources d'énergie renouvelables, *1997.*

66 *Arbeid & Milieu*, La sortie du nucléaire – raisons et conséquences, *2001.*

67 *Ministerium fûr Umwelt*, Naturschultz und Reaktorsicherheit, Statistik, *2003.*

68 *Les chiffres cités pour la Belgique ne concernent que la production d'électricité au moyen de SER ; ne sont donc pas pris en compte les productions de chaleur verte, la cogénération à base de fossiles, etc.*

69 *Ecolo*, Climat et générations futures : On s'y met tous sérieusement ?, *dossier de presse, 2004.*

70 *Edora*, Electricité renouvelable en RW, retombées en terme d'emplois et d'investissements générés, *2004.*

71 *CCE*, Avis relatif à l'efficacité énergétique dans le secteur du logement, *2005.*

72 *Ecolo*, Climat et générations futures : On s'y met tous sérieusement ?, *dossier de presse, 2004.*

73 *Région wallonne, Projet* « Plan pour une maîtrise durable de l'énergie », *mars 2002.*

74 *Lire par exemple divers rapports de la* Nuclear Decommissioning Authority *(NDA) au Royaume-Uni, ou celui en France de Cour des Comptes intitulé « Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs » (2005).*

75 Base load *: blocs d'énergie vendus sur les marchés à consommation et puissance constante sur 24 heures de la journée. Les coûts de l'énergie de pointe* peak load *: blocs d'énergie vendus sur les marchés à consommation et puissance constante sur 12 heures par jours ouvrables sont généralement plus élevés de 20% que les prix en base load. Le* base load price *est le prix moyen de toutes les heures de la période concernée, le* peak load price *est le prix moyen pendant les 12 heures ouvrables des jours de semaine de la période concernée.*

76 *CREG*, Etude relative à la régulation nécessaire en vue de réaliser des baisses tarifaires possibles au sein des différentes composantes tarifaires de l'électricité, *2006.*

77 *Le prix forward Year+1, par exemple, signifie que le prix valable pour une date au cours de l'année 2005 doit être payé en 2006.*

78 *De Keuleneer E.*, A propos des mesures relatives au marché de l'électricité, *L'Echo, 17 juin 2006.*

79 *De Keuleneer E., Présentation à la journée d'études "L'énergie nucléaire au XXIème siècle – Promesses et réalités», Parlement fédéral, 19 octobre 2006.*

80 *CREG*, Le prix de l'électricité par composante tarifaire, *conférence de presse, 5 juillet 2006.*

81 *Desgain X.*, Comparaison des prix des sources d'électricité par rapport au nucléaire, Etopia, *2006.*

82 *Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (DGEMP)*, Rapport annuel 2003 – énergies et matières premières, *2004.*

83 *Dechamps S.*, Pour réduire le prix de l'énergie belge, il faut songer au nucléaire, dit la CREG, *L'Echo, 6 juillet 2006.*

84 *De Keuleneer E.*, Investments and competitive environment, *journée d'études "L'énergie nucléaire au XXIème siècle – Promesses et réalités», Parlement fédéral, 19 octobre 2006.*

6. CONCLUSION : UNE RÉELLE OPPORTUNITÉ !

Nous l'avons vu tout au long de ce document, le nucléaire ne peut être considéré comme une source d'énergie propre et durable. C'est ce constat qui a conduit nos décideurs à voter la loi de sortie du nucléaire entrée en vigueur en 2003.

L'énergie nucléaire est en effet polluante et induit de nombreux impacts négatifs sur l'environnement et la santé :

- production de déchets radioactifs dont on ne sait que faire aujourd'hui, et qui devront être gérés durant des siècles au moins par les générations futures ;
- pollutions radioactives et rejets de métaux lourds tout au long de la filière, depuis l'extraction d'uranium jusqu'à la gestion des déchets et le démantèlement des réacteurs ;
- pollutions thermiques provoquées par le rejet des eaux de refroidissement, dont les impacts sont moins souvent évoqués mais bien réels ;
- émission de gaz à effet de serre et autres polluants atmosphériques lors des étapes de la filière nécessitant l'utilisation (parfois très importante) de combustibles fossiles ;
- pollution visuelle induite par des unités de production imposantes et nécessitant l'aménagement de réseaux de lignes à haute tension très développés ;
- etc.

Par ailleurs, tandis que les technologies nucléaires futures (réacteurs de 4ème génération, fusion nucléaire, etc.) sont encore à l'heure actuelle très hypothétiques et font face à de nombreux problèmes techniques, économiques et environnementaux, les technologies nucléaires actuellement exploitées ne peuvent être considérées comme soutenables :

- utilisation de combustibles dont les réserves sont limitées ;
- nécessité d'un soutien public direct et indirect considérable, aux frais du contribuable ;
- risques d'accidents dont la probabilité de survenance est faible, il est vrai, mais dont les conséquences potentielles sont sans commune mesure avec toute autre activité humaine ;
- augmentation des risques de détournement de programmes nucléaires « civils » en programmes militaires ;
- augmentation des risques en matière de terrorisme : centrales nucléaires, sites de stockage de déchets, usines de retraitement, etc., constituent autant de cibles privilégiées ;
- le nucléaire n'est pas une source d'énergie généralisable à l'ensemble de la planète, et s'avère totalement inadapté dans de nombreux pays (ceux-là même qui verront leurs consommations d'énergie le plus augmenter à l'avenir) ;
- toute somme investie dans le nucléaire ne peut être affectée à des domaines davantage conformes aux principes de développement durable (à titre d'exemple, le nucléaire absorbe 60% des budgets R&D en matière d'énergie dans l'UE-15 depuis les années 1980. Energies fossiles, sources d'énergie renouvelables, efficacité énergétique, stockage et distribution de l'énergie se partagent le reste du gâteau).

A la lumière de ces éléments, une large majorité de la population estime que le nucléaire n'est pas une énergie d'avenir[1]. Et qu'il faudra tôt ou tard s'en passer. Néanmoins, le développement récent de l'actualité conduit de nombreux individus à douter de la faisabilité de la mise en œuvre de la loi de sortie du nucléaire. Dépendance énergétique, réchauffement global et hausse des prix pétroliers sont habituellement avancés pour plaider en faveur d'un prolongement de la durée de vie de nos centrales.

Or, paradoxalement, ces trois défis ne seront véritablement et durablement relevés qu'en sortant du nucléaire !

6.1. Ne pas hypothéquer la sécurité d'approvisionnement de notre pays.

Nul doute que la sortie du nucléaire conduira à une modification de notre « mix énergétique ». Dans une phase transitoire, le gaz sera même probablement amené à y occuper une place plus importante. Mais l'utilisation du gaz à des fins de production d'électricité n'est qu'une partie de la problématique : actuellement, trois-quart du gaz consommé en Belgique sert à des usages principalement industriels (6,43Gm^3), résidentiels (5,01Gm^3) et tertiaires (2,36Gm^3). Seuls 4,9Gm^3 sont destinés à la production d'électricité. Si les réacteurs nucléaires étaient remplacés par des centrales TGV, la CREG[2] évalue l'augmentation des consommations de gaz naturel à 5,09Gm^3, soit une augmentation des importations de 27,2%. Bien qu'une telle situation ne soit pas souhaitable, ces chiffres relativisent une fois de plus l'impact de la sortie du nucléaire.

Mais avant tout, il s'agit de réorienter notre politique énergétique en assurant un cadre favorable à la maîtrise de la demande et au déploiement des énergies renouvelables et de la cogénération. Le chapitre 5 nous a rappelé que les alternatives existent, tant du côté de l'offre que de la demande. Il ne faut pas les réinventer mais les promouvoir afin de veiller à leur mise en œuvre.

Comme le montre le scénario Negawatt pour la France (voir 5.3), une synergie entre énergies renouvelables, efficacité énergétique et sobriété énergétique est non seulement indispensable mais techniquement à notre disposition. Une façon d'améliorer durablement notre sécurité d'approvisionnement énergétique.

6.2. Assurer une réduction des émissions de gaz à effet de serre à long terme.

Les chapitres 3 et 4 ont présenté les différents enjeux énergétiques et les réponses du nucléaire à ces enjeux, relativisant l'importance du nucléaire dans le débat, notamment en matière de changements climatiques. Si la filière nucléaire est loin d'être neutre en carbone, elle émet toutefois moins de gaz à effet de serre que les énergies fossiles. Cependant, le CO_2 produit par cette filière est appelé à augmenter au fur et à mesure que les minerais les plus riches en uranium sont exploités, et que davantage d'énergie sera nécessaire à la fabrication (extraction, enrichissement, ...) du combustible.

De plus, le nucléaire représente moins de 3% de la consommation mondiale d'énergie et son impact éventuellement bénéfique en termes de CO_2 est donc forcément limité. Un développement massif serait inefficace, voire contre-productif : la réponse du nucléaire au réchauffement climatique est trop limitée, trop coûteuse et trop lente. Les mêmes montants investis dans d'autres technologies seraient beaucoup plus efficaces.

En Belgique, si l'on considère de façon simplifiée que le nucléaire n'émet pas de gaz à effet de serre, la fermeture des centrales conduirait à une augmentation d'à peine 8% des émissions de gaz à effet de serre si le parc nucléaire était presque intégralement remplacé par des centrales au gaz[3] (un scénario basé sur une maîtrise de la demande, un développement des renouvelables et de la cogénération serait bien entendu préférable et permettrait de réduire cet impact). Ce n'est pas négligeable, il est vrai, mais ces 8% pourraient être largement compensés par des réductions d'émissions de CO_2 dans les autres secteurs que l'électricité (transports, chauffage, etc.), ainsi que par une diminution des émissions des autres gaz à effet de serre.

Garder le nucléaire, c'est – au mieux – reporter notre action sur les changements climatiques de quelques années. En sortir, c'est agir sur la cause profonde des changements climatiques : l'abus de consommation.

6.3. Eviter une dérive des coûts.

Comme nous l'avons vu au chapitre 5.6, la facture d'électricité ne représente qu'une partie de nos dépenses énergétiques : diminuer le prix du kilowattheure ne nous permettrait pas de nous déplacer à moindre prix ou de remplir moins douloureusement notre cuve à mazout. Et le coût de l'électricité ne représente qu'un tiers environ du prix final dont doivent s'acquitter les consommateurs particuliers (celui-ci inclut en effet taxes et prélèvements, tarifs de réseau, etc.).

De plus, les faibles coûts actuels de production des centrales nucléaires en Belgique s'expliquent par un amortissement accéléré des centrales et des subsides publics considérables, le principal subside dont bénéficie aujourd'hui le nucléaire belge étant une limitation de la responsabilité civile en matière d'assurance. Or, rappelons que le prix de fourniture de l'électricité n'est pas influencé par ces coûts de production du nucléaire mais par les coûts de production variables de la centrale marginale, c'est-à-dire la centrale permettant de couvrir le « dernier kWh consommé », caractérisée par les coûts variables les plus élevés. La différence considérable entre les prix de marché de l'électricité et les coûts de production d'électricité nucléaire permettent donc seulement à l'exploitant de réaliser davantage de bénéfices. Ce ne sont donc pas les faibles coûts de production qui sont susceptibles de faire baisser les prix de l'électricité, mais bien la concurrence.

Soutenir le nucléaire n'aura aucun effet sur cet élément-là vu sa nature concentrée ; que du contraire même, puisque la position de l'opérateur historique dissuade considérablement l'arrivée de nouveaux entrants sur ce marché.

Et même si l'on considérait que le nucléaire permette de répondre à un de ces enjeux, choisir l'option du nucléaire reviendrait à répondre à un problème, pour lequel de nombreuses solutions éprouvées existent, par d'autres problèmes. Car le nucléaire n'est pas une filière énergétique comme les autres : elle présente des problèmes spécifiques, d'un autre ordre de grandeur : la gestion des déchets sur des périodes de temps qui sont hors échelle humaine, le risque d'accidents ou de détournements à des fins militaires, aux conséquences incalculables et, aujourd'hui, des risques supplémentaires liés au terrorisme. Peut-on encourager d'un côté une technologie tout en craignant de l'autre sa prolifération ?

Pour Inter-Environnement Wallonie, la décision de sortir du nucléaire en Belgique a été mûrement réfléchie lors des nombreuses discussions qui ont précédé le vote de la loi (au contraire du développement du parc nucléaire belge, qui n'a lui pas fait l'objet de débats publics). Le « pour » et le « contre » ont été longuement pesés et rien n'a véritablement changé depuis lors, malgré ce que d'aucuns veulent faire croire : en 2003 déjà, les changements climatiques étaient à l'agenda politique depuis des années et l'augmentation du prix des combustibles était déjà prévue. La Convention des Nations Unies sur le climat fut en effet adoptée en 1992 et l'on savait que des réductions drastiques d'émissions seraient nécessaires à terme. Les premiers rapports faisant état de préoccupations concernant le caractère limité des ressources fossiles, et la hausse des prix qui accompagnerait leur raréfaction, ont quant à eux également été publiés il y a des décennies. Il est donc fallacieux de rouvrir le débat sur la sortie du nucléaire en Belgique sur base d'un changement de contexte concernant ces problématiques.

Certains souhaitent abréger le débat en répétant que nous ne pouvons nous permettre de choisir entre différentes technologies. Il faudrait du renouvelable et une maîtrise de la demande et du nucléaire (« et » plutôt que « ou »)... En pratique, si tel est le choix réalisé, il y a fort à craindre que la tendance observée par le passé se poursuive : des renouvelables, surtout dans les discours, et du nucléaire, surtout dans le paysage. Car un euro investi dans une technologie ne peut en même temps être investi dans une autre technologie. Ce dossier a voulu montrer que l'option nucléaire induit toute une gestion énergétique qui s'oppose à l'efficacité énergétique, à la sobriété énergétique et aux énergies renouvelables. Il y a donc un choix à faire...

Par ailleurs, un prolongement des centrales existantes pourrait également augmenter les risques en raison du phénomène de vieillissement. La multiplication de petits incidents ces dernières années en Belgique pourrait en être un signe avant-coureur. Plusieurs incidents sérieux ont récemment conduit à la fermeture prématurée de centrales de type PWR - comme les centrales belges - dans différents pays réputés « fiables ». De plus, peu d'expériences existent au-delà de 35 ans d'exploitation... La moyenne d'âge des centrales PWR fermées en Allemagne, en France et aux Etats-Unis est de 15 ans et de celles en opération est de 24 ans. En France, Framatome estime que seules la moitié des centrales pourraient voir leur durée de vie prolongée à 50 ou 60 ans.

Pourquoi, aujourd'hui, s'obstiner à miser sur une technologie présentant autant d'inconnues (disponibilité du combustible, impact effectif sur le climat, coût réel, possibilité de prolonger la durée de vie, risques, ...) alors que des solutions durables sont à portée de main ?

Le coût du combustible lui-même est un facteur d'incertitude car bien que le prix de l'uranium ait une moindre influence que les énergies fossiles sur le prix de l'électricité, une envolée des prix comme celle constatée ces dernières années (coût multiplié par 10 depuis le début 2001) engendre inévitablement des conséquences sur les coûts de production de l'électricité. La *World Nuclear Association* craint d'ailleurs une pénurie en uranium 235 dès 2015... Les arguments s'emballent : « oui, il y a un problème avec l'uranium 235, mais il y a d'autres combustibles, plus abondants ; les réacteurs qui les utiliseraient sont en voie de développement et on s'attend à les voir apparaître sur le marché en 2030. On prépare aussi des incinérateurs de déchets radioactifs... Enfin, il y a la fusion, qui nous procurerait une source d'énergie inépuisable... » Il faut certainement continuer à chercher. Mais on a besoin de solutions aujourd'hui.

Car les enjeux auxquels nous sommes actuellement confrontés nécessitent des réponses à mettre en place dès aujourd'hui. Kyoto n'est qu'un premier pas dont la laborieuse mise en œuvre ne devrait pas cacher l'enjeu plus fondamental : nous orienter vers des modes de consommation plus sobres et des modes de production plus durables. Ne plus miser l'essentiel de nos moyens sur des technologies qui, à défaut de résoudre les problèmes, ne font que les reporter à demain.

Cette sortie progressive du nucléaire, programmée 20 ans à l'avance, constitue donc le coup de pied dont la Belgique avait besoin pour se mettre face à ses responsabilités à long terme.

Le délai prévu par la loi de sortie du nucléaire permet une adaptation progressive et choisie de notre modèle énergétique. Suffisamment de projets permettent déjà de remplacer les 3 premières tranches qui fermeront en 2015 (cfr. chap. 5.4.). Les autres tranches ne fermeront – sauf imprévu – qu'entre 2022 et 2025. Soit dans un laps de temps suffisant pour que de nouveaux investissements soient réalisés. Il faut néanmoins pour cela qu'un cadre clair et stable à long terme soit mis en place par nos décideurs. Ne pas garder ce cap reviendrait à décourager les nouveaux investisseurs, à retarder les adaptations nécessaires (notamment des réseaux) et donc à freiner voire empêcher la transition vers des solutions véritablement soutenables. Pire, à détourner l'attention – du politique et de la population – de l'aspect le plus important pour notre avenir énergétique : la maîtrise de la demande.

Allons-nous continuer comme si de rien n'était et attendre que le marché décide à notre place ? Etre confiants dans le fait qu'un jour, la science apportera la solution ? Choisir la solution de facilité et reporter plus loin, sur nos enfants, l'échéance qui les forcera – peut-être alors de façon brutale – à revoir profondément le modèle de consommation énergétique que nous leur aurons légué, en plus des déchets radioactifs ?

Poursuivre dans la voie du nucléaire est un choix, pas une nécessité. Notre avenir énergétique est une question scientifique et technique, avec la volonté de « remplacer peu à peu la puissance par l'intelligence », selon la formule de Théo Leray. Mais c'est aussi une question éthique qui devrait nous toucher tous. Car comment rester indifférent face à l'attitude égoïste consistant à faire prévaloir nos habitudes actuelles et non-soutenables sur les intérêts – parfois vitaux – de nos descendants ?

Autant de considérations qui, nous ne pouvons que l'espérer, seront prises en compte lors des débats sur la loi de sortie du nucléaire qui ne manqueront pas d'occuper les sphères de la société civile en cette année d'élections législatives. Puisse ce document y contribuer.

Notes

1 *Selon un récent Eurobaromètre, seuls 12% des Européens et 11% des Belges sont favorables à l'énergie nucléaire. Commission européenne,* Special Eurobarometer – Attitudes towards Energy, *2006.*

2 *CREG,* Proposition de Plan indicatif d'approvisionnement en gaz naturel, *2004, pp. 49-51. Ce document, disponible sur le site www.creg.be, a été approuvé par le Ministre fédéral de l'énergie le 19 décembre 2006.*

3 *CREG,* Proposition de Plan indicatif d'approvisionnement en gaz naturel 2004-2014, *2004.*

7. ANNEXE : LE NUCLÉAIRE, FAITS ET FISSIONS

7.1. La filière nucléaire

Une centrale nucléaire utilise le même principe de conversion de l'énergie qu'une centrale thermique classique : la chaleur dégagée (par combustion d'un combustible, ou par fission d'un atome) est utilisée pour produire de la vapeur et ensuite, via un groupe turbo-alternateur, de l'électricité. Au cours du processus nucléaire, deux tiers de l'énergie sont cependant perdus, principalement sous forme de chaleur évacuée par les tours de refroidissement et dans les cours d'eau ou les océans.

La fission nucléaire consiste à diviser un noyau d'atome lourd (uranium, plutonium). Cette division de noyau, engendrée par un bombardement de neutrons, libère une énorme quantité d'énergie, et s'accompagne également de production de noyaux radioactifs. Le combustible conventionnel d'une centrale nucléaire est l'uranium. L'élément Uranium tel que trouvé dans la croûte terrestre est le mélange de plusieurs isotopes. L'isotope U-235 ne compte que pour 0,72% dans l'uranium naturel (qui lui-même ne se trouve qu'à raison de 1% dans le minerai d'uranium). Un atout du nucléaire réside dans le fait qu'un faible quantité d'uranium peut produire une quantité importante d'énergie : l'industrie nucléaire fait souvent valoir qu'un gramme d'U-235 permet de produire autant d'énergie que 2,4 tonnes de charbon. Elle omet néanmoins tout aussi souvent de préciser que d'une tonne de minerais sont extraits 3kg d'uranium, lesquels contiennent à peine 20 gr d'U-235. Cela a évidemment de lourds impacts sur l'environnement puisque de grandes quantités de minerais doivent être extraites, produisant des quantités importantes de déchets rejetant du radon, gaz radioactif. Les mineurs travaillent ainsi dans des conditions très difficiles, et sont souvent exposés à des niveaux de radioactivité nocifs. Au Niger par exemple, les travailleurs sont exposés à leur insu à des niveaux de radioactivité très élevés, malgré les connaissances des risques par les exploitants européens (Cogema, Areva,...) de ces mines. Plusieurs ONG locales font part de leurs préoccupations à ce sujet, de nombreux habitants de la région ayant montré des symptômes caractéristiques d'une surexposition à la radioactivité.

La fabrication du combustible conventionnel nécessite de nombreuses opérations, qui induisent généralement la production de déchets radioactifs, ainsi que des rejets liquides ou gazeux. Avant le raffinage, l'uranium doit être séparé de la gangue qui le contient. Ce travail est effectué sur le site ou dans une usine de concentration près du site. Les uranates et le nitrate d'uranyle provenant des usines de concentration sont transférés dans une installation de raffinage et de conversion. La teneur en uranium 235 (dans l'uranium naturel, la proportion d'isotopes U-235 est de 0,72%, contre 99,275% pour l'U-238) est augmentée dans une usine d'enrichissement. L'Hexafluorure d'uranium (UF_6) enrichi de 0,72% à environ 3,5% est alors transporté vers une usine de fabrication du combustible[1] où l'UF_6 est vaporisé et ensuite converti en dioxyde d'uranium (UO_2), sous forme de poudre. Des crayons cylindriques, contenant des pastilles fabriquées à partir d'UO_2, sont groupés en assemblages prêts à être déposés au cœur du réacteur. Par exemple, le cœur d'un réacteur à eau pressurisée (PWR) de 925MWe contient 157 assemblages correspondant à 72,5 tonnes d'uranium réparties en 41.500 crayons. Les combustibles irradiés devront ensuite être extraits du réacteur pour être entreposés et traités.

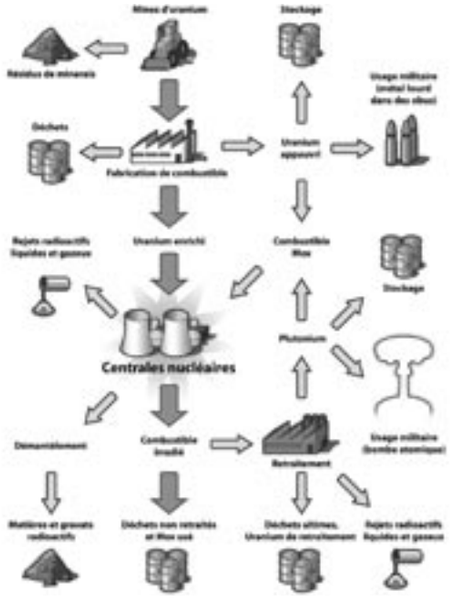


Figure 36 : Schéma simplifié de la filière nucléaire. Source : Réseau Sortir du nucléaire, Par ici la sortie...du nucléaire, 2004

7.2. Les dangers du nucléaire[2]

7.2.1. Risque d'accidents

On nous dit que « *le risque nucléaire est minime* ». Or, l'évaluation des risques doit être effectuée en multipliant la probabilité de survenance d'un évènement par les conséquences qu'il induirait. L'exercice, qui doit être interprété avec la plus grande prudence car reposant sur des approximations importantes, a été réalisé par IPPNW, WISE International et EUROSOLAR[3].

Selon le rapport officiel « German Risk Study of nuclear power stations – Phase B», la probabilité de survenance d'une fusion du cœur du réacteur (comme cela s'est produit à Tchernobyl) dans un réacteur nucléaire allemand peut être évaluée à 2.9 x 10-5 par an (2.9E-05/a). En considérant une durée de vie d'un réacteur de 40 ans, la probabilité de survenance d'un tel accident peut alors être estimée à 0.1%.

Cette probabilité augmente bien entendu avec le nombre de réacteurs actuellement en service à travers le monde. Rien qu'en Europe, plus de 150 réacteurs étaient en état de fonctionnement dé-

but 2004. La probabilité qu'un accident de grande ampleur survienne dans l'Union européenne durant ces quatre décennies tournerait alors aux alentours de 16%, soit la probabilité d'obtenir un six en lançant un dé. A l'échelle mondiale, les 440 réacteurs nucléaires en fonction portent à 40 % la probabilité d'accident en quarante ans d'exploitation.

C'est davantage l'exercice que les résultats qu'il produit qui sont intéressants. Les chiffres ne doivent en effet pas être considérés tels quels car reposant sur des approximations et marges d'erreurs importantes. Néanmoins, ils illustrent le fait – une évidence, en réalité – qu'une probabilité de survenance d'un accident très faible augmente considérablement avec l'extension du parc nucléaire et la prolongation de la durée de vie des réacteurs. Précisons en outre que l'exercice réalisé ci-dessus porte sur la probabilité d'une fusion du cœur du réacteur. De nombreux autres incidents et accidents sont susceptibles d'avoir lieu et de conduire également à des rejets de radioactivité dans l'environnement. Enfin, nous y reviendrons, au-delà des risques d'accidents inhérents à la technologie, il convient de prendre en considération les erreurs humaines (à l'origine de très nombreux accidents) et les actes malveillants (terrorisme par exemple), concernant lesquels les calculs de probabilité sont bien entendu beaucoup moins pertinents.

> « *En fait, la fréquence des accidents majeurs et mineurs se révèle beaucoup plus grande que celle proclamée au départ par les statisticiens nucléaires. La raison est simple et, en cela, d'autant plus inquiétante. Il s'agit presque toujours d'erreurs imputables non pas aux machines, mais aux opérateurs eux-mêmes. A Tchernobyl, les systèmes de sécurité avaient été débranchés pour effectuer certaines expériences. Aucun système de sécurité, aussi parfait soit-il, ne peut nous mettre à l'abri d'erreurs humaines. Aucun programme de calculs des probabilités ne peut en tenir compte.* »[4]

7.2.2. Accidents nucléaires : il n'y a pas que Tchernobyl et Three Mile Island

Il nous est souvent répété que les accidents observés ces dernières décennies, en raison de dysfonctionnements techniques ou de défaillances humaines, ne pourraient se produire chez nous. « *Three Mile Island était une ancienne conception* » et « *Tchernobyl… !*». Pourtant, il y a eu récemment des accidents sérieux, y compris dans des pays industrialisés avancés et même au Japon, pays du high-tech par excellence. Citons quelques exemples, parmi les nombreux qui pourraient être évoqués :

- 1995, Japon: fuite de sodium suivie d'un incendie dans le surgénérateur de Monju, alimenté en plutonium. Le réacteur est toujours à l'arrêt ;
- 1998, France: une importante fuite de fluide primaire de refroidissement – 30m^3 par heure –, sur le plus récent réacteur français, Civaux, n'est isolée qu'au bout de 10 heures ;
- 1999, Japon: deux ouvriers sont tués et plusieurs centaines de personnes exposées aux radiations suite à un accident de criticité dans une usine de fabrication de combustibles à Tokai, au Japon ;
- 2005, Royaume-Uni: une fuite de plus de 80m^3 d'acide nitrique contenant environ 22 tonnes d'uranium et 200 kg de plutonium est découverte, huit mois après son apparition, sur le dissolveur de l'usine de retraitement THORP, fermée depuis.

- En 2006, la Suède a connu son lot de frayeurs puisque plusieurs incidents ont été à déplorer, conduisant des fermetures de réacteurs à plusieurs reprises. Le plus grave est intervenu fin juillet, lorsque deux générateurs de secours ont refusé de démarrer pendant plus de 20 minutes, conduisant le cœur du réacteur nucléaire à ne plus être refroidi suffisamment. Selon les Suédois, la première phase de la destruction du cœur se serait produite sept minutes plus tard et la fusion dans l'heure qui aurait suivi, produisant un dégagement important de radioactivité. On est donc passé tout près d'une catastrophe de grande ampleur. Selon un ancien responsable de cette centrale, «*c'est l'événement le plus dangereux depuis Harrisburg et Tchernobyl*». Comme un défaut générique est vraisemblablement à l'origine de la panne, l'organisme de contrôle nucléaire suédois a du fermer préventivement trois autres réacteurs.

7.2.3. Le vieillissement des centrales nucléaires augmente les risques d'accidents.

Les réacteurs les plus anciens sont généralement considérés comme les moins sûrs, et cela pour deux raisons majeures. Tout d'abord, la conception même des réacteurs a évolué suite aux incidents et accidents ; le principal événement ayant entraîné des modifications de conception est l'accident de Three Mile Island en 1979. Dans notre pays, les réacteurs Doel 1&2 et Tihange 1 sont antérieurs à cette date. Ensuite, le vieillissement des centrales conduit à une augmentation des risques d'incidents et d'accidents.

Comme dans toute installation industrielle, les matériaux composant une centrale nucléaire vieillissent et leurs propriétés se détériorent au fur et à mesure du fonctionnement de la centrale, suite aux sollicitations multiples auxquelles les composants sont soumis. Les facteurs qui influencent le plus les processus de vieillissement dans une centrale nucléaire sont l'irradiation nucléaire, les contraintes thermiques ou mécaniques, les processus corrosifs, abrasifs et érosifs, ainsi que les combinaisons et les interactions des processus précités[5].

Les taux de rupture sont généralement les plus élevés juste après le démarrage de la centrale, lorsque les erreurs de construction ou de design deviennent apparentes. Durant cette phase, des efforts considérables sont généralement entrepris afin de corriger les problèmes. Les aspects économiques incitent en effet fortement le gestionnaire à parvenir à un bon fonctionnement de la centrale le plus rapidement possible. Par la suite, le nombre de problèmes se réduit souvent pour passer par un minimum. Enfin, lorsque les effets du vieillissement commencent à se marquer, le taux d'incidents augmente exponentiellement (voir figure 37).Les premiers effets des processus de vieillissement sont difficiles à déceler, car ils touchent habituellement le niveau microscopique de la structure des matériaux. Souvent, ils ne deviennent apparents qu'après la rupture de matériaux, par exemple, des conduites.

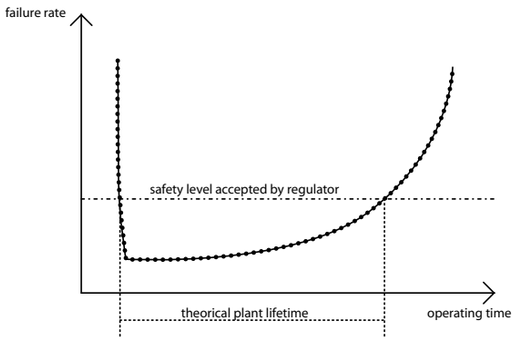


Figure 37: Courbe typique du taux d 'incidents en fonction du temps (Meyer,1998). Source : Meyer,N., D.Rieck & I.Tweer, Alterung in Kernkraftwerken, Greenpeace, 1996, revised version 1998.

Indépendamment du type de réacteur, on estime qu'à partir d'une vingtaine d'années de fonctionnement, le danger posé par le vieillissement du réacteur augmente chaque année de manière significative[6]. Car les risques d'accidents sont bien entendu corrélés au vieillissement des centrales (3), dont les conséquences potentielles en matière de sûreté sont de deux ordres :

- Un accroissement du nombre d'incidents tels que petites fuites, fissures ou courts-circuits ;
- Un affaiblissement graduel des matériaux des réacteurs, susceptibles de laisser notamment apparaître des problèmes de fissures dans le couvercle de la cuve du réacteur.

Il s'agit d'une tendance qui se marque à travers tout le secteur, mais évidement pas d'une valeur absolue; le phénomène du vieillissement peut en effet se manifester plus tôt ou plus tard. Toute prolongation de la durée de vie du réacteur entraîne une augmentation des phénomènes liés au vieillissement, avec à la clé un risque d'accidents significativement accru.

7.2.4. Quelques exemples d'incidents liés au vieillissement des réacteurs

Plusieurs exemples de réacteurs « à eau pressurisée » (du même type que ceux que l'on retrouve en Belgique) ayant connu des problèmes liés au vieillissement sont présentés ci-dessous. Ils ont à chaque fois conduit à la fermeture définitive du réacteur ou à son arrêt durant de longues périodes.

Le réacteur de Yankee Rowe (États-Unis) a été fermé définitivement en 1992, après 31 années de fonctionnement. Yankee Rowe était pourtant le premier réacteur nord-américain pour lequel une demande de prolongation de licence (de 40 à 60 ans)avait été introduite. Paradoxalement, c'est lors de la procédure de renouvellement de la licence qu'une enquête de sécurité a décelé qu'une soudure de la cuve de réacteur avait déjà atteint un stade critique de fragilisation.

Pendant plus de deux années, de 2002 à 2004, le réacteur Davis Besse (États-Unis) est resté à l'arrêt suite à la découverte fortuite, lors d'une opération de maintenance de la plaque de couverture de la cuve, d'une cavité de 15 cm de profondeur et 17 cm de large. Seuls 3 mm de la membrane extérieure en acier inoxydable de la cuve résistaient encore. Selon la société FirstEnergy, propriétaire et exploitant du réacteur, une fissure axiale s'est développée dans un adaptateur à partir de 1990, pour déboucher – après avoir parcouru tout l'adaptateur – en surface du couvercle en 1995. FirstEnergy estime rétrospectivement la vitesse de l'expansion de la fissure à environ 50 mm/an. Durant les inspections visuelles de 1998 et de 2000, les opérateurs n'ont pas décelé d'endommagement du couvercle. Le déchirement de la dernière protection, la membrane en acier inoxydable, aurait pu ouvrir une brèche susceptible d'entraîner un accident catastrophique comme la perte en eau du réacteur, l'éjection d'une partie des barres de contrôle ou leur perte de fonction. Les coûts totaux liés à l'arrêt de la centrale, y compris les coûts liés au remplacement de la production d 'électricité, sont estimés à environ 600 millions de dollars. Malgré ces problèmes et le fait qu 'il ait fallu douze ans pour les déceler, la Commission de contrôle gouvernementale des États-Unis (NRC) a depuis lors autorisé la centrale de Davis Besse à fonctionner jusque 2017.

Des fissures du même type ont été identifiées dans d'autres réacteurs américains, en Suisse, en Suède, ainsi qu'en France. Le parc nucléaire français, en particulier (la technologie française, comme les réacteurs belges, reprenant le même concept de réacteurs à eau pressurisée que celui du réacteur de Davis Besse), a été largement touché par ce phénomène au début des années 1990. En 1991, EDF a révélé au public la détection de la première fissure dans le couvercle de cuve de réacteur de Bugey. En mai 1996, EDF signalait la fissuration dans le couvercle du réacteur n°2 de la centrale de Fesseinheim. De 1991 à 1996, EDF reconnaît que 41 adaptateurs sur 2800 inspectés présentaient des fissures.

La centrale de Stade, en Allemagne, a été arrêtée définitivement en novembre 2003, après moins de 32 années de fonctionnement. Comme à Yankee Rowe, les soudures dans la cuve de réacteur étaient particulièrement sujettes à la fragilisation, en raison d 'un taux élevé d'impuretés de cuivre. Le problème était connu depuis des années, mais TÜV, l'organisation de support technique épaulant l'autorité de surveillance allemande, avait à plusieurs reprises confirmé qu'une marge de sécurité suffisante existait pour que la centrale puisse fonctionner durant 40 ans. Il s'agit jusqu'à présent de la seule centrale allemande mise à l'arrêt depuis la décision du gouvernement rouge-vert de sortir progressivement du nucléaire, et ce en dépit du fait que la quantité d'électricité assignée à cette centrale par la loi allemande sur l 'énergie atomique de 2001 n'avait pas encore été atteinte. L'opérateur de la centrale a affirmé que celle-ci fermait ses portes pour des raisons purement économiques – sa puissance était trop faible, selon lui. Pourtant, la centrale d'Obrigheim, plus âgée et d'une puissance moitié moindre que celle de Stade, est toujours en fonctionnement. On peut donc suspecter que Stade a bien fermé pour des problèmes liés au vieillissement.

Des exemples de problèmes liés au vieillissement et ayant conduit à la fermeture (ou à l'arrêt prolongé) des centrales existent pour d'autres types de centrales. Le réacteur à eau bouillante de Würgassen, en Allemagne, par exemple, a été arrêté définitivement en mai 1995, après moins de 24 ans de fonctionnement, en raison de fissures graves dans l'enveloppe du cœur du réacteur. Les mesures de réparation et de modernisation auraient coûté à l 'époque entre 350 et 400 millions de DM (environ 175-200 millions d'euros) et l'opérateur de la centrale, PreussenElektra, décida de la fermer.

7.2.5. Et la sécurité nucléaire en Belgique ?

En Belgique, l'organisme privé de contrôle AVN tirait la sonnette d 'alarme fin 2004 en soulignant la baisse de la culture de sûreté dans les centrales belges. AVN avait alors écrit à Electrabel, qui exploite les centrales, afin de lui signaler des déficiences dans l'organisation de la sécurité. En plus d'AVN, les syndicats du secteur nucléaire ont également dénoncé à l'époque les dérives dans la sécurité des centrales de Doel et Tihange, provoquées selon eux par la culture de la sous-traitance et la compression du personnel chez Electrabel. Dans un rapport répercuté lors d'un conseil d'entreprise, les syndicats de Tihange s'inquiétaient aussi de la vétusté croissante des installations ayant pris la forme de défauts graves (incendie, explosion, etc.) touchant principalement les câbles ou les équipements haute tension. Ces défauts, selon les syndicats, sont susceptibles d'engendrer de graves accidents de personnes et d'affecter de façon préoccupante la sûreté des installations nucléaires. De même, les syndicats constataient que tout le matériel (pompes, installations électroniques, vannes...) n'est plus entretenu préventivement comme c'était le cas auparavant et que les normes de sécurité sont moins bien respectées. Comme en 2004, AVN indiquait à nouveau dans son rapport annuel 2005 que des efforts sont nécessaires pour assurer le maintien de la sécurité dans les installations nucléaires en Belgique.

Un autre constat semble contraster avec les discours rassurants tenus par les exploitants de centrale en matière de sûreté : le nombre de dysfonctionnements observés à Doel et Tihange a considérablement augmenté ces dernières années. En 2005, dix-sept « anomalies » (niveau 1 sur une échelle de 7) et un « incident » (niveau 2) avaient été constatés par l'Association Vinçotte nucléaire (AVN), chargée de vérifier les niveaux de sûreté des installations atomiques belges. Soit deux fois plus que l'année précédente. Et la tendance se poursuit puisque quatorze « anomalies » et un « incident » avaient déjà été relevés durant la première partie de l'année 2006. Deux dysfonctionnements de « niveau 2 » en deux ans donc, alors que le dernier évènement de ce type avait été observé en 1996...

Il y a enfin lieu d'ajouter que dans un contexte de libéralisation du marché de l'électricité, la pression économique augmentera et la course à la compétitivité semble peu compatible avec une politique de sûreté optimale, bien entendu plus coûteuse pour les exploitants.

7.2.6. Prolifération et terrorisme

Depuis le 11 septembre 2001, nous savons également que le risque d'attaque terroriste contre une centrale nucléaire n'est pas à exclure. Au-delà des dommages sanitaires, des groupes mal intentionnés pourraient y voir la possibilité de mettre à mal d'un seul coup l'approvisionnement énergétique d'une bonne partie du pays. Or, les trois plus vieux réacteurs belges (Tihange 1, Doel 1 & 2) ont été construits il y a plus de trente ans et n'ont pas été prévus pour résister à la chute d'un avion de ligne de type Boeing 747. Même si l'enceinte de confinement résistait à l'impact ou même était épargnée, la destruction d'autres éléments – lignes d'évacuation de la vapeur, alimentation en eau et en électricité – pourrait bien conduire au désastre dans un deuxième temps. Mais plus encore que le réacteur lui-même, ce sont les installations de stockage du combustible usé qui sont vulnérables. En effet, en attendant son refroidissement, celui-ci est conservé pendant plusieurs dizaines d'années dans des « piscines » à proximité du réacteur. Une attaque contre une de ces piscines aurait des conséquences extrêmement graves avec la contamination radioactive de toute la région.

Cette menace ne semble pourtant pas réellement prise au sérieux par les autorités belges. En 2004, Colin Powell a écrit au gouvernement belge pour lui recommander de placer des gardes armés sur les sites nucléaires belges. L'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN) a estimé ces mesures superflues vu que... des commissariats de police sont situés à proximité des centrales ! Des agents de quartier et des vigiles non armés pour nous protéger de terroristes nucléaires ? C'est pour le moins irresponsable dans un pays parmi les plus nucléarisé au monde...

On peut également mentionner les risques de dissémination aux quatre coins du globe, tant pour usage civil que militaire[7]. Les risques augmentent inévitablement avec la multiplication du nombre de centrales, des transports de déchets, des lieux de stockage et des tensions tant régionales qu'internationales.

> « *Dans son rapport annuel pour 2000, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) reconnaît que des groupes terroristes ou autres auraient essayé de voler des matières nucléaires. L'AIEA précise que la lutte contre le trafic illicite est devenue importante, car des incidents continuent à se produire. Au cours des deux années précédant la parution de ce rapport, quatre vols ont été signalés, dont le plus important portait sur 920 grammes d'uranium hautement enrichi.*[8]»

Le secrétaire américain à l'Energie, Spencer Abraham, a annoncé le 26 mai 2004 à Vienne que les Etats-Unis allaient consacrer 450 millions de dollars à un programme mondial destiné à combattre la prolifération nucléaire. Ce programme a été mis sur pied après les révélations sur «le marché noir du nucléaire» auquel s'est livré Abdul Qadeer Khan, le père de la bombe atomique pakistanaise qui avait reconnu publiquement, en février 2004, avoir vendu des secrets nucléaires à l'Iran, à la Libye et à la Corée du Nord. Selon le secrétaire américain à l'énergie « *les grandes quantités de matériaux nucléaires et radiologiques sans contrôle ou à peine contrôlées pouvant être utilisées dans des armes nucléaires ou des engins de dispersion radiologique apportent une dimension nouvelle à la menace mondiale posée* » par la prolifération nucléaire.

La doctrine de dissuasion a plus ou moins accrédité l'idée que ces armes ne seraient jamais plus employées. Et la vigilance s'est peut-être relâchée... Le Traité de Non-Prolifération est devenu dangereux et inefficace : toutes les parties peuvent développer la recherche, la production et l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques et se faire aider en cela par les pays développés sur le plan nucléaire. Elles peuvent ensuite sortir du Traité... Or, on sait maintenant de façon indubitable qu'un pays arrive sans problème par la maîtrise des technologies civiles à la capacité militaire nucléaire.

Dans un rapport récent au Parlement britannique[10], les auteurs se disent frappés par le fait que « *the concerns expressed by environmental groups in relation to the proliferation of nuclear materials and technology worldwide appear to be shared at the highest level. The Oxford Research Group, for*

example, argued that the new Generation III nuclear reactors currently being proposed can use a mixed-oxide (MOX) nuclear fuel, which would allow countries and organisations easier access to plutonium.

Moreover, Generation IV reactors (research on which is being conducted by an international collaboration of states, including the UK) would use mainly plutonium and would therefore constitute an even more serious threat. Oxford Research Group cite a 2004 UN report which warned « we are approaching a point at which the erosion of the non-proliferation regime could become irreversible and result in a cascade of proliferation » ».

7.2.7. Les déchets nucléaires, « une industrie sous contrôle »[11] ?

7.2.7.1. La gestion des déchets radioactifs en Belgique

En Belgique, c'est l'ONDRAF (Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles) qui est chargé de la gestion des déchets radioactifs. L'ONDRAF distingue trois catégories de déchets, selon la classification présentée dans le tableau ci-dessous.

Catégories de déchets radioactifs

	Activités		
Durée de vie	Faible	Moyenne	Haute
Courte (≤30 ans)	A	A	C
Longue (>30ans)	B	B	C

Source : ONDRAF

Il est à noter que le tableau indique « durée de vie ». Il s'agit en fait de la « demi-vie », c'est-à-dire l'intervalle de temps nécessaire à une matière pour perdre la moitié de sa radioactivité. Les isotopes de courte durée de vie sont ceux dont la demi-vie est inférieure à 30 ans. L'ONDRAF considère qu'après 10 « demi-vies », un déchet atteint sa valeur d'exemption[12] puisque l'activité résiduelle est inférieure à un millième de celle de départ.

L'ONDRAF émet en outre une distinction en matière d'activité des déchets :

- les déchets de **faible activité** sont les déchets radioactifs dont le débit de dose au contact (dose à laquelle un individu est exposé au contact) est inférieur à 5 milliSievert par heure (mSv/h).
- Les déchets de **moyenne activité** sont les déchets radioactifs dont le débit de dose au contact se situe entre 5 mSv/h et 2 Sv/h.
- Les déchets de **haute activité** sont les déchets radioactifs dont le débit de dose au contact est supérieur à 2 Sv/h.

Durant des années, l'élimination des déchets nucléaires s'est faite simplement par largage de fûts bétonnés au fond de la mer. La Belgique a longtemps contribué à ces déversements en évacuant ses déchets de catégorie A dans l'Atlantique. Il a été mis un terme à cette pratique suite à la signature de la Convention de Londres décrétant un moratoire sur l'immersion en mer des déchets radioactifs. La Russie a toutefois continué jusqu'en 1993 de déverser ses déchets, même de forte radioactivité, dans les mers de Barents et de Kara[13].

Déchets de Catégorie A : de nombreuses incertitudes

Quant aux déchets faiblement radioactifs, le Gouvernement a décidé en 1998 d'opter pour un stockage définitif. Celui-ci prévoit une période de surveillance de trois siècles au moins, après la période d'exploitation dont la durée prévue est d'environ 50 ans. Trois partenariats locaux ont ainsi vu le jour au début des années 2000 (deux en Flandre, un en Wallonie), avec pour objectif de remettre chacun un avant-projet au Gouvernement fédéral.

Si le projet wallon prévoyait un stockage définitif « semi-enterré » (solution unique en son genre destinée à remédier aux problèmes de stabilité des sols), les deux projets flamands ne se prononçaient pas encore sur le choix d'un stockage définitif en surface ou en profondeur. Courant 2005, les avant-projets des partenariats locaux de Mol (MONA) et de Dessel (STOLA-Dessel) étaient remis au ministre de l'énergie Marc Verwilghen, les conclusions favorables à l'accueil des déchets formulées dans chacun des documents étant assorties de conditions. Début 2006, le Conseil Communal de Fleurus décida quant à lui de rejeter l'avant-projet réalisé par le partenariat local de Fleurus-Farciennes (PALOFF), ce qui conduisit à l'abandon du processus du côté wallon. De nombreux arguments intrinsèques au site de l'Institut des radio-éléments (Fleurus-Farciennes) ont en effet plaidé en faveur d'un abandon du projet (hydrogéologie du site, exiguïté du terrain, densité de population extrêmement élevée alentours, proximité immédiate de riverains, zone sismologiquement sensible, etc.)

Mais de nombreux arguments plus généraux (concernant donc aussi les avant-projets MONA et STOLA), justifient également qu'il soit mis un terme au processus actuel de décision quant à la gestion des déchets radioactifs de classe A. En effet, la décision d'opter pour un stockage définitif était guidée par le souci auto-proclamé de ne pas faire supporter aux générations futures les conséquences de nos choix actuels. Il s'agit en réalité ici d'un leurre puisque le site définitif devra faire l'objet d'une surveillance jusqu'en… 2400.

Les dossiers du MOLA et du STOLA n'offrent aucune garantie concernant l'accès aux déchets et à leur contrôle, ni à la réversibilité du procédé. Ces éléments sont pourtant capitaux pour pouvoir surveiller aisément l'évolution de l'activité de déchets aussi hétérogènes et assurer un stockage des déchets dans des conditions optimales de sûreté. Or, un contrôle de la qualité des fûts réalisé en 2003 révéla que de nombreux « colis » étaient fortement endommagés (rouille, gonflements, fissures, …). Permettre la surveillance de ces déchets apparaît donc loin d'être superflu.

De plus, le site de Mol/Dessel n'est pas des plus appropriés pour accueillir un site de stockage en raison de ses caractéristiques géologiques, puisque l'on ne peut considérer son sol sablonneux comme une « barrière naturelle » telle que requise dans le concept « multi-barrière » recommandé par l'AIEA et l'ONDRAF. Cette absence de barrière naturelle constitue à long terme un réel risque de contamination par les radioéléments de longue demi-vie (en particulier les émetteurs « alpha ») lorsque les barrières ouvragées ne seront plus effectives.

L'option d'un stockage de longue durée, telle qu'adoptée aux Pays-Bas par exemple, semble donc être l'approche la plus raisonnable. Elle permet en effet un contrôle et une surveillance des déchets qui sont rendus impossibles en cas de stockage définitif, et facilitent les manipulations en cas de survenance d'un incident. En outre, des éventuelles évolutions technologiques conduisent à rester prudents quant au choix de la stratégie à adopter, puisque de nouvelles connaissances pourraient nous conduire à l'avenir à effectuer un choix en meilleure connaissance de cause.

Ils ont dit:

> « *Je ne vois pas pourquoi, dans la solution des problèmes technico-scientifiques, on fait toujours aussi aveuglément confiance à l'imagination humaine alors que, devant les problèmes économiques et sociaux, on se résigne comme devant les lois immuables de la nature.* » Hans-Peter Dürr, De la science à l'éthique.

> « *Entre la construction des centrales, leur démantèlement et la désactivation des déchets nucléaires, il peut se passer de nombreuses décennies, voire plusieurs siècles. Or, aucun pays aujourd'hui ne peut être assuré d'une stabilité économique à l'échelle de siècles ou même de décennies. Les empires finissent toujours par s'effondrer. Prenons comme exemple le cas de l'Argentine, prospère jusqu'aux années 1930 et aujourd'hui en pleine débâcle économique. Qui dans ce pays pourrait aujourd'hui payer pour le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des noyaux radioactifs à longue vie ? Le krach de 1929 a montré la fragilité des économies mondiales à l'échelle de quelques mois. Et imaginons qu'à la place des pyramides les Egyptiens aient bâti des réacteurs et que dans les souterrains de Gizeh et de Carnac soient stockées d'immenses quantités de matériaux radioactifs. Qui s'en serait occupé après l'écroulement de l'Empire égyptien ? Le nucléaire, c'est « après nous le déluge ! »* Hubert Reeves, Mal de Terre (Ed. du Seuil).

Déchets de Catégorie B et C : pas de solution après 50 ans de recherche

Faute de pouvoir être éliminés, les déchets à longue durée de vie sont actuellement coulés dans le bitume ou vitrifiés après de longs séjours (plusieurs décennies) dans des piscines de refroidissement. Bien que des recherches soient menées dans de nombreux pays depuis près d'un demi-siècle, il n'existe à ce jour aucun site de stockage définitif de déchets hautement radioactifs en exploitation. De nombreuses idées, parfois très farfelues, ont été présentées comme des solution envisageables : envoyer les déchets vers le magma en les glissant entre deux plaques continentales, les abandonner dans l'espace, etc. Mais nous sommes toujours sans solution aujourd'hui, et l'industrie nucléaire continue à nous faire miroiter des solutions technologiques futures.

Si la Suède envisage l'enfouissement à 200 mètres de profondeur dans des couches de granit, et l'Allemagne la couche de sel, la Belgique s'intéresse à l'argile de Boom, dans les sous-sols de Mol/Dessel. Mais de nombreuses incertitudes persistent, particulièrement en ce qui concerne l'évolution des barrières artificielles et naturelles, en raison des grandes quantités de chaleur dégagées par les déchets. La mise en place d'un tel site est donc loin d'être à l'ordre du jour, et il y a lieu d'être pessimiste lorsqu'on constate les difficultés à construire un site de stockage pour les déchets les moins dangereux.

Une autre question capitale se pose lorsqu'on évoque le problème de ces déchets qui seront nocifs durant des milliers d'années : comment conserver une trace de ces déchets et s'assurer que les générations futures auront une connaissance de la présence de déchets radioactifs à un endroit précis ? Pire, certains s'inquiètent de ce que des civilisations futures, si elles venaient à découvrir un site de stockage de déchets radioactifs sans avoir connaissance de son contenu, pourraient être incitées à s'y intéresser volontairement. Nous entrons ici dans un sujet digne des meilleurs livres de science-fiction, mais de telles considérations sont trop peu prises en compte actuellement.

7.2.7.2. Les dangers du Plutonium

Le combustible fissile séjourne trois ans dans le réacteur. Après une année d'utilisation, un tiers des assemblages est remplacé par des assemblages neufs. Pour 100kg de combustibles présents à l'origine (dont la composition initiale est – si enrichi à 3% – 3kg d'U-235 et 97kg d'U-238), il reste après trois ans d'utilisation environ 1kg d'U-235, 95kg d'U-238, 1kg de Pu 239 et 3kg de produits de fission[14].

Ces déchets constituent l'un des problèmes majeurs de la filière nucléaire. Bien qu'ils soient produits en faibles quantités (l'industrie utilise souvent l'image du dé à coudre produit par personne et par an en Belgique[15]), les combustibles irradiés sont en effet très radioactifs et dégagent de très grandes quantités de chaleur. Ainsi par exemple, une fuite d'1 m^3 dans 1000 ans peut contaminer 100 km^3 d'eau.

En outre, les déchets contiennent du Plutonium, composé très dangereux, à hauteur de 1%. Le Plutonium n'existe pas à l'état naturel mais on évalue aujourd'hui le stock mondial à plus de 1.000 tonnes (dont les trois quarts sont contenus dans les combustibles irradiés, le solde ayant été séparé de ces derniers), intégralement fabriqué par l'homme à partir d'uranium dans des réacteurs nucléaires. Ces stocks (dont le centre de la Hague détient la plus grande partie), constituent une réelle menace pour la sécurité internationale puisque cinq kilos suffisent à la fabrication d'une bombe nucléaire de type Nagasaki. Tel quel, c'est-à-dire mélangé aux autres éléments radioactifs qui forment le combustible usé, il est difficilement utilisable. C'est pourquoi certains pays préfèrent conserver le plutonium fondu dans le bloc de déchets issus de leurs centrales. D'autres ont envisagé la « surgénération » (qui consiste à utiliser comme combustible le plutonium extrait des déchets, cfr. ci-dessous), puis l'ont abandonné, comme la France et l'Allemagne, principalement pour des causes de dérive financière. La Russie et le Japon continuent cette filière à haut risque.

Comme métal lourd, le plutonium est toxique chimiquement, mais c'est sa radiotoxicité qui est déterminante (émissions de particules alpha ou bêta et faibles radiations gamma). Le plutonium 239 a une demi-vie de 24.400 ans (au bout de cette période, il aura perdu la moitié de sa nocivité, et ainsi de suite). On considère qu'il ne constituera plus de danger après 10 demi-vies, soit 240.000 ans. Les dégâts biologiques ne peuvent être calculés qu'en prenant en compte les voies et les durées de résidence dans le corps aussi bien que l'activité spécifique et l'énergie. Comme pour l'uranium, les petites particules sont les plus dangereuses. Elles peuvent se loger dans les

poumons où elles peuvent déclencher un cancer ; elles peuvent être portées jusqu'aux ganglions lymphatiques pulmonaires, passer par le sang aux autres parties du corps. Comme avec les composés d'uranium, l'impact des composés du plutonium sur le corps dépend de la solubilité du composant. Les composés solubles, y compris le nitrate de plutonium, sont une cause prouvée du cancer des os. L'inhalation de 30 microgrammes de plutonium sous forme insoluble ou peu soluble, supposant une répartition homogène de la charge, est une cause presque certaine du cancer du poumon[16].

7.3. Les nouvelles technologies résoudront-elles les problèmes actuels du nucléaire?

Les technologies nucléaires de l'avenir (réacteurs de 4ème génération, fusion nucléaire, « nouveaux combustibles », etc.) sont souvent présentées comme des solutions aux problèmes des technologies actuelles. En argumentant de la sorte, l'industrie nucléaire admet implicitement les nombreux inconvénients liés à cette technologie (production de déchets, utilisation d'un combustible dont les réserves sont limitées, risques d'accidents de prolifération, etc.). Par ailleurs, il apparaît que la mise en œuvre de ces technologies comporte encore de nombreuses incertitudes économiques, techniques et environnementales. Faire reposer nos espoirs sur des technologies qui, si elles voient le jour, arriveront bien trop tard pour répondre aux enjeux auxquels nous sommes aujourd'hui confrontés et nécessitant une réponse rapide, nous détourne donc des véritables solutions qui doivent être développées à court terme.

7.3.1. Retraitement des déchets et surgénération

Le *retraitement* consiste à séparer, par des opérations chimiques et mécaniques, le plutonium et l'uranium des produits de fission hautement radioactifs. L'opération de retraitement permet d'obtenir un nouveau combustible à haut rendement appelé Mixed Oxyde (MOX), une combinaison d'oxyde d'uranium (UO_2 : 94%) et de plutonium (PuO_2 : 6%). Bien que l'industrie nucléaire parle de « recyclage » pour évoquer le retraitement des déchets, l'Uranium récupéré n'est utilisé qu'à hauteur de 10%[17]. En augmentant la quantité totale de déchets, on ne fait donc que retarder l'échéance. En France, le Rapport au Premier ministre *Etude économique prospective de la filière électrique nucléaire*, conclut que « les solutions avec poursuite du retraitement permettent une réduction des quantités de combustibles irradiés à entreposer et une réduction du volume de transuraniens (les déchets radioactifs) non séparés, mais conduisent à la gestion de quantités plus importantes de MOX irradié, qu'il est nécessaire d'entreposer 150 ans avant de pouvoir stocker de manière définitive »[18].

Par ailleurs, le retraitement engendre un accroissement du stock de Plutonium, ce qui augmente considérablement les risques de prolifération, et il induit un trafic routier et ferroviaire considérable, ce qui constitue un facteur de risque important en cas d'accident ou d'acte terroriste.

La *surgénération* est également régulièrement citée parmi les solutions de l'industrie nucléaire aux problèmes des déchets et des ressources limitées d'uranium. Le surgénérateur est un réacteur à neutrons rapides qui produit un matériau fissile en quantités supérieures à la charge initiale. Généralement alimenté en combustible MOX, il peut également l'être en uranium enrichi. Mais les surgénérateurs ont connu de cuisants échecs de par le monde ces dernières décennies. Alors qu'au Japon, le réacteur de Monju dut être arrêté suite à une fuite de sodium, en France, c'est le surgénérateur Superphénix, construit dans la région de Lyon en 1986, qui fut arrêté en 1998 après n'avoir fonctionné que trente mois en douze ans, suite aux nombreuses avaries et à l'emballement des coûts. « Ce n'est pas tant les écologistes que les financiers qui ont fini par convaincre les politiques de mettre un terme à des années d'atermoiements. Dans un rapport de 1996, la Cour des comptes avait estimé à 9,15 milliards d'euros le coût complet de la centrale, de l'investissement initial (4,27 milliards d'euros) à la « déconstruction » totale et au traitement des déchets, en passant par quelques années d'exploitation. Les 5.500 tonnes de sodium de la cuve du réacteur et des circuits secondaires doivent encore être transformées, d'abord en soude, sous gaz neutre, puis en blocs de béton, qui seront entreposés sur place, en attendant mieux... » [19]

7.3.2. Réacteurs de quatrième génération (d'après Yves Marignac, WISE-Paris[20])

Notre modèle énergétique est en crise : de menace de pénurie de pétrole en risque climatique majeur, c'est l'équilibre même de notre système économique, dont la croissance énergivore est le moteur, qui est remis en cause. Dans le bal des prétendants à incarner la filière salvatrice, l'industrie nucléaire se pose volontiers en unique alternative "réaliste" au problème de l'effet de serre.

A l'appui de cette affirmation, elle développe deux arguments. En premier lieu, face à une demande d'énergie en forte croissance, l'énergie nucléaire est la seule source d'énergie abondamment disponible qui ne produise pas de gaz à effet de serre. Cet argument s'articule avec un discours sur le caractère soutenable de l'industrie nucléaire. Tout en affirmant les qualités de ses équipements actuels, l'industrie est confrontée sur ce terrain à une forte contestation, qu'elle tente aujourd'hui de contourner par des promesses technologiques.

Ses efforts portent dans ce domaine sur la conception de réacteurs du futur, regroupés sous l'appellation générique de "4ème génération". La principale initiative est celle du "Forum International Génération IV", initié en 2000 par les Etats-Unis, rejoints par une dizaine de pays (Afrique du Sud, Argentine, Brésil, Canada, Corée du Sud, France, Japon, Royaume Uni, Suisse) plus l'Union européenne (via Euratom).

Les objectifs ont été fixés en avril 2001. Sans caractère contraignant, ils désignent huit résultats en matière de "durabilité", de sûreté et de fiabilité, et de compétitivité, vers lesquels les systèmes de la "Génération IV" – censés décrire des filières intégrées, et non les seuls réacteurs – doivent tendre :

- Caractère durable :
  - réduire l'impact environnemental et favoriser l'utilisation efficace des ressources,
  - minimiser les déchets nucléaires et réduire la charge de leur gestion à long terme,
  - présenter des garanties accrues contre la diversion ou le vol de matières nucléaires,

- Sûreté et fiabilité :
  - exceller en matière de sûreté et de fiabilité,
  - présenter une probabilité et un degré très faibles de dommage du cœur,
  - éliminer le besoin de mesures d'urgence hors du site,
- Compétitivité :
  - présenter un net avantage de coût « cycle de vie » sur les autres sources d'énergie,
  - présenter un niveau de risque financier comparable aux autres projets énergétiques.

Quelle légitimité?

C'est aujourd'hui le point central du débat. L'industrie nucléaire se voit ainsi contrainte, tout en défendant le caractère soutenable du nucléaire actuel, d'admettre le contraire en promettant le développement de nouvelles filières qui le seront vraiment. Derrière ce paradoxe apparent, les critères développés pour la Génération IV répondent-ils réellement à cette logique?

Plus économe en matières premières, plus «propre », plus sûr, non proliférant et moins cher que les autres filières énergétiques: les critères fixés par le Forum apparaissent comme le recyclage moderne des promesses des pionniers du nucléaire, lorsque dans les années 50 ils lançaient le programme Atoms for Peace et annonçaient une énergie maîtrisée, abondante et « trop peu chère pour être facturée »...

Le principe de réalité s'est révélé rude. Outre son coût, l'industrie nucléaire s'est heurtée successivement à plusieurs problèmes majeurs, dont aucun n'a jusqu'ici trouvé de solution définitive : les passerelles entre le nucléaire civil et militaire, le risque d'accident majeur, l'accumulation de déchets radioactifs à vie longue et la menace terroriste internationale.

La trop lente pénétration de ces problématiques dans la réflexion des experts de l'industrie se reflète dans les critères retenus, leur hiérarchie et les filières qu'ils conduisent à promouvoir.

- La non prolifération reste un objectif affiché, mais considéré comme acquis. La crise du système de contrôle de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) face aux évolutions en Corée du Nord, en Irak ou au Brésil, ne se reflète pas dans la sélection des filières dont cinq sur six développent l'option, par nature proliférante, d'un « cycle » du plutonium.
- Le risque d'accident majeur, révélé par Three Miles Island et surtout Tchernobyl – ce dernier postérieur à la conception de la plupart des réacteurs exploités dans le monde aujourd'hui – concentre les efforts de ce que l'industrie dénomme 3ème génération, qui désigne des versions avancées des filières actuelles, dont fait partie l'EPR d'Areva. La 4ème génération ne vise pas en soi une diminution supplémentaire de la probabilité d'accident, considérant que ce niveau revient, même si on ne peut le démontrer formellement, à rendre inutile toute mesure de protection hors du site.
- Les questions du combustible et des déchets, pour lesquelles la 3ème génération n'apporte aucune rupture, sont au cœur des réflexions sur la Génération IV. Il s'agit à la fois de promouvoir une utilisation plus efficace des matières nucléaires et de réduire drastiquement l'inventaire final des déchets. Malgré l'échec patent de Superphénix et du retraitement du combustible (seuls EDF en Europe et les exploitants japonais restent aujourd'hui engagés dans cette voie), quatre des six concepts incluent des réacteurs à neutrons rapides, et cinq sur six reposent sur un cycle fermé, visant au « recyclage » non seulement du plutonium mais de l'ensemble des actinides.
- Enfin, cette sélection de filières qui impliquent une gestion plus complexe d'installations, d'entreposages et de transports de matières hautement dangereuses en plus grand nombre reflète l'absence de prise en compte de la menace terroriste, qui n'apparaît pas dans les critères initiaux – rédigés avant le 11 septembre 2001 –, même si elle est mentionnée depuis.

Au final, les objectifs de la Génération IV ne sont pas l'expression directe des attentes de la société mais la vision particulière qu'en ont les ingénieurs du nucléaire, centrés aujourd'hui sur le problème des déchets et de la valorisation des matières réutilisables. Si les groupes de travail avaient réuni, au lieu des 100 meilleurs experts de l'industrie nucléaire, les 100 meilleurs experts mondiaux du terrorisme, il est probable qu'ils auraient produit une vision très différente du nucléaire du futur – voire de l'avenir du nucléaire. Ils auraient en fait, comme les experts du développement, de l'environnement ou de la finance, été associés à la réflexion.

L'industrie nucléaire a reproduit ici le processus sur lequel elle s'est appuyée dans les années 60 et 70, où ses orientations technologiques ont été décidées par ses experts, convaincus de cerner les critères d'acceptabilité du nucléaire et d'apporter les réponses technologiques adéquates. Les mêmes causes provoquant les mêmes effets, les filières développées sous la bannière Génération IV – du reste pour l'essentiel inspirées de concepts déjà essayés dans les années cinquante – se trouveront confrontées au même problème de légitimité.

Quelle efficacité?

La légitimité n'est en tout état de cause pas la seule question à poser. Si tout le monde s'accorde sur le très faible niveau d'émissions de gaz à effet de serre engendrées par la production de kilowatt-heures nucléaires, l'efficacité de cet outil pour réduire les émissions ne se mesure pas selon ce seul critère. La production nucléaire s'insère en effet toujours dans un système énergétique global dont seule la diminution du total des émissions compte – en comparaison avec d'autres options.

La question est beaucoup moins simple qu'il n'y paraît, et les situations actuelles démontrent d'importantes limites à l'efficacité du nucléaire contre les émissions. Ainsi les Etats-Unis, producteurs de 30 % de l'électricité nucléaire dans le monde, sont aussi les émetteurs de plus de 25 % des émissions mondiales de carbone, sans perspective de diminution. La France, qui avec près de 80 % de son électricité d'origine nucléaire pousse aussi loin que possible cette solution, n'apparaît pas pour autant en mesure de stabiliser ses émissions, comme le Protocole de Kyoto l'y engage, entre 1990 et 2010 – sans parler de l'objectif de réduction d'un facteur 4 des émissions à l'horizon 2050.

Ces chiffres ne constituent pas une démonstration : en particulier, l'évolution des émissions est très contrastée dans les pays qui n'ont pas recours au nucléaire, montrant que les déterminants fondamentaux sont ailleurs que dans ce choix de filière. Ils suggèrent cependant une additionnalité, et non une substitution, du nucléaire et des énergies fossiles. Le développement de ces

énergies dans la seconde moitié du siècle dernier montre d'ailleurs que le nucléaire a moins freiné la croissance des énergies fossiles au niveau mondial qu'accéléré l'explosion de la consommation d'énergie, apparaissant comme une composante, et non une alternative, de ce mode de développement trop gourmand en énergie.

Plus finement, deux phénomènes limitent considérablement l'efficacité du nucléaire pour une baisse à long terme des émissions dans les systèmes énergétiques actuels :

- d'une part, l'effet de substitution du nucléaire est aujourd'hui limité par des contraintes de différents ordres à une partie relativement faible de l'ensemble des sources d'émissions de gaz à effet de serre, c'est-à-dire la production d'électricité en base;
- d'autre part l'introduction du nucléaire, qui abaisse le palier des émissions par substitution d'une partie de la production fossile, s'accompagne en général, par une série d'effets structurels et systémiques, d'un effet "rebond" sur d'autres pans du système énergétique.

Quelle pertinence?

La réponse de l'industrie nucléaire est d'étendre le champ du nucléaire, pour augmenter l'effet de substitution : ainsi les concepts de la Génération IV sont fortement axés sur la possibilité d'utiliser la chaleur produite pour des process industriels, pour la production d'hydrogène (qui se développerait massivement pour les transports), le dessalement ou même la gazéification du charbon. Outre qu'il est à craindre que l'effet « rebond » sur les émissions non substituées augmente en proportion, la pertinence d'une telle stratégie doit être examinée dans sa globalité.

Pour réduire massivement les émissions de gaz à effet de serre, face aux scénarios qui reposent sur une politique énergétique en rupture, combinant le développement des renouvelables avec des efforts non seulement d'efficacité énergétique mais aussi de sobriété sur les usages de l'énergie (voir par exemple le scénario développé pour l'association NégaWatt pour la France), une stratégie s'appuyant sur le nucléaire représenterait une rupture non moins importante.

Il s'agirait en effet, pour atteindre les niveaux d'émissions jugés « soutenables », de multiplier d'un facteur 10, voire davantage, la capacité du parc actuel qui compte environ 440 réacteurs. Le problème de maîtrise des risques, comme celui du niveau d'investissement à consentir et des infrastructures nécessaires deviennent d'une toute autre ampleur lorsqu'il s'agit de raisonner sur 4.000, 5.000 voire 7.000 réacteurs répartis dans le monde, dont la moitié environ devraient être construits avant l'avènement de la Génération IV. La faisabilité d'un tel développement, le risque d'échec et ses conséquences, les modes d'organisation que cela suppose doivent être évalués, et surtout comparés selon les mêmes critères aux scénarios dits "alternatifs", qui s'avèrent globalement dans cette comparaison moins périlleux et plus acceptables.

Face à l'effet de serre, l'industrie nucléaire n'offre pas une solution de continuité. Cette notion apparaît pourtant comme une des clés du succès de son discours : l'utopie technologique qu'elle nous propose n'est pas, contrairement à une vision plus traditionnelle du progrès scientifique et technique comme vecteur de transformation de la société – qui suscite aujourd'hui beaucoup de méfiance –, une utopie du changement. Au contraire, les promesses de l'industrie nucléaire dessinent fondamentalement une continuité ; à l'opposé des discours sur l'indispensable sobriété

énergétique, elles offrent une justification pour ne pas remettre en cause les habitudes de consommation.

En conclusion: un double danger

Mais cette "4ème génération", dans son développement même, n'est rien d'autre que l'avatar moderne de l'utopie fondatrice du nucléaire – le rêve d'une énergie inépuisable, sûre et pas chère –, paradoxalement ressuscitée par l'échec du parc nucléaire actuel à tenir ces mêmes promesses.

Pour porter cette utopie, l'industrie nucléaire s'emploie à incarner une solution unique et globale au problème majeur des politiques énergétiques, le changement climatique, en esquivant les questions de légitimité, d'efficacité et de pertinence qui se posent si on considère l'ordre de grandeur du développement du nucléaire que cette stratégie suppose. Peu importe d'ailleurs que cette perspective soit irréaliste, car l'enjeu est ailleurs : il s'agit à travers ce discours de maintenir une perspective suffisante pour enrayer le déclin et assurer la survie de l'industrie nucléaire.

L'utopie technologique sous-jacente est dès lors porteuse d'un double danger. Face au changement climatique, elle conforte d'abord l'idée qu'une rupture de politique énergétique – et à travers elle de mode de vie – est peut-être évitable ; elle distord l'évaluation comparée des alternatives et contribue ainsi à retarder le transfert de priorité, et de moyens, vers des solutions plus tangibles. Mais elle nous entraîne surtout, face aux risques nucléaires, dans une irresponsable fuite en avant, où leur augmentation certaine à court terme serait le prix à payer pour leur improbable solution à long terme.

7.3.3. Fusion nucléaire : le projet ITER (d'après le réseau « Sortir du nucléaire »[21])

Après le nucléaire de fission, les nucléophiles nous font miroiter l'avenir énergétique radieux qu'offrirait la fusion thermonucléaire contrôlée. Présentée par ses promoteurs comme écologique et sans déchets radioactifs, la fusion utiliserait deux formes d'hydrogène : le Deutérium (qui existe dans la nature) et le Tritium, (radioactif, qu'il faut fabriquer). Le mélange, contenu dans un «récipient» magnétique, doit être porté à une température de 100 millions de degrés pour que la réaction soit amorcée.

Ces techniques sont très loin d'être au point. Elles consomment une énergie considérable. De plus, contrairement à ce qui est souvent annoncé, la filière produirait des quantités importantes de radioactivité à ses différents stades. Si la fusion arrive un jour à produire de l'électricité, ce ne sera sûrement pas dans des conditions économiques, écologiques et industrielles acceptables.

Pour toutes ces raisons le Réseau «Sortir du nucléaire» est opposé au projet international ITER (réacteur expérimental de fusion thermonucléaire), pour lequel le site français de Cadarache (Bouches-du-Rhône) a été choisi.

ITER ne produira jamais d'électricité

Tout à fait officiellement, le seul but visé par les scientifiques est d'essayer de maîtriser une réaction de fusion nucléaire pendant... 400 secondes[22]. Les lignes électriques THT (Très haute

tension) qui vont relier ITER au réseau EDF vont être construites uniquement pour alimenter ITER en électricité.

Or, tout le monde sait bien que le pétrole et l'uranium seront épuisés dans 50 ans maximum. Iter est donc une erreur majeure d'investissement : il faut mettre immédiatement l'argent dans les plans d'économies d'énergie et de développement des énergies renouvelables.

ITER produira des déchets nucléaires

Contrairement à ce qu'affirme la propagande officielle (une énergie «propre et illimitée»), le réacteur ITER produira des déchets nucléaires. Le Prix Nobel de physique 2002, le japonais Masatoshi Koshiba, a expliqué dès le 10 mars 2003 dans une lettre envoyée au premier ministre Koizumi que : « *Le réacteur nucléaire ITER, qui brûle du tritium, est extrêmement dangereux du point de vue de la sûreté et de la contamination de l'environnement. (...) Les neutrons qui seront produits dans ITER ont une énergie plus de dix fois supérieure à celle d'un réacteur de fission et la radioactivité des murs du dispositif et des matériaux de construction produiront 40.000 tonnes de déchets nucléaires.* »

Ces déchets resteront dangereux pendant plusieurs centaines d'années. C'est certes moins long que pour la fission nucléaire, mais les déchets nucléaires d'ITER seront eux aussi légués aux générations futures.

ITER mettra les riverains en danger

Contrairement à ce que prétend la propagande officielle (une énergie «sûre et propre»), le réacteur ITER mettra en danger les riverains.

Le Prix Nobel de physique 2002, le japonais Masatoshi Koshiba, a expliqué dès le 10 mars 2003 dans une lettre envoyée au premier ministre Koizumi que : « *Le réacteur nucléaire fondé sur ITER, qui brûle du tritium, est extrêmement dangereux du point de vue de la sûreté et de la contamination de l'environnement. (...) Les 2 kg de tritium qui circuleront dans ITER pourraient tuer 2 millions de personnes. Le flux de radiations de 2 kg de tritium est pratiquement du même niveau que celui produit par l'accident de Tchernobyl.* »

ITER : la démocratie irradiée

La décision du pouvoir français et européen d'accueillir le réacteur ITER à Cadarache est un véritable coup de force antidémocratique. A aucun moment les citoyens français, et de façon générale européens, n'ont été consultés pour savoir s'ils voulaient financer massivement une expérience aussi controversée qu'ITER.

Le «débat public», organisé après les prises de décision, a été une parodie de démocratie jouée... devant les représentants du Commissariat à l'énergie atomique, transportés en bus à chaque étape pour tenter (vainement) de remplir les salles.

Les contribuables européens en général, et français en particulier, vont aussi financer, outre ITER, les dédommagements substantiels offerts au Japon pour obtenir son désistement. Par ailleurs, le Réseau «Sortir du nucléaire» rappelle qu'un accord international n'entre en vigueur que lorsqu'il a été ratifié par un certain nombre de pays signataires.

Bien entendu, la ratification se fera facilement dans certains pays où le pouvoir est autoritaire voire dictatorial (Chine, Russie). Par contre, il est clair que la ratification de l'accord sur ITER n'ira pas de soi dans certains pays et en particulier aux USA : même s'il ne s'agit (hélas) pas de positions antinucléaires, le Sénat des USA semble extrêmement réticent par rapport à ITER.

David Goldston, leader des membres de la Commission scientifique du Congrès, a confié en mai 2005 à la revue New Scientist : « *La participation des Etats-Unis dans le projet ITER est peu vraisemblable.* »

Est-il raisonnable d'y consacrer tant de moyens ?

Au vu des nombreuses incertitudes techniques, économiques et environnementales, il y a donc lieu de s'interroger sur l'opportunité de consacrer tant de moyens financiers à un projet dont la technologie n'est susceptible de produire de l'électricité à grande échelle que – dans le meilleur des cas – d'ici la fin du siècle. Il va de soi que les budgets accordés aujourd'hui à la fusion nucléaire le sont au détriment de technologies dont on sait aujourd'hui qu'elles pourront à moyen terme répondre à nos besoins : les sources d'énergie renouvelables.

Notes

1 *Pour la Belgique : l'usine Franco-belge de fabrication du combustible (FBFC) à Dessel.*

2 *De nombreuses informations présentées dans ce chapitre sont extraites du document « Vieillissement des centrales nucléaires et sécurité – Les dangers de la prolongation de la durée de vie des réacteurs belges », publié par Inter-Environnement Wallonie, le Bond Beter Leefmilieu, Greenpeace, WWF et les Amis de la Terre.*

3 *www.facts-on-nuclear-energy.info/bilder/en_3b.jpg*

4 *Reeves H.,* Mal de Terre, *Ed. du Seuil, 2003.*

5 *Meyer,N., D.Rieck & I.Tweer,* Alterung in Kernkraftwerken, *Greenpeace, 1996, revised version 1998.*

6 *Meyer,N., D.Rieck & I.Tweer,* Alterung in Kernkraftwerken, *Greenpeace, 1996, revised version 1998.*

7 *La fabrication d'une bombe atomique nécessite quelques kilos d'U235 ou de P239 purs.*

8 *L'UHE peut servir à la fabrication d'une arme nucléaire ou d'une «bombe sale» qui serait constituée de matériaux radioactifs dispersés par des explosifs conventionnels.*

10 *House of Commons,* Environmental Audit Committee, Keeping the lights on : Nuclear, Renewables and Climate Change, Sixth Report of Session 2005–06, Volume *I – March 2006.*

11 *Pour paraphraser l'ONDRAF, l'organisme national de gestion des déchets radioactifs, dans une brochure de vulgarisation.*

12 *Valeur permettant de « banaliser » un site, un déchet.*

13 *Les compacts de l'info,* La fin du nucléaire ?, *Casterman, 1997.*

14 *Van den Noortgate G.,* La Belgique nucléaire, *1996.*

15 *La production de déchets radioactifs en Belgique s'élève à 1kg par personne et par an, dont 50 à 100g de déchets de « Catégorie C ».*

16 *Van den Noortgate G.,* La Belgique nucléaire, *1996.*

17 *Bourry C.*, L'impasse nucléaire, *2002.*

18 *Charpin J-M., Dessus B., Pellat R.*, Étude économique prospective de la filière électrique nucléaire – Rapport au Premier ministre, *2000.*

19 *Quotidien Le Monde, 8 août 2003.*

20 *Ce chapitre est extrait de l'article : Marignac Y.*, Nucléaire de « 4e génération », l'utopie comme stratégie de survie, *cahiers Global Chance n°20, 2005. http://www.agora21.org/global-chance/GC-N-20.pdf*

21 *Ce chapitre est extrait d'un article du Réseau « Sortir du nucléaire » : ITER : l'arnaque, http://www.sortirdunucleaire.org.*

22 *Cfr. site internet officiel du projet : http://www.itercad.org/old/intro_fr.html*

8. DÉNOMINATIONS ET ABRÉVIATIONS

AEN : Agence pour l'énergie nucléaire (*http://www.nea.fr*)

AERE : Association pour les énergies renouvelables et l'écologie (*http://www.aere-asso.com*)

AIE : Agence internationale de l'énergie (*www.iea.org*)

AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique (*http://www.iaea.org*)

AMPERE : Commission pour l'analyse des modes de production de l'électricité et le redéploiement des énergies (*http://mineco.fgov.be/energy/ampere_commission/home_fr.htm*)

APERe : Association pour la promotion des énergies renouvelables (*www.apere.org*)

BAU : Business as usual

BfP : Bureau fédéral du plan (*http://www.plan.be*)

CCNUCC : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (*http://unfccc.int*)

CEA : Commissariat à l'énergie atomique (*http://www.cea.fr*)

CFDD : Conseil fédéral du développement durable (*http://www.belspo.be/frdocfdd*)

CNRS : Centre national de la recherche scientifique (*http://www.cnrs.fr*)

CREG : Commission de régulation de l'électricité et du gaz (*http://www.creg.be*)

CSTB : Centre scientifique et technique du bâtiment (*www.cstb.fr*)

CWAPE : Commission wallonne pour l'énergie (*http://www.cwape.be*)

DEFRA : Department for environment, food and rural affairs (*http://www.defra.gov.uk*)

DLR : Deutschen zentrum für luft- und raumfahrt (Centre allemand d'Aérospatiale, *http://www.dlr.de*)

EDORA : Fédération de l'électricité d'origine renouvelable et alternative (*http://www.edora.be*)

EIA : Energy information administration (*www.eia.doe.gov*)

EPR : European pressurized reactor (réacteur européen à eau pressurisée, dit de « 3ème génération »)

FPE : Fédération professionnelle des producteurs et distributeurs d'électricité de Belgique (*www.synergrid.be*)

GAO : US government accountability office (*http://www.gao.gov*)

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (*http://www.ipcc.ch*)

ICEDD : Institut de conseil et d'études en développement durable (*http://www.icedd.be*)

IEW : Inter-environnement wallonie (*www.iewonline.be*)

IIASA : International institute for applied systems analysis (*http://www.iiasa.ac.at*)

NDA : UK nuclear decommissioning authority (*http://www.nda.gov.uk*)

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques (*http://www.oecd.org*)

ODE Vlaanderen : Organisatie voor duurzame energie Vlaanderen (*http://www.ode.be*)
PIB : Produit intérieur brut
ppmv : Part par million, en volume
PWR : Pressurized water reactor (réacteur à eau pressurisée)
S&P : Standard & Poors (*www.standardandpoors.com*)
SER : Source d'énergie renouvelable
STEM : Studiecentrum technologie, energie en milieu - Universiteit Antwerpen (*www.ua.ac.be*)
Tep : tonne equivalent pétrole
TGV : Turbine gaz-vapeur
TVO : Teollisuuden voima oy *(http://www.tvo.fi*)
UHE : Uranium hautement enrichi
UIC : Uranium information center (*http://www.uic.com.au*)
WADE : World alliance for decentralised energy(*http://www.localpower.org*)
WISE : World information service on energy (*http://www10.antenna.nl/wise*)
WNA : World nuclear association (*http://www.world-nuclear.org*)

9. BIBLIOGRAPHIE

AEA, Technology/Imperial College Centre for Energy Policy and Technology, *Options for a low carbon future* – a report produced for the Department of Trade and Industry (DTI), the Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) and the Performance and Innovation Unit (PIU), 2002.

AEN, *« Livre Rouge » Uranium 1999 – Ressources, Production and Demand*, 1999.

AERE, *Etude chauffage électrique en France*, 2002.

AGORIA, *Le nucléaire en question*, 2002

AIE, *World Energy Outlook*, 2004.

AIE, *Belgium In-depth review*, 2005.

AIE, *Cool appliance : Policy strategies for energy efficient homes*, 2003.

AIE, Energy and the Environment, *Transport Systems Responses in the OECD - Greenhouse Gas Emissions and Road Transport Technology*, 1994.

AIE, *Key World energy statistics*, 2005.

AIE, *World Energy Investment Outlook*, 2003.

AIE, *World Energy Outlook*, 2006.

AIE, *World Energy Outlook*, 2006.

AIEA, *Analysis of Uranium Supply to 2050*, 2003

AIEA, *Nuclear power and climate change*, 2003.

Altener, *The impact of renewables on employment and economic growth*, 1997.

APERE, *Mémorandum pour les énergie renouvelables 2004-2009*, 2004.

Arbeid & Milieu, *La sortie du nucléaire – raisons et conséquences*, 2001.

Barbé Luc, *Les coûts du nucléaire*, Etopia, 2005.

Bauen A., Woods J., *Bioelectricity Vision: Achieving 15% of Electricity from Biomass in OECD Countries by 2020*, Imperial College London, 2004.

Belgian Federal Science Policy Office, *SPDDII - Optimal offshore energy developments in Belgium*, 2004.

BfP et Econotec, *Evaluation de l'impact des mesures fiscales et non fiscales sur les émissions de CO2*, 2001.

BfP, *Long term energy and emissions' projections for Belgium with the PRIMES model, Addressed to the COMMISSION ENERGY 2030*, 2006.

BfP, *Planning Paper 88 – Perspectives énergétiques 2000-2020*, 2001.

BfP, *Planning paper 95 – Perspectives énergétiques pour la Belgique à l'horizon 2030*, 2004.

BfP, *Politique climatique post 2012 : analyse de scénarios de réduction d'émissions aux horizons 2020 et 2050*, 2006.

BfP, *Quelle énergie pour un développement durable ?*, 2005.

Bonduelle A. et Lefèvre M., *Eole ou Pluton ?*, Institut Detente, 2003.

Bourry C., *L'impasse nucléaire*, 2002.

Cabooter Y., Dewilde L., Langie M., *Een windplan voor Vlaanderen; een onderzoek naar mogelijke locaties vor windturbines*, VUB, stromingmechanica, ODE Vlanderen.

CCE, *Avis relatif à l'efficacité énergétique dans le secteur du logement*, 2005.

Centre Hélios, Enjeux-Energie Vol. 3, 2004

CFDD, *Avis cadre sur les obstacles à la mise en œuvre des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre économiquement rentables (mesures «no regret»)*, 2003.

CGEE, *Programme national d'équipement des moyens de production et de grand transport d'énergie électrique*, 1995.

Charpin J.-M., Dessus B., Pellat R., *Étude économique prospective de la filière électrique nucléaire,* Rapport au Premier ministre, 2000.

Colenutt D. and al., *Economics of nuclear power – A Report to the SDC*, University of Sussex, NERA Economic Consulting, 2005.

Commission AMPERE, *Rapport principal*, 2000.

Commission Energy 2030, *Belgium's Energy Challenges Towards 2030 – Preliminary Report*, 2006.

Commission européene, *Plan d'action pour l'efficacité énergétique : réaliser le potentiel*, 2006.

Commission européenne (DGTREN), *TERES II - The European Renewable Energy Study*, 1997.

Commission européenne, *Livre Blanc – Energie pour l'avenir : Les sources d'énergie renouvelables*, 1997.

Commission européenne, *Livre vert sur l'efficacité énergétique – comment consommer mieux avec moins*, DG TREN, 2005.

Commission européenne, *Livre vert sur la sécurité d'approvisionnement*, 2001.

Commission européenne, Special *Eurobarometer – Attitudes towards Energy*, 2006.

Commission nationale Climat, *Quatrième communication nationale sur les changements climatiques en vertu de la CCNUCC*, 2006.

Communautés européennes, *Directive 2002/91/CE du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments*.

COOL project (Climate options for the long term), *The national dialogue - Results and recommendations. Synthesis Report*, 2001.

Cour des Comptes, *Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs* , Rapport au Président de la République (France), 2005.

CREG, *Etude relative à la régulation nécessaire en vue de réaliser des baisses tarifaires possibles au sein des différentes composantes tarifaires de l'électricité,* 2006.

CREG, *Le prix de l'électricité par composante tarifaire, conférence de presse*, 5 juillet 2006.

CREG, *Programme indicatif des moyens de production d'électricité 2005-2014*, 2005.

CREG, *Proposition de Plan indicatif d'approvisionnement en gaz naturel 2004-2014*, 2004.

CREG, *Rapport annuel 2004*, 2005.

CREG, *Rapport annuel 2005*, 2006.

Czarnes R., *La canicule a coûté environ 300 millions d'euros à EDF*, Les Echos, 1er octobre 2003.

De Groote W. et al., *Een toekomst zonder atoomenergie in België : opties en gevolgen*, Universiteit Antwerpen (STEM), 1995.

De Keuleneer E., *A propos des mesures relatives au marché de l'électricité,* L'Echo, 17 juin 2006.

De Keuleneer E., *Investments and competitive environment*, journée d'études "L'énergie nucléaire au XXIème siècle – Promesses et réalités», Parlement fédéral, 19 octobre 2006.

De Lovinfosse I. et alii, *Renewable electricity policy in Belgium*, UCL, 2003.

Dechamps S., *Pour réduire le prix de l'énergie belge, il faut songer au nucléaire, dit la CREG*, L'Echo, 6 juillet 2006.

DEFRA, Energy Efficiency: *The Government's Plan for Action*, 2004.

Desgain X., *Comparaison des prix des sources d'électricité par rapport au nucléaire*, Etopia, 2006.

Desgain X., Negro O., Electricité 2030 : *Respecter Kyoto I & II sans le nucléaire, c'est possible!*, Etopia, 2005.

Dessus B. et Gassin H., *So Watt ? L'énergie : une affaire de citoyens*, L'aube, 2005.

Dessus B., *L'alibi politique des utopies technologiques*, Le Monde diplomatique, janvier 2005.

Deutsches Windenergie-Institut, *Offshore wind energy in the North Sea*, 2000.

DLR, *Révolution énergétique : un futur durable aussi pour la Belgique*, 2006.

DTI, *Long-term reductions in greenhouse gas emissions in the UK* – a report of an Interdepartmental Analysts Group, 2002.

Ecolo, *Climat et générations futures : On s'y met tous sérieusement ?*, dossier de presse, 2004.

Edora et ODE-Vlaanderen, *Comments on Preliminary Report of Commission «Energy 2030»*, 2007.

Edora, *Electricité renouvelable en RW, retombées en terme d'emplois et d'investissements générés*, 2004.

EIA, *International Energy Annual 2004*.

Enquete Commission of the German Parliament, *Report on Sustainable Energy Supply Against the Background of Globalisation and Liberalisation – Summary of the final report*, 2002.

E-STER, *Potential of short-term energy efficiency and energy saving measures in Belgium*, 2005.

Euratom Supply Agency, *Annual report*, 2002.

Eurendel, *Energy R&D spending report*, 2004.

EurObserv'ER, *Baromètre Européen des énergies renouvelables : 5ème bilan*, 2005.

EurObserv'ER, *Le Baromètre éolien*, Systèmes solaires n°171, 2006.

EurObserv'ER, *Le Baromètre photovoltaïque*, Systèmes solaires n°172, 2006.

Eurostat, *Statistiques de l'électricité – Données provisoires pour 2005*, 2006.

Eurostat, *Statistiques en bref – La production combinée de chaleur et d'électricité a représenté 9,9% de la production totale de EU-25 en 2002*, 2006.

EWEA, *Wind Force 12*, 2003.

Forum nucléaire belge, Actualité nucléaire n°52, juillet 2003.

FPE, *statistiques 2004*, 2005.

FPE, *Rapport annuel*, 2004.

Framatome, déclaration au journal Le Monde, 17 mai 2003.

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, *Gestion de la demande d'énergie, dans le cadre des efforts à accomplir par la Belgique pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre pour le Ministère des Affaires économiques*, 2003.

Froggatt A. & Schneider M., *The world nuclear industry status report 2004*, 2004.

GAO, *Nuclear regulation : NRC needs more effective analysis to ensure accumulation of funds to decommission nuclear power plants*, 2003.

GIEC, *Bilan 2001 des changements climatiques – Rapport de synthèse*.

Glorieux E., Staes B., *Geldtransfers naar de nucleaire sector in België*, 2005.

Greenpeace, *Decentralising power: an energy revolution for the 21st century*, 2005.

Greenpeace/European photovoltaic industry association, *Solar Generation*, 2001.

Groupe de travail sur la politique climat, initiative du groupe de réflexion sur la politique de l'énergie, *Climate change – Solution in sight : A Dutch perspective*, 2000.

House of Commons Environmental Audit Comittee, *Keeping the lights on : nuclear, renewables and climate changes*, Vol. I, 2006.

House of Commons Environmental Audit Committee, *Keeping the lights on: Nuclear, Renewables and Climate Change, Sixth Report of Session 2005–06*, Volume I, 2006.

ICEDD (Institut Wallon), *La consommation électrique d'un ménage URE*, 2004.

ICEDD, *Le défi à la lumière des chiffres et des bilans*, 2006.

ICEDD, *Les coûts énergétiques des PME et des indépendants*, cité par la Commission Ampère dans son rapport, 2000.

IEW, BBL et al., *Vieillissement des centrales nucléaires et sécurité – Les dangers de la prolongation de la durée de vie des réacteurs belges*, 2006.

Keepin B. and Kats G., *Greenhouse Warming : comparative analysis of nuclear and energy efficiency abatement strategies*, Energy Policy, vol. 16, no. 6, 1988.

L'Echo, 20 novembre 2006.

Le Monde, 8 août 2003.

Le Soir, 22 juillet 2006.

Les compacts de l'info, *La fin du nucléaire ?*, Casterman, 1997.

Les Echos, 1er octobre 2003.

Leurs B.A. et al., *Environmentaly harmful support measures in EU Member States*, Report for DG Environment, , 2003.

Lhomme S., *La crise de l'énergie et les changements climatiques...condamnent le nucléaire*, Réseau Sortir du Nucléaire, 2006.

Lovins A., Nuclear power: *economics and climate-protection potential*, Rocky Mountain Institute, 2005.

Marignac Y., *L'obstination française - Energie, La France s'accroche au nucléaire*, Alternatives Economiques n° 203, 2002.

Marignac Y., *Nucléaire de « 4e génération », l'utopie comme stratégie de survie*, cahiers Global Chance n°20, 2005.

Mathes F., *Nuclear Energy and Climat Change*, Heinrich Boell Stiftung, 2005.

Meyer,N., D.Rieck & I.Tweer, *Alterung in Kernkraftwerken*, Greenpeace, 1996, revised version 1998

Milborrow D., *Goodbye gas and squaring up to coal*, Windpower Monthly, 2005.

Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (DGEMP), *Rapport annuel 2003 – énergies et matières premières*, 2004.

Ministerium fûr Umwelt, Naturschultz und Reaktorsicherheit, *Statistik 2003*, 2004.

MIT (Massachusetts Institute of Technology), Nuclear Power, 2003.

NERA Economic Consulting and University of Sussex, *Economics of nuclear Power*, Report to the UK Sustainable Development Commission, 2006.

OCDE, *Electricity Supply in the OEC*D, 1992.

OCDE, *Uranium : Ressources, production et demande*, 1997.

ODE Vlaanderen (Organisatie voor duurzame energie), *De mogelijkheden en belemmeringen voor Hernieuwbare energie in Vlaanderen*, 1997.

Öko-Institut, *Comparing greenhouse-gas emissions of nuclear and alternative energy options from a life-cycle perspective*, 1997.

Öko-Institut, *Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspectiv*e, 2006.

Pagliano L. et al., *The framework for control of the consumption trends and energy management activities in Italy*, Politecnico di Milano, 2002

Palmers G. et alii, *Renewable enrgy evolution in Belgium 1974-2025*, SPSD, 2004.

Paulitz H., *Facts on nuclear energy*, 2004.

PNUD, *The human consequences of the Chernobyl Nuclear accident*, Unicef, 2002.

Price et al., *Uranium production and demand. Timely mining decisions will be needed*, NEA News n°22.1, 2004.

Prognos AG, *Ergänzungen zu den Energieperspektiven 1990-2030: Scenario IV: verschärfte und auf Nachhaltigkeit ausgerichtete CO2-Reduktion (Synthesebericht) (Compléments aux perspectives énergétiques 1990-2030: Scénario IV: réduction intensifiée de CO2 orientée vers la durabilité - rapport de synthèse*, 1997).

Radanne P., *Energies de ton siècle. Des crises à la mutation*, Ed. Lignes de repères, 2005.

Reeves H., *Mal de Terre,* Ed. du Seuil, 2003.

Région wallonne, *Plan pour une maîtrise durable de l'énergie*, 2002.

Renner M., *Working for the environnement : a growing source of jobs*, Worldwatch Paper 152, Worldwatch Institute, 2000.

Réseau Sortir du nucléaire, *Un courant alternatif pour le Grand Ouest – Quelles alternatives au réacteur EPR ?*, 2006.

Roth C., Steiner A., *A l'affût de l'énergie grise*, SIGA/ASS, 1999.

s.n., *La production d'électricité se complique*, La Revue Durable n°, 2005.

Schneider M., *Changements climatiques et nucléai*re, 2002.

Smith Ph., *The energy efficiency of nuclear power*, Groningen University, 2003.

SPF Economie et Energie, *Bilan Global 2004*, 2005.

Standards&Poors, *Credits aspects of north american and european nuclear power*, 2006.

STEM (Studiecentrum Technologie, Energie en Milieu), *Ebauche d'une politique en matière de consommation d'électricité en vue d'un développement durable*, 1992.

STEM, *Les répercussions du démontage graduel des centrales électriques nucléaires belges à partir de 2014 sur la politique fédérale du climat*, 2000.

Storm van Leeuwen & Smith, *Can nuclear power provide energy for the future; would it solve the CO2 emission problem?*, Groningen University, 2004.

Storm Van Leeuwen, Smith, *Nuclear power : the energy balance*, Groningen University, 2005.

The Australia Institute, *Long-term greenhouse gas scenarios – a pilot study of how Australia can achieve deep cuts in emissions*, Hal Turton, Jinlong Ma, Hugh Saddler, Clive Hamilton, Discussion paper n° 48, 2002.

Thomas S., *The economics of nuclear power*, Heinrich Boll Stiftung, 2005.

Tuddenham M., *Que serait une société sobre en carbone ? Aperçus de programmes et réalisations à l'étranger*, Mission interministérielle de l'effet de serre, 2002.

UIC (Uranium Information Center), *The Economics of Nuclear Power*, Briefing Paper 8, 2006.

UK Energy White Paper, *Our energy future – creating a low carbon economy*, 2003.

United Nations, *The World at Six Billion*, 1999.

Van den Noortgate G., *La Belgique nucléaire*, 1996.

van der Zwaan B., *Nuclear energy : tenfold expansion or phase out?*, Technological Forecasting & Social Change, n°69 (2002), pp. 1545-1554.

VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek), *Externe kosten van de energieproductie*, 2005.

WISE (World Information Service on Energy), *A back door comeback – nuclear energy as a solution for climate*, 2005.

WNA (World Nuclear Association), 30th Annual Symposium, presentation by Haruo Maeda, ITOCHU International, 2005.

Wuppertal Institut für Klima and DLR, *Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland* (Scénarios à long terme pour l'utilisation durable de l'énergie en Allemagne), 2002.

Wuppertal Institute, *Towards a sustainable Energy system: integrating Renewable energy and Energy efficiency is the key*, 2004.

WWF, *Climate change & nuclear power*, 2000.