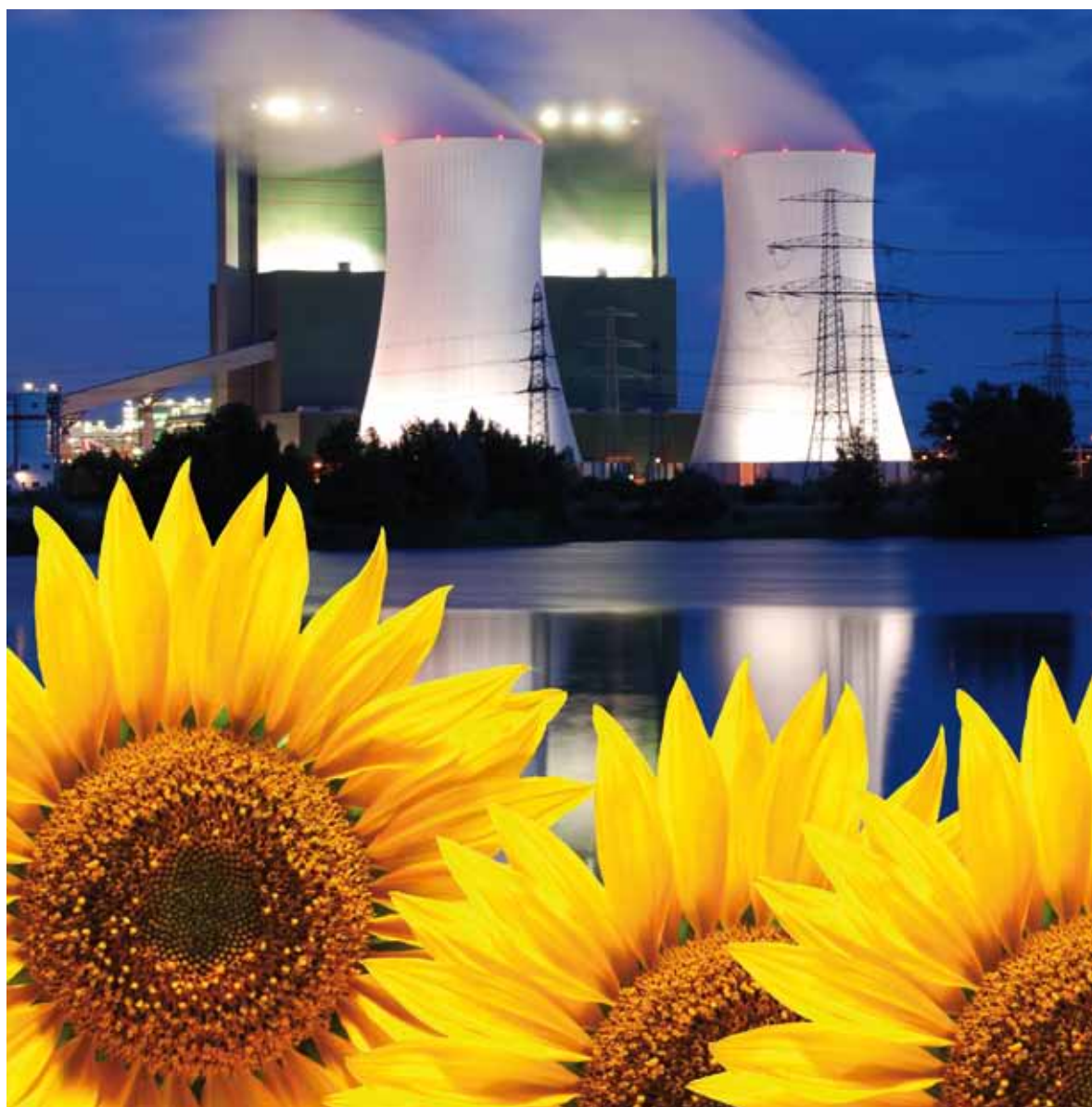


STRATÉGIES POUR UN CHANGEMENT : NUCLÉAIRE VS EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE + RENOUVELABLES

par Antony Froggatt avec Mycle Schneider



HEINRICH BÖLL STIFTUNG
SÉRIE ÉCOLOGIE

Stratégies pour un changement : Nucléaire vs Efficacité énergétique + Renouvelables

par Antony Froggatt avec Mycle Schneider

Commandité par la Fondation Heinrich Böll
Écrit en mars 2010, mis à jour en septembre 2010

*Le pays qui maîtrisera les énergies propres et renouvelables
sera le leader du 21^{ème} siècle*

Le Président Barack Obama, Discours de l'État de l'Union
Février 2010

Avec le support de



GREEN EUROPEAN FOUNDATION

Heinrich-Böll-Stiftung

Publié par Heinrich-Böll-Stiftung, Union européenne, Bruxelles

Imprimé en Belgique, Février 2011

© Les auteurs, Heinrich-Böll-Stiftung, Union européenne, Bruxelles
Tous droits réservés

Adaptation française : Carole Courtoy
Coordination et édition finale : Annett Waltersdorf
Production : Micheline Gutman

Photo de couverture : © thinkstockphotos.com/ Collection Hemera

Certains droits réservés pour les photos des pages 10, 21 et 46. Liés à la licence suivante :
Créative Commons license : <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>

D/2011/11.850/2

Cette publication peut-être commandée à :

Heinrich-Böll-Stiftung, Union européenne, Bruxelles

15 Rue d'Arlon

B-1050 Bruxelles

Belgique

T (+32) 2 743 41 00

F (+32) 2 743 41 09

E brussels@boell.eu

W www.boell.eu

TABLE DES MATIÈRES

Préface : l'énergie nucléaire dans l'impasse	5
Introduction	7
Aperçu général et tendances	10
La demande énergétique et l'impact d'un monde sous contrainte carbone et aux ressources limitées	10
Transformer les options d'approvisionnement énergétique	11
L'historique et le développement escompté des énergies renouvelables	12
Historique et prévisions de développement de l'énergie nucléaire	18
La comparaison du nucléaire et des énergies renouvelables	19
Les questions systémiques	21
Le système centralisé français	21
L'approche allemande : la sortie du nucléaire et le déploiement des renouvelables	23
Les renouvelables espagnols crèvent le plafond?	25
Une approche nouvelle	25
Le calendrier des investissements	28
L'impératif d'une action rapide contre le changement climatique	28
Les délais d'application massive des nouvelles technologies, expériences et attentes	29
L'énergie nucléaire	29
Les énergies renouvelables	32
Les coûts d'opportunité	35
La recherche et le développement	37
Les coûts d'investissement	38
L'infrastructure et les réseaux	41
Mécanismes du marché	43
Conclusions	47
GRAPHIQUES ET TABLEAUX	
Graphique 1 : La croissance de la demande énergétique mondiale	12
Graphique 2 : Nouvel investissement financier dans l'énergie propre par secteur: 2004-2009 (US\$bn)	13
Graphique 3 : Croissance mondiale de l'énergie renouvelable dans le secteur de l'électricité	13
Graphique 4 : Production mondiale d'électricité et d'hydraulique (TWh)	15
Graphique 5 : Capacité cumulative mondiale de l'énergie éolienne (MW)	16
Graphique 6 : Capacité éolienne installée en 2008 (MW)	16
Graphique 7 : Capacité mondiale installée d'énergie solaire thermique concentrée 1980-2007 (MW)	17
Graphique 8 : Production annuelle mondiale d'énergie solaire photovoltaïque 1998-2009 (MW)	17
Graphique 9 : Les réacteurs nucléaires dans le monde et la capacité installée 1954-2010 (GW)	19
Graphique 10 : Injections nettes d'énergies renouvelables et nucléaires au réseau électrique mondial 1990-2010 (en GW)	20
Graphique 11 : La production électrique à partir de combustibles non fossiles	20
Graphique 12 : Émissions de GES liées à la consommation finale en France	23
Graphique 13 : Les prix négatifs de l'électricité à la bourse allemande d'échange d'électricité	25

Graphique 14 : Évolution du coût d'investissement («courbe d'apprentissage») des centrales nucléaires américaines	31
Graphique 15 : Évolution du coût d'investissement («courbe d'apprentissage») des centrales nucléaires françaises	31
Graphique 16 : Courbe d'apprentissage des technologies	33
Graphique 17 : Transfert de l'investissement dans les secteurs d'énergies à faible émission de carbone	36
Graphique 18 : Recherche nationale et budgets de développement dans les pays de l'OCDE (en millions de dollars US)	37
Graphique 19 : Répartition des budgets de recherche et développement de l'énergie de l'OCDE (1974-2008) par technologie	38
Graphique 20 : Estimation des coûts de réduction des émissions de carbone au Royaume-Uni en 2020 (£/tC)	40
Graphique 21 : Estimation Exelon 2010 des coûts d'abattements (en \$US/t de CO ₂)	41
Tableau 1 : Le temps de construction des centrales nucléaires dans le monde	30
Tableau 2 : Estimation des coûts pour 2020 des sources de combustibles produisant de l'électricité	33

PRÉFACE : L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS L'IMPASSE

Les déclarations régulières sur une renaissance de l'énergie nucléaire pourraient donner l'impression que le nombre de nouvelles centrales nucléaires augmente à vive allure et de manière constante. De fait, des statistiques récentes enregistrent 60 centrales en construction, dont la majorité en Chine, et les autres en Russie, en Inde, en Corée du Sud et au Japon. Les États-Unis n'auraient qu'un seul projet concret de construction. Toutefois cette liste (de VGB Power Tech) comporte un grand nombre de projets anciens inachevés et donc de fait de véritables ruines.

D'autre part, on compte actuellement quelques 160 projets de nouvelles centrales nucléaires d'ici 2020, dont 53 rien qu'en Chine et 35 aux États-Unis, suivis de la Corée du Sud et de la Russie. En Europe, la Grande-Bretagne est première de la liste avec huit nouvelles constructions prévues, suivie de l'Italie, de la Suisse, de la Finlande, de la Roumanie et de la Lituanie. La France, qui aimerait doter le monde entier de nouvelles centrales nucléaires, n'en prévoit quant à elle qu'une seule. La majorité des États européens ne nourrissent aucun projet nucléaire concret.

En fait, le nombre des centrales nucléaires dans le monde diminue constamment. Actuellement, 436 réacteurs sont encore en exploitation. Au cours des 15 à 20 prochaines années, on assistera à un plus grand nombre de déconnexions de centrales vieillissantes que de nouvelles mises en service. Les déclarations d'intention ne seront pas toutes concrétisées. Plus les marchés de l'électricité sont ouverts à la libre concurrence, plus les chances de l'énergie nucléaire s'amenuisent.

En outre, les coûts des nouvelles installations explosent. Ainsi le prix de construction de la nouvelle centrale nucléaire d'Olkiluoto en Finlande est déjà passé de trois à quelque 5,4 milliards d'euros, et ce bien que la coque extérieure ne soit pas encore en place. À cela s'ajoutent les problèmes non résolus de l'élimination des déchets et la forte probabilité d'une

défaillance technologique. Aujourd'hui aucun conglomérat énergétique privé ne prendrait le risque de construire une nouvelle centrale sans subventions publiques ni garanties. Il est intéressant de noter que les nouvelles centrales sont avant tout construites là où l'État et l'économie de l'énergie passent une alliance contre-nature.

Jusqu'à aujourd'hui les centrales nucléaires étaient en grande partie financées par des aides publiques. La somme de ces aides en Allemagne s'élève en gros à plus de 100 milliards d'euros et ce traitement de faveur subsiste. Ainsi, avec ces provisions chiffrées en milliards destinées à l'élimination des déchets et au démantèlement des centrales, les compagnies ont à leur disposition une manne financière, libre d'impôts. La responsabilité civile des exploitants est en outre limitée à 2,5 milliards d'euros – une infime fraction de ce que coûterait un accident de gravité moyenne. Finalement, l'énergie nucléaire s'avère être aussi chère que risquée.

Aux arguments d'usage sur l'énergie nucléaire viennent s'en ajouter quelques nouveaux. Premièrement, le danger de prolifération nucléaire est proportionnel au nombre de nouvelles centrales dans le monde entier. Malgré tous les efforts de régulation de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), la limite entre l'usage civil et militaire de cette technologie, n'est pas infranchissable. L'exemple le plus récent en est l'Iran. En fin de compte, nul ne peut être contraint à se soumettre à des contrôles. L'expansion de l'énergie nucléaire fait naître le besoin croissant de construire des installations de retraitement et des surgénérateurs rapides pour produire le combustible nucléaire. Ceci entraîne une amplification de la circulation de plutonium qui elle-même a pour effet de produire d'énormes quantités de matière fissile pouvant servir à la fabrication de bombes : un cauchemar !

Deuxièmement, le prolongement de la durée de vie des centrales nucléaires existantes et plus

encore la construction de nouvelles centrales constitueraient un obstacle majeur au développement des énergies renouvelables. L'affirmation selon laquelle l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables seraient complémentaires est un mythe. Elles doivent non seulement rivaliser pour de piètres capitaux d'investissement et des lignes électriques mais l'exploitation continue et non flexible des centrales nucléaires limite le potentiel de croissance des énergies renouvelables, l'éolien en particulier. Les jours de grand vent et de faible consommation en Allemagne, celui-ci couvre une grande partie de la demande énergétique. Comme dans un futur proche, il y a peu de risque que pour des motifs économiques, la production des centrales existantes (ainsi que celle des grandes centrales au charbon) soit réduite, l'excédent énergétique devra être exporté à perte. Une folie qui ne manque pas de méthode.

Quel que soit l'angle d'approche, il est clair que l'énergie nucléaire n'a pas le potentiel de contribuer de manière décisive à la protection climatique et n'est pas indispensable pour garantir la sécurité d'approvisionnement. C'est le contraire qui est vrai. Ceux qui décident de promouvoir le développement des énergies renouvelables afin qu'elles subviennent à 100% de la demande en électricité, doivent s'opposer à la construction de nouvelles centrales ainsi qu'à l'extension de la durée de vie des plus anciennes. Quoi qu'on en dise, l'énergie nucléaire n'est pas la stratégie de transition adéquate vers l'ère solaire.

Berlin, janvier 2010

Ralf Fücks

(Président de la Fondation Heinrich Böll)

INTRODUCTION

Le 16 février, dans son discours sur l'énergie au Maryland,¹ le Président américain Obama donnait le ton : le futur possible est «celui dans lequel nos voitures hybrides, nos foyers et nos bureaux, énergétiquement efficaces, seront alimentés par de l'électricité renouvelable» et «où nous exporterons une technologie énergétique domestique au lieu d'importer du pétrole étranger». Et pour en arriver là, dit-il, nous devons en faire davantage :

Nous devons investir de manière soutenue dans les biocarburants de deuxième génération et les technologies du charbon propre, et augmenter en même temps la capacité des énergies renouvelables comme le vent et le solaire. Et nous devons également construire une nouvelle génération de centrales nucléaires propres et sûres en Amérique.

Efficacité, énergie renouvelable et énergie nucléaire. Le 9 juin 2009, en accord avec son homologue américain, le président français Sarkozy déclarait : «*Nous allons prendre dans les énergies renouvelables un virage aussi important que le général de Gaulle pour le nucléaire dans les années 1960. Ce n'est pas l'un ou l'autre. C'est l'un et l'autre*».² Sarkozy déclara que pour tout euro dépensé dans le nucléaire, un même euro serait dépensé dans les énergies renouvelables. Il clarifia également l'agenda politique sur la question. La parité de l'investissement doit «préserver un consensus sur le nucléaire et arriver à le faire tolérer par ceux qui y sont opposés».³ La Commission française de l'énergie atomique, connue sous ce nom depuis 65 ans, a été rebaptisée Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives.

L'énergie nucléaire comme «technologie transitoire»? La coalition conservatrice du gouvernement allemand a décidé de prolonger la durée d'exploitation de ses 17 centrales nucléaires en moyenne douze années au-delà des limites définies par la précédente législation d'abandon du nucléaire. Selon l'accord de coalition passé entre les deux partis gouvernementaux, «la part du lion» des profits additionnels de l'entreprise publique provenant de la prolongation de la durée de vie des centrales, sera taxée par le gouvernement et réinvestie dans les énergies renouvelables et en particulier l'efficacité énergétique. La prohibition explicite de toute nouvelle construction nucléaire est restée intacte dans la nouvelle loi. Le gouvernement de la chancelière Angela Merkel et son propre parti étaient divisés sur la question de la mise en œuvre de l'accord. Le ministre de l'Environnement Norbert Röttgen avait déclaré que le défi était de «passer complètement aux énergies renouvelables» et insisté sur le fait qu'il ne connaît «personne dans la coalition qui dit que le nucléaire est notre technologie du futur».⁴ Röttgen souhaitait que la sortie du nucléaire soit effective en 2030 – huit ans plus tard que prévu par le calendrier de la législation actuelle, quand les réacteurs seront âgés d'environ quarante ans et que les énergies renouvelables couvriront 40% de la demande électrique, contre 16% à l'heure actuelle. Le ministre allemand fait remarquer «que les concepts d'une grande quantité d'électricité nucléaire avec une grande quantité d'électricité verte ne sont économiquement pas compatibles».⁵

Compatibles ou non? Quand il s'agit d'analyser les aspects potentiellement complémentaires ou contradictoires des systèmes énergétiques basés soit sur le nucléaire soit sur l'efficacité énergétique + renouvelables, l'Allemagne est vraisemblable-

1 Commentaires du président sur l'énergie à Lanham, dans le Maryland (16 février 2010), <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/remarks-president-energy-lanham-maryland>

2 Le Monde (9 Juin 2009) ; en réalité, ce n'est pas de Gaulle qui a lancé le premier grand programme de centrale nucléaire mais le premier ministre Messmer en 1974.

3 Ibid. Il faut ajouter que le «consensus» sur l'énergie nucléaire n'a jamais été le fait de l'opinion publique mais plutôt un accord entre les principaux partis politiques.

4 Frankfurter Rundschau (19 février 2010), http://www.fr-online.de/in_und_ausland/wirtschaft/debatte_energie_der_zukunft/?em_cnt=2331965&

5 Ibid.

ment le cas le plus intéressant. La Fédération allemande des entreprises communales (VKU) – une puissante association de 1.350 compagnies couvrant la moitié des consommateurs du pays dans les secteurs de l'électricité et du chauffage – est préoccupée par les conséquences d'un retard dans le calendrier d'abandon du nucléaire. Hans-Joachim Reck, son directeur exécutif, a déclaré à la presse⁶ :

Les répercussions négatives sur la concurrence et la conversion du système énergétique vers la décentralisation et les énergies renouvelables sont complètement occultées. [...] il est contre-productif de décourager les entreprises publiques municipales d'investir dans la production énergétique efficace et tournée vers le futur.

La VKU ajouta que les investissements municipaux en faveur de centrales électriques en Allemagne, de l'ordre de 6,5 milliards d'euros, devraient être maintenant réévalués et que même la viabilité des projets déjà mis œuvre était menacée.

Un grand nombre de questions systémiques liées à la compatibilité ou l'incompatibilité d'une approche nucléaire centralisée avec une stratégie efficacité énergétique + renouvelables décentralisée, n'ont pas encore été examinées en profondeur. Quelles conséquences sur le développement du réseau électrique et comment les choix de ses caractéristiques influenceront-ils les stratégies d'investissements dans la production électrique ? Dans quelle mesure la taille unitaire des centrales sera-t-elle coresponsable de surcapacités structurelles et donc d'un manque d'incitation à l'efficacité ? Comment les subventions/subsides gouvernementaux stimuleront-ils la prise de décision à long terme ? Les grandes centrales électriques utilisant des énergies renouvelables reproduiront-elles les mêmes effets systémiques que les grandes centrales à charbon ou nucléaires ?

Ce document fait le point sur la situation et soulève les questions qu'il est urgent d'aborder. Pour être satisfaisante, une politique énergétique doit répondre aux besoins de la population en services énergétiques d'une façon beaucoup plus efficace que par le passé, compte tenu qu'une compétition accrue pour des combustibles fossiles finalement limités, ne peut qu'entraîner une hausse des prix de l'énergie pour tous. Les politiques énergétiques ont trop longtemps eu pour objectif «la sécurité de l'approvisionnement» en pétrole, en gaz et kilowattheures plutôt que l'accès général à des services abordables, fiables et durables comme la cuisson des aliments, la chaleur et le froid ; la lumière ; la communication ; la mobilité ; et la force motrice.

L'issue est connue de tous. Même pour des pays industrialisés aux programmes nucléaires bien établis, comme les États-Unis, la France et le Royaume-Uni, la précarité énergétique est devenue un problème préoccupant qui s'accroît rapidement. Un nouveau sigle anglais, EWD (*Excess Winter Deaths*) fait référence à la surmortalité hivernale. Un projet européen⁷ a révélé que le nombre de gens qui mourraient durant l'hiver parce qu'ils n'avaient pas les moyens de chauffer leurs foyers de manière appropriée, était devenu très important statistiquement. Le taux d'EWD varie de 10% à Paris à 30% à Glasgow. Au Royaume-Uni, on estime que la surmortalité hivernale due à la précarité énergétique touche 40.000 personnes (nouveaux chiffres pour 2009). Dans la France nucléaire, près de huit millions de ménages, environ 28% de l'ensemble, consacrent plus de 10% de leur budget à l'énergie (y compris le transport). Depuis 2005, environ trois millions de familles françaises bénéficient du Tarif de première nécessité (TPN), une autre invention récente octroyant des réductions subventionnées aux familles à bas revenus.

⁶ VKU, communiqué de presse 2/10 (19 janvier 2010).

⁷ *European fuel Poverty and Energy Efficiency*, voir <http://www.precarite-energetique.org/>

Il est clair que dans les pays qui ont opté pour l'énergie nucléaire, celle-ci n'a pas permis un accès généralisé et juste aux services énergétiques. Mais une stratégie nucléaire est-elle réellement en contradiction avec le développement dans le futur d'un service d'énergie propre basé sur l'efficacité + les renouvelables ? Il semble très clairement que cela soit le cas.

Comme le précise le commentaire du Time magazine sur la décision du président Obama sur les garanties d'emprunt au nucléaire : «La générosité extravagante du gouvernement pourrait favoriser une sorte de renaissance nucléaire – mais elle pourrait également contribuer à tuer dans l'œuf des solutions meilleures ou même les empêcher de voir jamais le jour». ⁸

Le nucléaire vs les renouvelables

Amory Lovins⁹ : «L'énergie nucléaire est sans doute la méthode la moins efficace : elle économise du carbone, mais de 2 à 20 fois moins par dollar et de 20 à 40 fois moins par année que ses concurrents performants gagnants.»

Bill Keepin et Gregory Kats¹⁰ : «En ce qui concerne la réduction des émissions de CO₂, aux États-Unis, l'amélioration de l'efficacité électrique est près de sept fois plus rentable que l'énergie nucléaire.»

Environment California¹¹ : «Par dollar dépensé sur la durée de vie de la technologie, l'efficacité énergétique et la co-combustion de biomasse sont cinq fois plus efficaces pour empêcher la pollution au dioxyde de carbone [que l'énergie nucléaire] et la cogénération plus de trois fois plus efficace.»

Warwick Business School¹² : «Le discrédit des autres technologies signifie que l'énergie nucléaire n'est pas complémentaire d'autres technologies à faible intensité carbonique. Cela réfute l'argument selon lequel toutes les technologies à faible intensité carbonique devraient, et sont capables, de travailler ensemble harmonieusement à la réduction des émissions de dioxydes de carbone. Au contraire, le gouvernement doit faire le choix entre un futur nucléaire et un avenir dominé par une production renouvelable et l'utilisation plus efficace de l'énergie.»

Duke University¹³ : «L'énergie solaire photovoltaïque a rejoint le rang des alternatives meilleur marché aux centrales nucléaires.» John O. Blackburn, professeur d'économie.

8 Time magazine, (18 février 2010).

9 Amory B. Lovins, «Prolifération, Oil, And Climate: Solving For Pattern» ; Lovins' expanded version of essay «Prolifération, Climate, And Oil: Solving For Pattern,» *Foreign Policy* (17 janvier 2010).

10 B. Keepin and G. Kats, "Greenhouse Warning. Comparative Analysis of Nuclear and Efficient Abatement Strategies," *Energy Policy* 15:6 (Décembre 1988): pp. S38-S61.

11 Travis Madsen, Tony Dutzik, Bernadette Del Chiaro, et Rob Sargent, *Environment California: Generating Failure: How Building Nuclear Power Plants Would Set America Back in the Race Against Global Warming* (Novembre 2009).

12 Catherine Mitchell et Bridget Woodman, *New Nuclear Power: Implications for a Sustainable Energy System* (Warwick Business School: mars 2006).

13 *Nuclear Energy Loses Cost Advantage*, Diana S. Powers, New York Times, 26 juillet 2010.



Aperçu général et tendances

La demande énergétique et l'impact d'un monde sous contrainte carbone et aux ressources limitées

Le secteur énergétique a connu des changements sans précédents, ces dernières années. Les marchés – celui du pétrole en particulier mais avec des répercussions sur les autres sources d'énergie – ont été très volatils. Mi 2008, le prix du baril de pétrole atteignait 150 dollars – un montant huit fois plus élevé que dix ans auparavant. En l'espace de quelques mois pourtant, alors qu'ils avaient contribué à accélérer les problèmes économiques globaux, ces prix excessifs s'effondrent pour atteindre 30 dollars le baril.¹⁴ La récession mondiale avait affecté la consommation énergétique dans tous les secteurs de l'énergie et 2009 fut étonnamment la première année, depuis la fin de la seconde guerre mondiale, à enregistrer une baisse mondiale de la consommation d'électricité.

Traditionnellement pourtant, parce qu'elles sont basées essentiellement sur le besoin croissant en combustible des économies émergentes en Asie, la Chine en particulier, et dans une

moindre mesure en Inde, les «prévisions» sur l'énergie anticipent généralement des hausses rapides de la demande énergétique. Dans son Scénario de référence d'un modèle énergétique mondial, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) émet l'hypothèse d'une hausse de 40% de la demande énergétique globale d'ici 2030. Dans ce scénario, en réalité la consommation énergétique de la Chine double entre 2007 et 2030, tandis que la demande de l'Union européenne augmente de 1% seulement et celle des États-Unis de moins de 5%. Ce Scénario de référence adopté par l'AIE n'a rien de durable, il est un prolongement des politiques nationales actuelles. Il ne fait aucun doute qu'un développement de la sorte conduirait à des changements dans l'atmosphère catastrophiques et sans précédent, à fortiori quand l'AIE suggère que «la concentration de CO₂ prévue par le scénario de référence se traduirait par une hausse globale moyenne de 6° Celsius».¹⁵

L'impact climatique n'est pas le seul problème – ni même forcément le plus pressant – associé au Scénario de référence. La question de la disponibilité à moyen terme de ressources adéquates

14 À la fin 2010, les prix ont grimpé à nouveau pour atteindre environ 90\$ le baril.

15 AIE, Perspectives énergétiques mondiales 2009, p. 44.

et son impact sur la disponibilité physique et les prix pour les consommateurs est plus urgente, spécialement en ce qui concerne les combustibles liquides. Ces dernières années, l'AIE a revu ses prévisions concernant la demande de pétrole pour 2030, à la baisse. Dans ses *Perspectives énergétiques mondiales de 2004*, le taux de hausse annuel prévu de la demande globale de pétrole était de 1,6%, pour atteindre 121 millions de barils par jour (mb/jour) en 2030, comparé aux scénarios de taux de croissance annuel actuels de 1%, pour 105mb/jour. L'AIE a modifié en particulier ses évaluations de consommation de pétrole dans les pays de l'OCDE de 17mb/jour entre le scénario de 2004 et celui de 2009. Une demande de pétrole même plus faible, en raison d'une combinaison de hausse générale de la demande, continue cependant à soulever de sérieuses questions quant à la disponibilité des ressources (compte tenu du fait que la demande actuelle est de 76mb/jour). Un rapport du Centre britannique de recherche sur l'énergie (UK ERC) en 2009 évaluait le taux moyen général de déclin des gisements ayant dépassé leur pic de production, à au moins 6,5% par an, alors que le taux de déclin correspondant aux gisements en cours d'exploitation est d'au moins 4% par an. Pour maintenir les niveaux actuels de production, une capacité additionnelle de 3mb/jour serait nécessaire chaque année, ou l'équivalent du montant de la production de l'Arabie Saoudite tous les trois ans.¹⁶

Dans une perspective systémique de sécurité d'approvisionnement et de sécurité climatique, le système énergétique actuel et les politiques qui le façonnent sont par conséquent loin d'être viables. Quel que soit le type de système énergétique envisagé, répondre aux hausses de la demande prévues exigera des investissements supplémentaires dans l'exploitation de nouvelles sources d'énergie et le remplacement des infrastructures et installations existantes. L'AIE a évalué le montant du coût de l'investissement de son Scénario de référence à environ 26.000 milliards de dollars entre 2008 et 2030, ou 1.100 milliards de dollars par an – à savoir 1,4% du produit national brut (PNB) mondial par an. Plus de la moitié

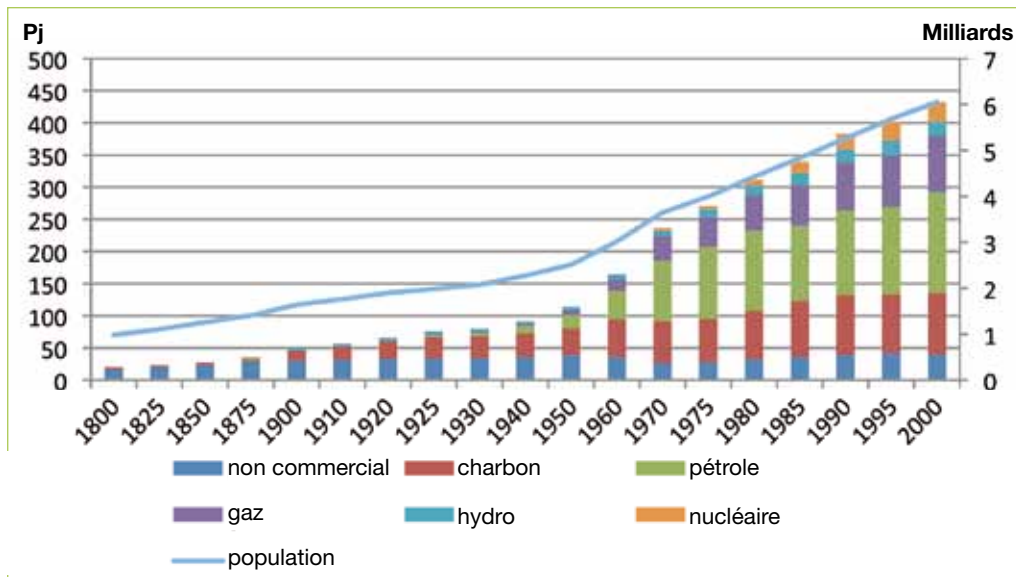
de ce montant irait au secteur de l'électricité. Et surtout, l'AIE a également proposé un scénario visant la réduction des émissions afin d'atteindre l'objectif des 2°C. S'avérant bien plus élevés que ceux du cas de référence, les coûts de l'investissement liés à ce «Scénario 450» exigeraient la somme additionnelle de 10.500 milliards de dollars. L'AIE estime par ailleurs également que le Scénario 450 réduira le coût de l'énergie d'environ 8.600 milliards de dollars d'ici 2030, ce qui représente une économie totale de 17.000 milliards de dollars sur la durée de vie des structures.

Il est clair que pour créer un secteur énergétique viable et sécurisé, les politiques actuelles et les tendances du marché en cours dans le monde doivent radicalement et rapidement changer et prendre une nouvelle direction. Un secteur énergétique faible en carbone et respectueux de l'environnement est possible à long terme et sera moins coûteux que la tentative de maintenir la tendance actuelle (*business as usual*). Cependant, passer simplement de sources d'énergie très polluantes à des sources moins polluantes ne suffira pas à instaurer un secteur énergétique durable. À la place, il faut un changement systémique mettant l'accent non seulement sur l'efficacité du système d'utilisation de l'énergie mais aussi sur sa production, sa transformation et son transport, qui sont des aspects souvent négligés.

Transformer les options d'approvisionnement énergétique

La hausse de la consommation générale d'énergie est due à l'augmentation de la population et de l'utilisation énergétique par habitant. Le *graphique 1* illustre l'ampleur de la hausse de la consommation globale d'énergie durant les deux derniers siècles. Celle-ci a été multipliée par deux entre 1800 et 1900 et par huit les cent dernières années. Comme l'AIE et bien d'autres l'ont fait remarquer, dans la mesure où les pays moins développés cherchent à améliorer le niveau de vie de leurs populations et les faire bénéficier de services énergétiques de base, cette tendance devrait s'accroître. À l'heure actuelle, environ un

16 UKERC, *Global Oil Depletion, An Assessment of the Evidence for a Near-term Peak in Global Oil Production* (Août 2009).

Graphique 1 : Croissance de la demande énergétique mondiale

Source : Arnulf Grübler, 2008.¹⁸

quart de la population mondiale n'a pas accès aux services basés sur l'électricité et la consommation énergétique par habitant dans les pays de l'OCDE est cinq fois plus élevée que celle dans les pays émergents. Le graphique montre aussi la manière dont les combustibles fossiles commerciaux – charbon, gaz et pétrole – ont contribué à cet écart. Le taux de croissance de la population mondiale étant tombé à 1,3% les dernières années, le scénario de fécondité moyenne de l'ONU prévoit que la population atteindra son plus haut niveau après 2200 seulement, quand elle aura atteint 10 milliards, dépassant largement les 6 milliards actuels.¹⁷

L'historique et le développement escompté des énergies renouvelables

Pendant des siècles, les énergies renouvelables ont été la principale source d'énergie de la race humaine, d'abord avec la combustion de la biomasse – le bois en particulier – puis avec l'exploitation des énergies hydraulique et éolienne. À mesure que la capacité de produire de l'énergie à

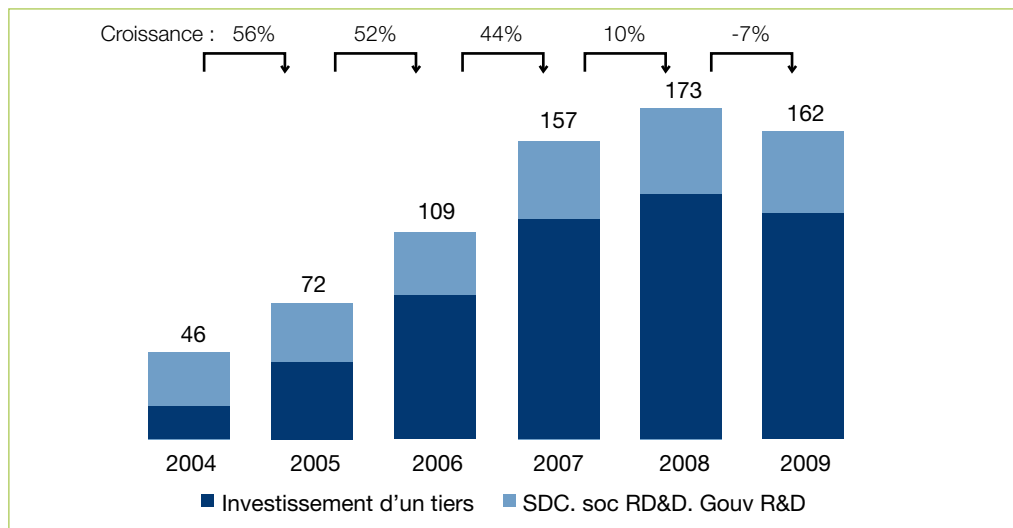
partir de combustibles fossiles se développait les derniers siècles, le recours aux énergies renouvelables s'amenuisait. L'utilisation de combustibles fossiles, sous forme de charbon, de pétrole et de gaz a permis de dégager de l'énergie à une échelle sans précédent. À relativement forte densité énergétique, ils procurent au consommateur de grandes quantités d'énergie utilisable, malgré les pertes dues à leur traitement et leur transport.

On assiste néanmoins, les dernières années, à un renversement de cette tendance dans certaines régions et secteurs. Le plus remarquable étant celui de l'électricité dans l'UE. Dans celle-ci, en 2009, 13 milliards d'euros ont été investis dans l'éolien, ce qui porte la part des centrales éoliennes à 39% des installations nouvelles – la deuxième année consécutive où le nombre de centrales éoliennes est supérieur à celles d'autres technologies. Plus encore, les centrales électriques à base d'énergies renouvelables représentent dans l'ensemble 61% des nouvelles centrales, cette même année. Le secteur européen de l'électricité poursuit sa sortie du charbon, du mazout et du

17 ONU, *Six Billion* (2004), <http://www.un.org/esa/population/publications/sixbillion/sixbilpart1.pdf>

18 Arnulf Grübler, « Energy transitions, » dans *l'Encyclopaedia of Earth*, ed. Cutler J. Cleveland (Washington DC : Environmental Information Coalition, Conseil national pour la science et l'environnement (NCSE), 2008).

Graphique 2 : Nouvel investissement financier dans l'énergie propre par secteur : 2004-2009 (milliards de dollars US)



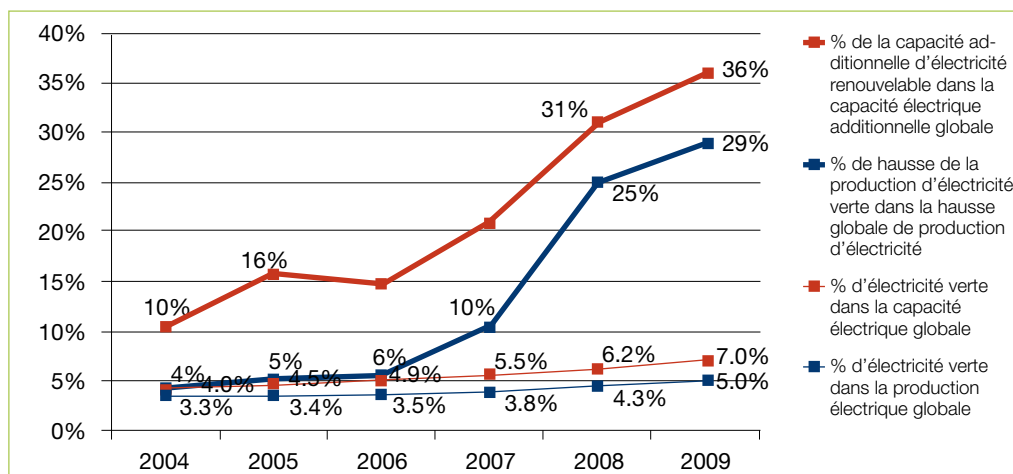
Source : UNEP et al., Global Trends in Sustainable Energy Investment, 2010.¹⁹

nucléaire, chaque technologie continuant d'avancer à démanteler qu'à construire.²⁰

Le graphique 2 montre qu'une tendance similaire se développe dans le secteur mondial de

l'électricité. En 2009, l'investissement dans les énergies renouvelables était de 162 milliards de dollars (une baisse de 7% par rapport au chiffre de 2008, résultat de la crise économique mondiale).

Graphique 3 : Croissance mondiale des énergies renouvelables dans le secteur de l'électricité (hors grande hydraulique)



Source : UNEP et al., Global Trends in Sustainable Energy Investment, 2010.

¹⁹ Les valeurs totales incluent les estimations d'offres non divulguées (source New Energy Finance)

²⁰ EWEA, *More Wind Power Capacity Installed Last Year in the EU Than Any Other Power Technology*, European Wind Energy Association (Février 2010).

Cependant, ce montant annuel était pour la deuxième fois le plus élevé (quatre fois celui de 2004) et l'investissement en nouvelles capacités de production (y compris aussi bien dans la grande hydraulique que les autres énergies renouvelables) était, pour la seconde fois consécutive, supérieur à celui dans les combustibles fossiles. Et donc, comme on peut le voir dans le *graphique 3*, 36% de l'augmentation totale de la capacité installée du secteur électrique est de source renouvelable (hors grande hydraulique), même si malgré tout sa contribution totale à la consommation électrique globale reste assez faible, 5% seulement.

L'énergie hydroélectrique

Le développement et la généralisation de l'usage de l'électricité ont eu pour conséquence l'utilisation massive de l'énergie hydraulique qui, en 2009, produisait environ 3.200 térawattheures (TWh) d'électricité par an (égal à 740 millions de tonnes équivalent pétrole -mtep). En termes de contribution au mix énergétique cela représente environ 15% de l'électricité. La capacité hydroélectrique installée est de 923 gigawatts (GW) et de loin la plus importante des sources d'énergies renouvelables. Des différences significatives existent néanmoins en ce qui concerne l'impact environnemental et l'acceptabilité de l'électricité hydraulique, liées particulièrement à la taille des installations hydrauliques.

L'existence d'un nombre important de grands sites hydrauliques en exploitation, parmi les plus accessibles et les plus économiques, en Amérique du Nord et en Europe en particulier, n'a pas entraîné de hausse significative de l'utilisation de l'hydraulique. En fait, depuis 2000 la production globale d'hydraulique a augmenté de 20% seulement, un taux inférieur à celui de la hausse de la consommation électrique dans son ensemble. Selon le Rapport statistique de BP sur la situation énergétique dans le monde,

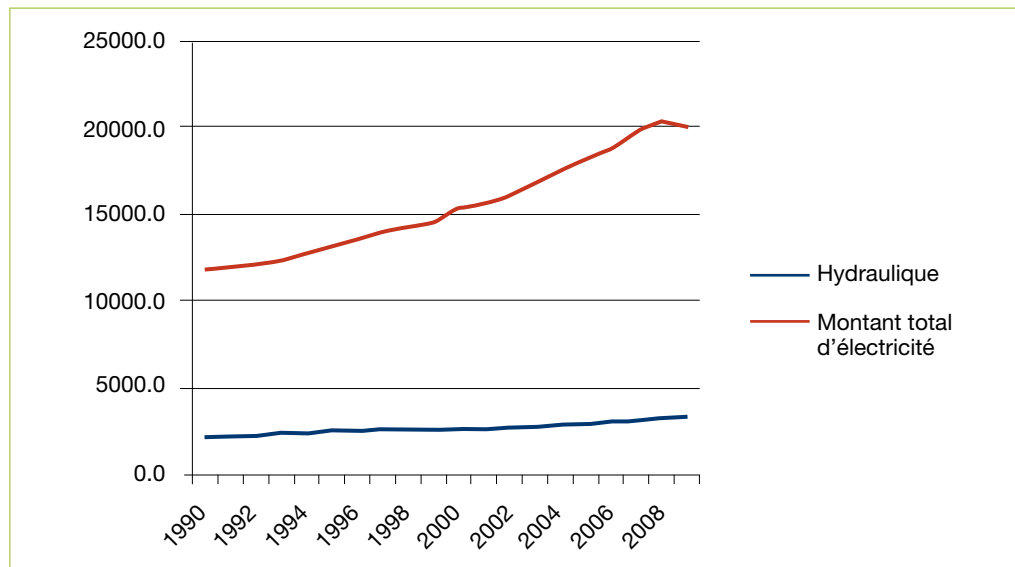
la contribution de l'électricité hydraulique à la consommation globale d'électricité qui était de 17% en 2000 est passée à un peu plus de 15% en 2009. D'après le scénario de référence de l'AIE, la production d'électricité hydraulique devrait augmenter d'environ 50%, tandis que sa contribution relative baisserait à 14% environ. Même dans le scénario 450 l'hydraulique fournira environ 19% seulement de l'électricité en 2030.

Les scénarios d'autres organisations laissent également entendre qu'il n'y aura pas de hausse significative de la production du secteur hydraulique. Le scénario «révolution énergétique» de Greenpeace prévoit même moins de capacités installées d'hydraulique que le scénario de référence de l'AIE.²¹ Les estimations s'accordent pourtant sur le fait que la puissance de l'hydraulique pourrait être supérieure. Selon l'évaluation du PNUD (World Energy Assessment) son potentiel économique est approximativement de 8.100 TWh, son potentiel technique d'environ 14.000 TWh et son potentiel théorique brut autour de 40.000 TWh.²² Dans la mesure, où atteindre de tels niveaux pourrait avoir, pour beaucoup de gens, des conséquences environnementales et sociales inacceptables, le développement ne sera pas entrepris. Pourtant, une expansion raisonnable pourrait être accomplie par le biais de petites centrales hydroélectriques dites au fil de l'eau ou par une efficacité accrue des centrales existantes.

Le *graphique 4* montre l'importance relative de l'hydraulique dans le mix énergétique pour l'approvisionnement électrique au cours du temps. Le plus important est qu'en dépit de sa bonne performance économique, l'hydraulique ne s'est pas développée au même rythme que l'ensemble du secteur et que sa contribution relative continue à chuter.

21 Le scénario «Révolution énergétique» de Greenpeace, *Global Energy Scenario* (DLR, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology Assessment, European Renewable Energy Council, et Greenpeace International, 2008).

22 PNUD, Chapitre 4 : «Ressources énergétiques» dans : L'évaluation de l'énergie mondiale : *l'Énergie et le défi de la Durabilité* (Programme des Nations-Unies du Développement, 2004).

Graphique 4 : Production mondiale d'électricité et d'hydraulique (TWh)

Source : BP, 2010.²³

L'énergie éolienne

Une hausse rapide de l'utilisation commerciale de l'éolien a été constatée ces dernières années dans un certain nombre de pays. Les graphiques suivants montrent tous deux la hausse de la capacité installée pendant la dernière décennie et sa répartition à travers le monde. Durant cette période, le taux de croissance mondiale annuelle a atteint 30%. Cette tendance devrait s'accroître, grâce en particulier à des mesures d'amélioration de la sécurité énergétique et climatique reposant sur l'énergie éolienne.

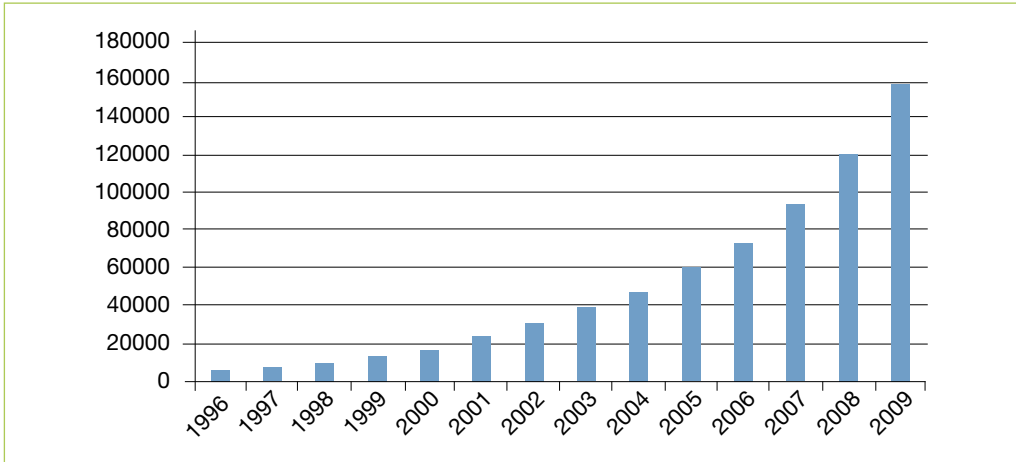
Le Conseil mondial de l'énergie éolienne (GWEC) prévoit que le secteur de l'énergie éolienne passera de 261 TWh, son niveau en 2008, à 680 TWh en 2012. Ce qui au total correspondrait

à 42% des engagements prévus à l'annexe 1 de la première «période d'engagement» du Protocole de Kyoto. Le GWEC évalue en outre, que dans le cadre d'un scénario plus ambitieux, l'énergie éolienne pourrait contribuer dans une proportion de 21 à 34% à l'exigence de réduction des émissions de 25 à 40% adressée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) aux pays développés. Ceci nécessiterait une capacité installée de 1.000 GW d'ici 2020, et entraînerait une légère baisse du taux de croissance mondial actuel.²⁴ Par contre, d'autres scénarios prévoient, dans certains cas, des niveaux beaucoup moins élevés de capacité installée pour l'énergie éolienne en 2020 : dans son scénario 450, l'AIE suggère 650 GW et Greenpeace environ 900 GW.

²³ BP, *Statistical Review of World Energy* (Juin 2009).

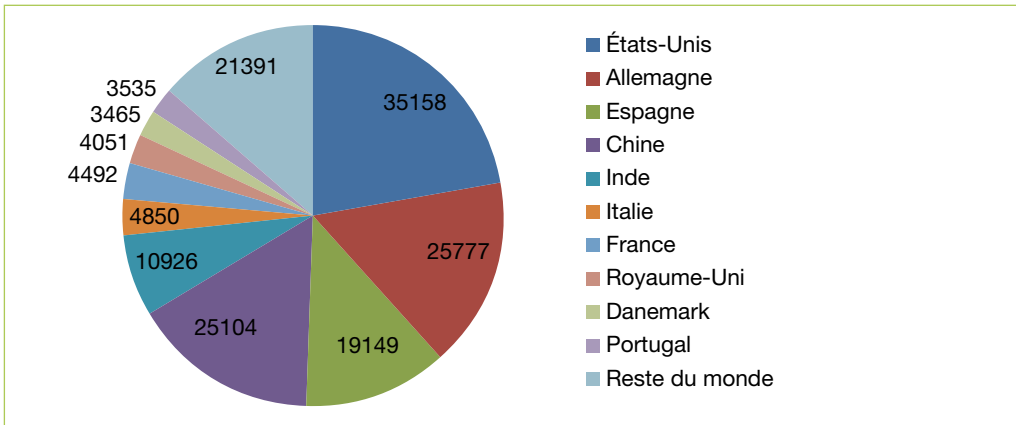
²⁴ GWEC, *Wind Power is Crucial for Combating Climate Change* (Le Conseil mondial de l'énergie éolienne, décembre 2009).

Graphique 5 : Capacité cumulative mondiale de l'énergie éolienne (MW)



Source : Global Wind Energy Council, 2010.²⁵

Graphique 6 : Capacité éolienne installée en 2008 (MW)



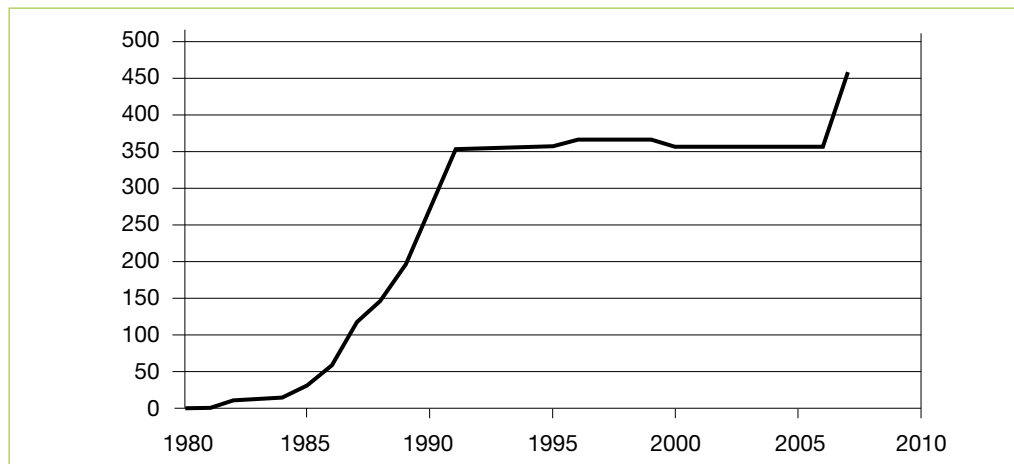
Source : Global Wind Energy Council, 2010.

L'énergie solaire

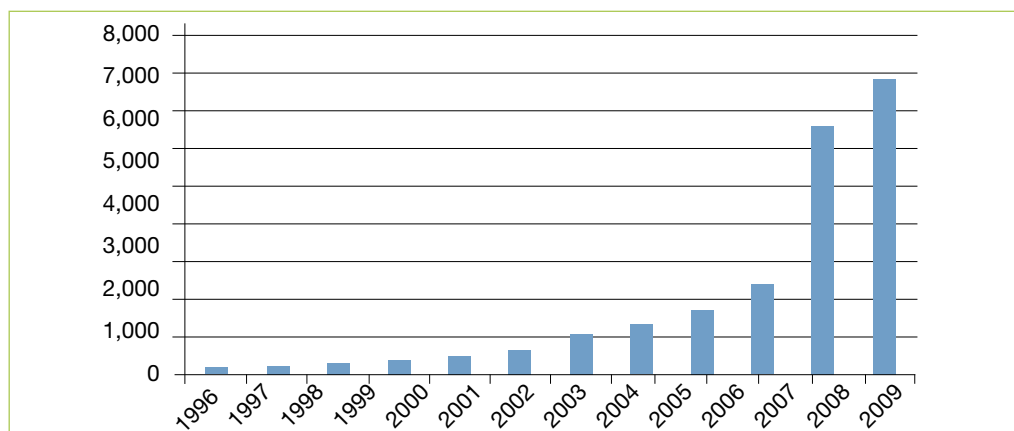
A la base, il existe deux technologies solaires de production d'électricité : celle de l'énergie solaire à concentration qui produit de l'électricité de manière plus conventionnelle en concentrant l'énergie solaire pour former de la vapeur et entraîner des turbines ; et celle du photovoltaïque solaire qui consiste à convertir directement l'énergie du soleil en courant électrique. L'énergie solaire est

aussi utilisée, à une plus grande échelle, pour chauffer l'eau sanitaire et les immeubles – le solaire thermique. Le développement de ces technologies a pris des chemins très différents. L'énergie solaire à concentration avec des unités plus grandes, et donc plus centralisée, a jusqu'à aujourd'hui plutôt connu une phase d'«expansion/récession» (*graphique 7*) alors que le développement du solaire photovoltaïque se révèle plus stable (*graphique 8*).

²⁵ GWEC, «Global Installed Wind Power Capacity : 2008/2009» (Le Conseil mondial de l'énergie éolienne, février 2010), http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%20PR%202009.pdf

Graphique 7 : Capacité mondiale d'énergie solaire thermique concentrée 1980-2007 (MW)

Source : Earth Policy Institute, 2009.

Graphique 8 : Production annuelle mondiale d'énergie solaire photovoltaïque 1998-2009 (MW)

Source : Earth Policy Institute, 2010 et www.renewableenergyworld.com (pour 2009).

Les dernières années ont été le témoin du déploiement du solaire photovoltaïque et de sa percée économique. Les progrès technologiques et la mise en place d'installations de production plus grandes ont entraîné une baisse considérable du coût des modules photovoltaïques, avec des coûts d'installation passant de 7 dollars par watt-pic (ou watt-crête) en 2008 à environ 5 dollars en 2009 et même à 3 dollars par watt installé pour certains projets de taille industrielle.²⁶ Cette chute des

prix favorise le déploiement du PV qui lui-même entraîne une réduction des prix, un cercle vertueux. Jusqu'il y a peu, l'Allemagne était à la pointe de ce développement, avec l'installation, en 2009 d'une nouvelle capacité de 3.800MW et l'exploitation d'une capacité cumulée de photovoltaïque un peu inférieure à 10.000 MW à la fin de la même année. L'Agence fédérale allemande des réseaux a enregistré une hausse de près de 5.400MW,²⁷ durant les neuf premiers mois seulement de 2010.

26 *Clean Energy Trends 2010*, par Ron Pernick et Clint Wilder, Clean Edge.

27 *Federal Network Agency*, Communiqué de presse, 27 juillet 2010.

Depuis le 19 juillet 2010, il est possible de visualiser en temps réel la production de l'énergie solaire sur le réseau électrique national allemand, et on a pu voir dans les semaines suivantes que l'injection d'électricité solaire dépassait régulièrement les 5.000 MW à la mi-journée (voir *Actual Solar Power Generation*).

La demande d'autres pays, cependant, notamment la Chine, l'Italie, le Japon, l'Espagne et les États-Unis est estimée à 60% de la croissance en capacité installée en 2010. Avec la chute des prix de production, on affirme de plus en plus souvent que les coûts du kW solaire photovoltaïque connecté au réseau ont désormais rejoint ceux du nucléaire. John Blackburn, professeur d'économie à l'université de Duke, formule l'hypothèse d'un «croisement historique» qui voit les coûts des systèmes solaires photovoltaïques diminuer au point de se retrouver inférieurs aux estimations de coûts de nouvelles centrales nucléaires.²⁸ Plus encore, une des plus grandes compagnies de solaire photovoltaïque au Royaume-Uni, un pays qui n'est pas réputé pour son soleil, prévoit qu'en 2013 l'électricité en provenance du photovoltaïque domestique aura un prix de production équivalent (la parité réseau) à celui que les consommateurs paient pour leur électricité.²⁹ D'autres estiment que cette parité n'interviendra pas avant 2020. Même plus tardive cette date correspondrait au mieux au démarrage d'un nouveau réacteur nucléaire commandé aujourd'hui.

Historique et prévisions de développement de l'énergie nucléaire

C'est en 1954, dans ce qui s'appelait alors l'Union Soviétique, que le premier réacteur nucléaire a été connecté à un réseau électrique. Pendant 35 ans, jusqu'à la fin des années 1980,

le nombre de centrales en exploitation n'a pas cessé d'augmenter. En 1989, on comptait 424 réacteurs en service dans le monde. Le pic historique a été atteint en 2002 avec 444 unités, trois de plus que les 441 réacteurs en activité répertoriés en décembre 2010. À la même date, l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) recensait 65 réacteurs en construction, dont une douzaine depuis 20 ans ou plus tandis que beaucoup d'autres subissent également des retards considérables.³⁰ En fait, en 2008, pour la première fois depuis le début de l'utilisation commerciale de l'énergie nucléaire, aucune nouvelle unité nucléaire n'a été raccordée au réseau. Depuis la connexion de la tranche roumaine Cernavoda-2 en août 2007 (après 24 années de construction), seuls sept nouveaux réacteurs (deux en Chine et en Inde, ainsi qu'un au Japon, en Corée du Sud et en Russie) ont été mis en service, pendant que cinq tranches étaient retirées du réseau. La capacité totale n'a guère augmenté, en dépit de nombreuses opérations d'«uprating».³¹

En 2009, la capacité nucléaire de 370 GW a généré 2.600 TWh – une baisse de 1,3%, la troisième d'affilée – ce qui représente environ 13% de l'électricité commerciale ou 5,5% de l'énergie primaire commerciale, ou entre 2 et 3% de l'énergie finale mondiale – une tendance générale à la baisse.³²

Malgré ce déclin réel, les prévisions de l'AIEA et de l'Agence internationale de l'Énergie (AIE) de l'OCDE quant au développement massif du nucléaire, sont de plus en plus optimistes. L'AIEA prévoit, dans son scénario «bas», une capacité nucléaire de 473 GW et dans son scénario «haut», avec une étonnante précision, une capacité de 747,5 GW installée en 2030. Dans ses Perspectives énergétiques mondiales 2009, l'AIE a ajouté 10% supplémentaire à sa prévision de capacité

28 Nuclear Energy Loses Cost Advantage, Diana S. Powers, *New York Times*, 26 juillet 2010.

29 Jeremy Leggett, «I accept George Monbiot's £100 solar PV bet», *The Guardian*, 9 mars 2010.

30 Pour une analyse détaillée, voir Mycle Schneider, Steve Thomas, Antony Froggatt, et Doug Koplow, *The World Nuclear Industry Status Report 2009*, à la demande du Ministère de l'environnement allemand (Paris : août 2009), disponible en anglais et en allemand. http://www.bmu.de/english/nuclear_safety/downloads/doc/44832.php

31 La hausse de capacité des installations existantes par des moyens techniques (remplacement du générateur de vapeur, remise à neuf des turbines etc.).

32 Le terme «commercial» est utilisé ici pour clarifier le fait que les statistiques ne prennent généralement pas en compte l'électricité non raccordée au réseau ou la biomasse non commerciale par exemple, qui contribuent pour une part essentielle à l'approvisionnement énergétique dans de nombreuses parties du monde.

nucléaire pour atteindre les 475GW de son scénario de référence en 2030. Dans son scénario 450ppm (le scénario de stabilisation climatique) l'AIE prévoit, comme dans le scénario «haut» de l'AIEA, que la capacité nucléaire et la production d'électricité auront plus que doublé d'ici 2030. L'AIE déclare :

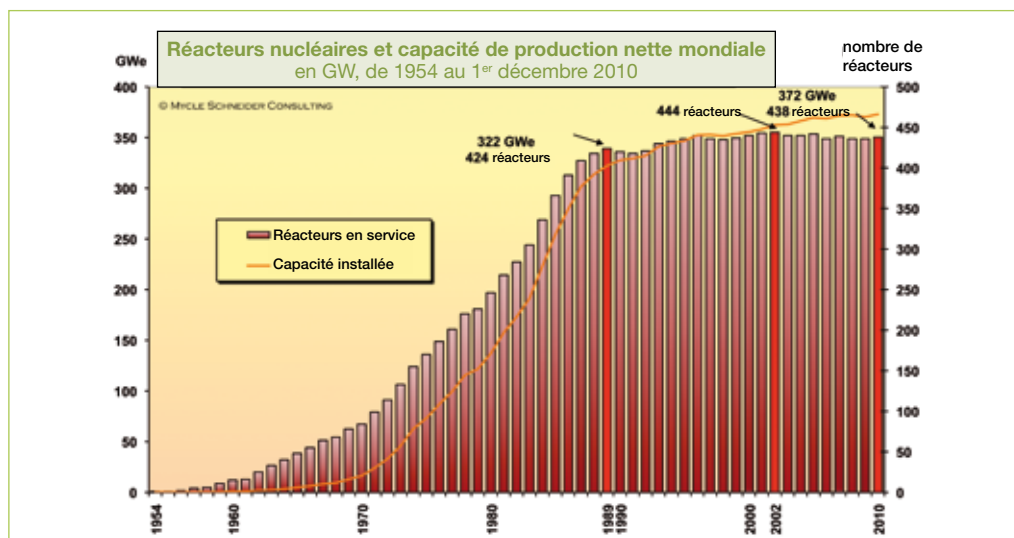
Une renaissance nucléaire est possible mais elle ne peut se produire du jour au lendemain. Les projets nucléaires se heurtent à des obstacles considérables, dont la prolongation des temps de construction et les risques y afférents, les processus de certification très longs et les pénuries de main d'œuvre, sans compter les sempiternels problèmes liés à l'élimination des déchets, la prolifération et la contestation locale. Le financement de nouvelles centrales nucléaires a toujours été difficile, en particulier dans des marchés libéralisés, et il est presque certain que la crise financière a aggravé la situation. Les exigences de capital gigantesques, combinées aux risques de dépassements des coûts et les incertitudes réglementaires contribuent à rendre les investisseurs et les prêteurs très prudents, même en cas de croissance soutenue de la demande.³³

L'AIEA et l'AIE n'expliquent ni l'une ni l'autre comment pourraient être contournés ces «obstacles considérables» afin de justifier ces prévisions d'expansion nouvelle. Prognos³⁴, centre bâlois de recherche économique et de conseil stratégique, suggère dans un rapport récent que comparé au niveau du printemps 2009, le nombre de réacteurs en service diminuera vraisemblablement de 29% d'ici 2030. Prognos prévoit que seuls 35% des projets annoncés par la World Nuclear Association pour 2030, seront réalisés – un chiffre insuffisant pour compenser le retrait du réseau des réacteurs vieillissants.

La comparaison du nucléaire et des énergies renouvelables

Les graphiques 10 et 11 montrent les injections nettes d'énergies renouvelables (hors grande hydraulique) et nucléaire au réseau, ainsi que la contribution au mix électrique mondial des sources d'énergie dites à faible émission de carbone. Même si à première vue ces chiffres peuvent paraître contradictoires, ils sont comme les deux faces de la même médaille. Le graphique 10 donne le détail des adjonctions nettes sur le réseau mondial les deux

Graphique 9 : Les réacteurs nucléaires dans le monde et la capacité installée 1954-2010 (en GW)

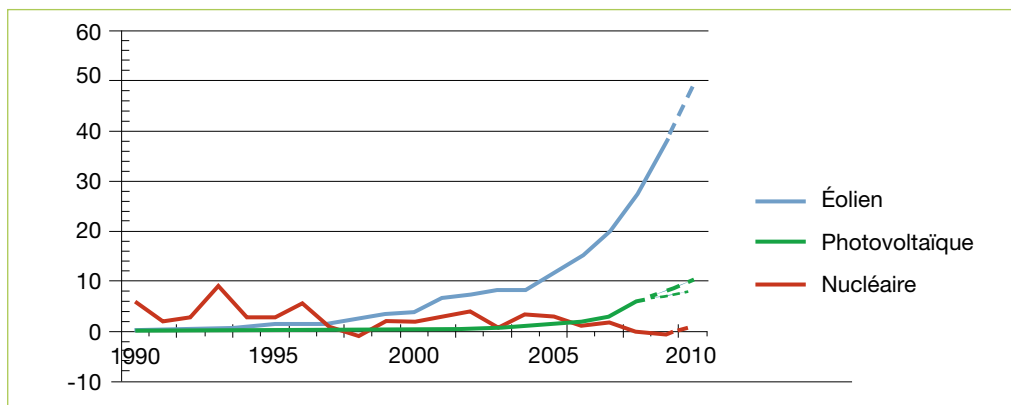


©Mykle Schneider Consulting - Sources : IAEA-PRIS, MSC, 2010

33 AIE, *Perspectives énergétiques mondiales* 2009, p. 160.

34 Matthias Deutsch et al., *Renaissance der Kernenergie*, à la demande de l'Office fédéral des protections contre les radiations (BFS), Prognos, Berlin/Bâle, Septembre 2009.

Graphique 10 : Injections nettes d'énergies renouvelable et nucléaire au réseau électrique mondial 1990-2010 (en GW)

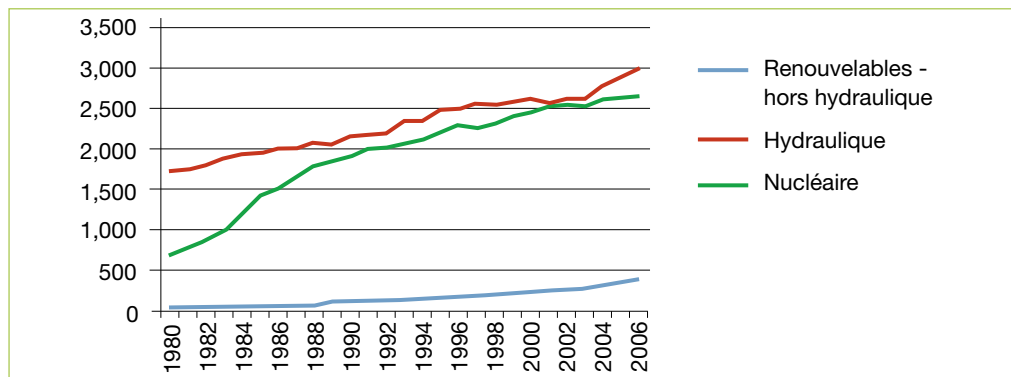


Source : Amory Lovins, 2010.³⁵

dernières décennies. La taille de chaque centrale combinée à la fermeture de réacteurs est la raison pour laquelle la ligne de tendance du nucléaire manque d'une direction globale. Mais celle-ci pourrait se résumer à une capacité additionnelle moyenne annuelle nette d'environ 2 GW en début de période, par rapport à une capacité mondiale installée d'à peu près 370GW. Depuis 2005 cette tendance reste néanmoins stable ou diminue. Pendant la même période, on constate que l'énergie éolienne a augmenté sa capacité moyenne annuelle de plus de 10GW, avec des ajouts de capacité en hausse constante, atteignant plus de 37 GW en 2009.

Il est également important d'examiner la quantité d'électricité réellement produite à partir de sources de combustibles non fossiles, comme le fait le *graphique 11*. Celui-ci montre à quel point, comparé au nucléaire et la grande hydraulique, la contribution des énergies renouvelables reste faible, malgré leur expansion récente. Comme on le verra dans le graphique 17, cette situation sera amenée à changer. Dans son scénario 450 ppm, l'AIE présuppose que d'ici 2030, l'utilisation de l'hydraulique atteindra le double du niveau actuel de l'électricité nucléaire, tandis que la production d'énergie éolienne sera équivalente à celle des autres sources d'énergie renouvelables.³⁶

Graphique 11 : La production électrique à partir de sources de combustibles non fossiles(en TWh)



Source : Earth Policy Institute, 2009.

³⁵ Amory Lovins, Communication personnelle aux auteurs (2010).

³⁶ AIE, Perspectives énergétiques mondiales 2009, tableau 9.2, p. 324.



Les questions systémiques

«Si quelqu'un déclare publiquement qu'en raison des fluctuations de l'énergie éolienne ou solaire dans le réseau, l'énergie nucléaire devrait faire partie de la charge de base, il n'a soit pas compris comment fonctionne un réseau électrique ou une centrale nucléaire, soit il ment sciemment au public. L'énergie nucléaire et les énergies renouvelables ne sont pas conciliables.»

Siegmar Gabriel

En mars 2009, alors ministre fédéral allemand de l'environnement³⁷

La décision politique de développer le nucléaire et/ou l'efficacité énergétique + les renouvelables est loin d'être limitée aux choix technologiques. Ces décisions sont souvent provoquées, ou pour le moins fortement influencées, par des conditions préexistantes telles que des systèmes politiques, des processus de prise de décision, la structure du marché et une infrastructure lourde. D'un autre côté, des décisions systémiques de base, comme une production électrique centralisée ou décentralisée, ont un impact important sur la flexibilité et la compétitivité des technologies et des systèmes. Par exemple, alors qu'il ne fait aucun doute qu'elle est un moyen bien plus efficace de fournir des services

énergétiques basés sur la chaleur – et l'électricité – que la production séparée, la cogénération a du mal à concurrencer les centrales électriques existantes, centralisées et souvent surdimensionnées, ou les réseaux de gaz naturel existants.

Dans beaucoup de pays émergents, un grand nombre de ces décisions d'infrastructures restent à prendre. L'évaluation des implications liées au choix du système de base revêt donc la plus grande importance. Les pays industriels sont une belle illustration du résultat des choix stratégiques du passé. Malgré de nombreux cas locaux et régionaux couronnés de succès, il n'existe malheureusement pas de «bon» modèle de politique énergétique nationale, ayant réussi à fournir des services énergétiques abordables et durables. Tous les pays ont mis en œuvre des politiques présentant de sérieux inconvénients et dont les défauts appellent des «réparations majeures».

Le système centralisé français

Gouvernée par un système politique très centralisé, la France a naturellement cherché des réponses centralisées aux défis posés par l'appro-

37 Deutscher Bundestag, 16. Wahlperiode, 211. Sitzung (Berlin : 19 mars 2009).

visionnement énergétique. L'électricité nucléaire est le choix logique d'un processus de prise de décision centralisé et le résultat d'une absence totale de volonté de l'État central de partager le pouvoir politique, pour ce qui concerne les questions énergétiques, avec les exécutifs locaux ou régionaux. À l'image d'un rouleau compresseur, la logique étatique de financement du nucléaire a balayé toute les petites ou moyennes entreprises qui tentaient de développer de nouvelles sources d'énergies renouvelables. De la même façon, les efforts d'efficacité ont souvent été étouffés. Au milieu des années 80, il était devenu évident qu'EDF, l'entreprise publique d'électricité, avait construit un trop grand nombre de centrales nucléaires (de l'ordre de 16). Au lieu de revoir la planification de son équipement, l'État démantela en grande partie l'Agence de l'efficacité énergétique et EDF s'engagea dans deux choix stratégiques : des accords d'exportation d'électricité à long terme et une promotion à grande échelle en faveur du chauffage électrique de l'habitat et de l'eau. Cette stratégie est devenue l'obstacle principal au développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables en France. Des centaines de milliers de bâtiments ont été construits sans cheminées, donc sans la possibilité abordable d'un passage à des sources de chaleur moins polluantes et plus économes que l'électricité. La tendance s'est même accentuée les dernières années et environ 75% des nouveaux foyers français sont équipés de chauffages électriques. Il existe des cas de nouveaux réseaux de chauffage urbains qui passent près de bâtiments chauffés à l'électricité sans la possibilité de les raccorder, en raison de coûts d'investissement jugés disproportionnés.

L'autre effet secondaire de l'utilisation massive des applications thermiques de l'électricité – à savoir presque la moitié de la consommation élec-

trique résidentielle en France – est la hausse spectaculaire de la pointe hivernale, aujourd'hui trois fois supérieure à la plus faible charge journalière durant l'été. Ce qui a pour conséquences : la hausse importante de l'utilisation de combustibles fossiles pour la production d'électricité (environ +25% depuis 1990), la réouverture de centrales thermiques au fuel qui peuvent avoir jusqu'à 40 ans d'âge et une hausse rapide de l'importation d'électricité provenant particulièrement de centrales thermiques à charbon en Allemagne. En janvier 2010, la France était en réalité un importateur net d'électricité – le deuxième mois après octobre 2009 d'importation nette en 27 ans.

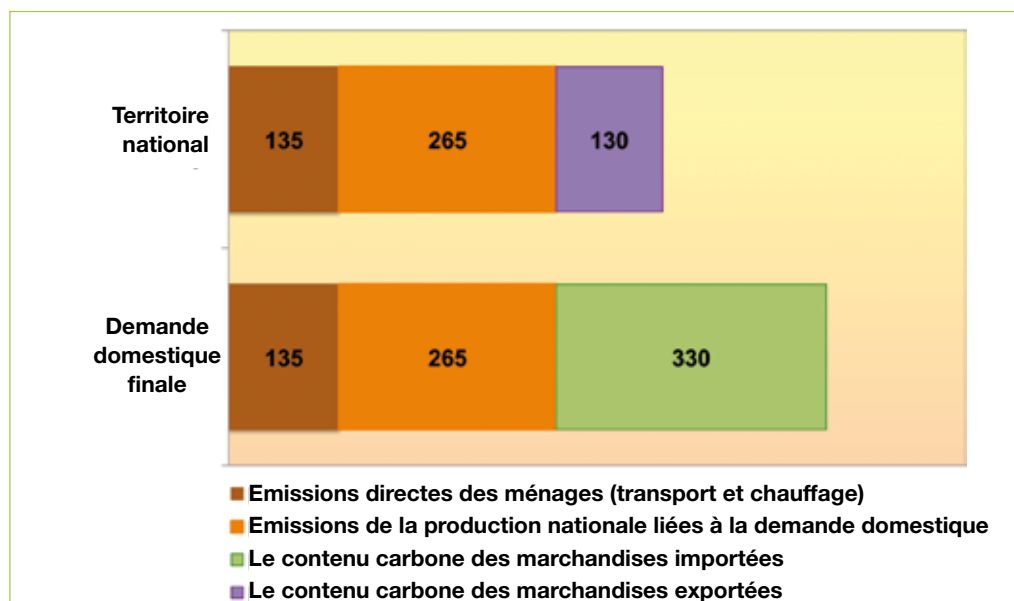
En France, les efforts en faveur de l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables restent sérieusement sous-développés. La consommation d'électricité par habitant y est beaucoup plus élevée que la moyenne européenne ou que dans un pays comme l'Italie, qui a abandonné le nucléaire après le désastre de Tchernobyl. En 2008, l'Espagne a ajouté plus de capacité d'énergie éolienne (4.600MW) que le total de celle installée par la France jusqu'à fin 2009 (4.400MW).

L'idée que le système nucléaire français aurait contribué à rendre son économie faible en carbone, est une idée erronée. Comme l'illustrent les chiffres publiés récemment par le gouvernement français,³⁸ si l'on tient compte de l'intensité carbonique nette des marchandises importées (diminuée de celle des produits exportés), les émissions de gaz à effet de serre (GES) par habitant augmentent de 8,7 à 12 tonnes d'équivalent CO₂, atteignant presque ainsi le niveau de l'Allemagne avec son système basé sur le charbon.³⁹ Le déficit commercial de la France est important alors que l'Allemagne était le premier pays exportateur mondial jusqu'à ce que la Chine la détrône en 2009.

38 Ministère de l'écologie, «L'empreinte carbone de la demande finale intérieure de la France», août 2010

39 Pour 2001, le Calculateur norvégien d'empreinte carbone pour les six gaz à effet de serre indique 13,1 t de CO₂eq pour la France et 15,1 t de CO₂eq pour l'Allemagne, voir <http://carbonfootprintofnations.com>

Graphique 12 : Émissions de GES liées à la consommation finale en France (en tonnes d'équivalent CO₂)⁴⁰



Source : Ministère de l'écologie, août 2010.

L'approche allemande : la sortie du nucléaire et le déploiement des renouvelables

Le cas allemand repose sur une stratégie complètement différente. Le pays a toujours fortement dépendu du charbon et du lignite même si le nucléaire fournissait jusqu'à 30% de l'électricité. En 2000, le gouvernement signe un accord avec les exploitants nucléaires et en 2002, il légifère la sortie du nucléaire. Parallèlement, la législation sur les tarifs de rachat est votée. Celle-ci instaure des prix garantis pour les producteurs d'électricité renouvelable et introduit des programmes de simulation de marchés pour favoriser l'introduction des énergies renouvelables dans le marché du chauffage. La combinaison d'une perspective claire de planification de sortie du nucléaire et d'une vigoureuse stimulation du développement des énergies renouvelables a favorisé l'émergence d'un environnement extraordinairement dynamique. Les agences régionales de l'énergie sous

l'autorité des États fédérés (Länder) ont été déterminantes dans l'ingénierie de la mise en œuvre. Depuis la fin des années 1990, le montant total de l'énergie issue des énergies renouvelables a triplé, des centaines de milliers d'emplois ont été créés et les technologies énergétiques sont devenues un secteur de pointe à l'exportation.

Tout n'a pas bien fonctionné, malgré tout. Alors que la production d'électricité renouvelable, éolienne principalement, augmentait de 70 TWh – ou multipliée par 5 entre 1990 et 2007 – la consommation totale durant la même période augmentait de plus de 12%, ou de presque 68 TWh. Ce qui a eu pour conséquence qu'en 2007 les émissions de CO₂ du secteur de production électrique allemand étaient équivalentes à celles de 1990. Un résultat particulièrement choquant, compte tenu du fait que l'unification de l'Est et de l'Ouest avait conduit à une réduction « naturelle » du contenu carbone et de la consommation électrique, en raison simplement de la fermeture de centrales⁴¹ et industries surannées.

40 À noter que ce calcul ne prend en compte que le CO₂, CH₄ et N₂O.

41 À Berlin Est en 1989, la plus vieille centrale au charbon en exploitation datait de 1919.

Les analystes de l'énergie et les organisations environnementales soulèvent ce problème depuis un certain temps, mais ni la Grande coalition précédente ni le nouveau gouvernement conservateur, n'ont été capables de mettre en œuvre le niveau minimum d'efficacité exigée par la législation européenne. Au même moment, la possibilité d'une prolongation de l'exploitation des centrales nucléaires allemandes met en danger la restructuration du système énergétique dans le pays. En 2008,⁴² une analyse détaillée de Joachim Nitsch, commanditée par le Ministère de l'environnement allemand, concluait :

En cas de prolongation de la durée de vie de l'énergie nucléaire, le calendrier actuel de construction de nouvelles centrales à combustibles fossiles devrait être complètement révisé, de façon à ne pas compromettre l'objectif des 30% d'énergies renouvelables pour 2020. L'objectif cogénération ne pourrait pas être atteint. La nécessité d'un changement structurel de l'approvisionnement électrique en faveur d'une hausse importante de l'efficacité énergétique, à savoir une part plus importante de cogénération et une forte dynamique d'expansion des énergies renouvelables, serait fondamentalement remise en question. Le système énergétique aurait bien du mal dans ce cas à remplir son objectif de protection climatique de réduction de 80 % des émissions de CO₂ d'ici 2050.

L'expansion considérable des énergies renouvelables dans le secteur de l'électricité ne requiert pas de grandes capacités additionnelles fonctionnant en base toute l'année avec des facteurs de charge élevés, mais plutôt des centrales de puissance moyenne, flexibles dans leur utilisation, pouvant s'adapter à tout type de centrales élec-

triques dont la production est intermittente.⁴³ Le Wuppertal Institute⁴⁴ insiste : «L'extension de la durée de vie des centrales nucléaires rajouterait sur le marché des quantités d'électricité qui autrement seraient progressivement remplacées par la cogénération». L'exploitation prolongée des centrales nucléaires entraverait aussi en même temps le développement de systèmes de chauffage urbains.

La concurrence directe entre l'électricité renouvelable, l'électricité nucléaire ou autre «en base», conduit de plus en plus à des situations de marché absurdes. En Allemagne, l'injection d'électricité renouvelable a une priorité légale sur celle nucléaire et fossile. Mais en octobre 2008, la production d'énergie éolienne a été si élevée, qu'une partie de l'électricité non renouvelable a dû être «vendue» à des prix «négatifs», parce que la production des centrales nucléaires ou thermiques au charbon n'avait pas pu être réduite assez rapidement. Et cela s'est produit malgré le retrait provisoire du réseau d'une capacité nucléaire de 8 GW, pour raison de maintenance.⁴⁵ Depuis lors, le phénomène des «prix négatifs», légaux en Allemagne depuis septembre 2008 seulement, est de plus en plus fréquent sur le marché de l'électricité allemand. Dans les six mois, entre septembre 2009 et février 2010, les prix de l'électricité ont chuté dans le rouge au cours de 29 journées (voir *graphique 13*). Les prix négatifs ont atteint des niveaux stupéfiants : le 4 octobre 2009, un producteur d'électricité a dû payer 1.500€/MWh (15 cents/KWh) pour se débarrasser de son électricité.

En fait, la stratégie allemande de sortie du nucléaire était tout à fait complémentaire à l'introduction d'un système hautement flexible reposant sur une combinaison intelligente des sources d'énergies distribuées.

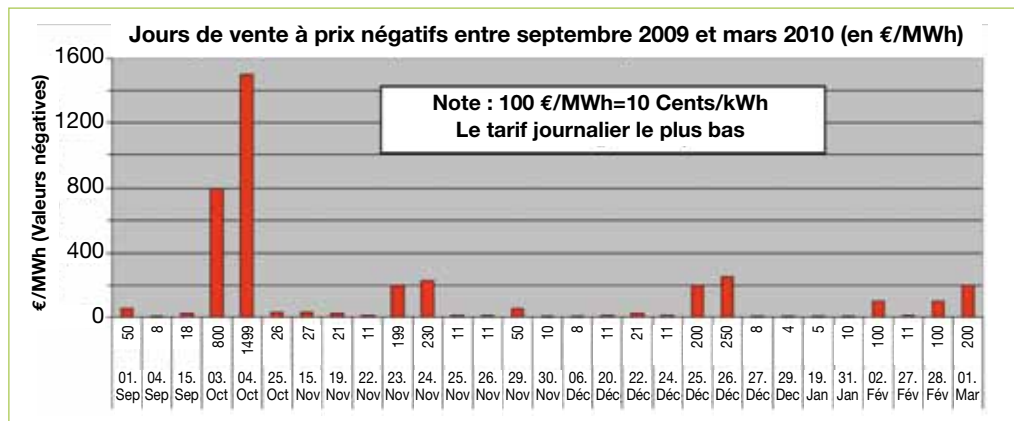
42 Joachim Nitsch, «Leitstudie 2008 - Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas», commandité par le Ministère fédéral de l'environnement, de la conservation de la nature et de la sûreté nucléaire (Octobre 2008).

43 Notez qu'en fait toutes les centrales électriques sont plus ou moins intermittentes, y compris les centrales nucléaires qui ne sont pas seulement fermées quelques semaines par an pour le remplacement du combustible mais aussi, dans de nombreux cas, pour des réparations de grande envergure ou des arrêts de remise à niveau de plus d'un an.

44 Manfred Fishedick et al., «Hindernis Atomkraft – Die Auswirkungen einer Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke auf erneuerbare Energien», commandité par le Ministère fédéral de l'environnement, de la conservation de la nature et de la sûreté nucléaire (Wuppertal Institut, Avril 2009).

45 Ibid.

Graphique 13 : Les prix négatifs de l'électricité à la bourse allemande d'échange d'électricité



Sources : H. Alt, «Warum negative Strompreise an der Strombörse?», FH-Aachen, mars 2010.

Les renouvelables espagnols crèvent le plafond?

En Espagne, le matin du 24 février 2010, l'opérateur du système de distribution électrique, *Red Eléctrica* (REE), arrêta la production d'électricité de 800MW d'énergie éolienne pendant plusieurs heures. Et ce pour la raison qu'à 1h30, l'énergie éolienne fournissait 11.961 MW (44,5% de la demande évaluée à ce moment là à 26.674 MW). Après l'intervention de REE, la production d'énergie éolienne était quand même ramenée à 10.852MW. La production éolienne se maintint au dessous de la quantité qu'elle aurait pu fournir jusqu'à 6h30, heure à laquelle la demande augmente. Durant cette période de baisse de production d'énergie éolienne, la production nucléaire est restée stable.

Une approche nouvelle

Un des problèmes systémiques majeurs est l'impact de la persistance à maintenir des exploitations électriques centralisées – soit en exploitation prolongée soit nouvellement construites – sur l'innovation. Cette remarque s'applique aux aspects technologiques de la production d'électricité et de chaleur mais particulièrement aussi à la question de raccords innovants pour l'utilisation décentralisée de l'énergie et la gestion de la charge

en centrales virtuelles. Comme le fait remarquer la Galvin Electricity Initiative, fondée en 2005 par l'ancien président de Motorola, Robert Galvin :

Vieillissant, peu fiable, inefficace, peu sûr et incompatible avec les besoins d'une économie numérique, le système électrique américain exige une modernisation de grande ampleur. D'une technologie antérieure aux années 1950, l'équipement du système est au bord de la défaillance. Même si ces pièces peuvent et seront remplacées, cette situation s'offre aussi à la nation comme une opportunité sans précédent – réinventer et changer le réseau électrique américain de façon à ce qu'il soit profondément bénéfique pour les consommateurs, l'environnement et l'économie. (...) En plus de cinquante ans, l'industrie n'a pas engendré d'innovation marquante, et ce en grande partie à cause d'une structure de contrôle en décalage avec les besoins du 21^e siècle.⁴⁶

Ce verdict pourrait être appliqué au réseau européen ainsi qu'à beaucoup d'autres pays industrialisés dans le monde.

Les centrales électriques virtuelles (Virtual Power Plants -VPP) – à savoir le regroupement et la centralisation de la gestion d'unités de production décentralisées comme les petites installations

46 The Galvin Initiative, «Transforming the Grid : An Executive Summary», voir : <http://galvinpower.org/about-galvin/transforming-grid>

d'énergie renouvelable et de cogénération – est un des concepts les plus prometteurs pour l'avenir de l'électricité. Un développement innovant de cette approche serait d'y inclure des capacités d'accumulation décentralisées, comme les batteries de voiture ou les systèmes de sauvegarde des stocks d'énergie renouvelable. Cette vision se situe littéralement à l'opposé de celle de l'énergie nucléaire. Les consommateurs d'électricité utilisent un interrupteur qui déclenche la production et l'utilisation de l'énergie selon des conditions de réseau optimisées (demande/approvisionnement/équilibre/prix). Les consommateurs d'électricité devenus producteurs sont désormais appelés *prosumers*. Aujourd'hui, dans un pays comme l'Allemagne, le gros de l'investissement dans des nouvelles capacités de production d'électricité est supporté par les ménages et non plus par les compagnies d'électricité. Si l'on veut favoriser ce développement, les réseaux doivent être adaptés de manière significative. Le groupe des régulateurs européens pour l'électricité et le gaz (ERGEG) a déclaré dans un document de consultation publique⁴⁷ :

Les réseaux électriques futurs devront être connectés à des générateurs de technologies et de puissances différentes, de tous les niveaux de voltage, dont certains très contrôlables et d'autres avec une production dépendant fortement de la disponibilité physique de leur source première d'énergie renouvelable (production éolienne par exemple). [...] Le réseau devra donc s'équiper d'un système de surveillance et de contrôle intelligent afin de répondre à la demande d'énergie de manière sûre, avec un niveau optimal de production et de capacité. Cela n'est possible qu'à travers une évolution des réseaux électriques – en bref des réseaux intelligents.

La différence majeure avec les systèmes de transport et de distribution d'énergie traditionnels est l'adaptation au réseau électrique

d'un réseau de communication sophistiqué. Le défi étant l'intégration de ces systèmes de communication à moyenne et basse tension et l'organisation de leurs synergies avec les compteurs intelligents des consommateurs. Et pour que tout cela fonctionne, le déploiement de nouveaux systèmes électroniques ainsi qu'une adaptation de la réglementation, sont inévitables. Si l'on veut l'introduction plus rapide des réseaux intelligents, il appartient aux régulateurs «de trouver les moyens d'encourager des innovations plus radicales tout en protégeant les intérêts des consommateurs et le développement économiquement rentable du réseau».⁴⁸

L'Italie non nucléaire était précurseur dans le comptage intelligent. En 2006 déjà, les régulateurs avaient annoncé l'installation obligatoire d'ici 2011 de compteurs intelligents pour tous les consommateurs. Entre-temps, la Suède a mis la technologie en œuvre plus rapidement et atteint une couverture totale en juillet 2009. Aujourd'hui, le pays aide ses voisins, le Danemark, la Finlande et la Norvège à accélérer le processus d'installation.⁴⁹ La France nucléaire débute une phase de test en 2010, avec 300.000 compteurs intelligents dans deux régions. Pendant ce temps, le Groupe européen, *European Smart Metering Industry Group* (ESMIG) est passé de cinq membres fondateurs en 2008 à 32 membres en juillet 2010, rassemblant les compagnies d'électronique et de télécommunication les plus importantes d'Europe. La plupart des pays industrialisés ont des projets de démonstration en cours et quelques pays émergents se préparent à leur introduction. En mars 2010, l'Agence américaine pour le développement international (USAID) publiait «A Smart Grid Vision for India's Power Sector».

L'industrie des appareils électroménagers fait des progrès rapides. Whirlpool a été la première compagnie à annoncer que tous ses appareils électroménagers incluant des éléments élec-

47 ERGEG, «Document de position sur les réseaux intelligents – Un document de consultation publique de l'ERGEG» (Bruxelles : 10 décembre 2009).

48 Ibid.

49 *Technology Action Plan – Smart Grids*, Rapport de l'Italie et de la Corée du Sud au Forum des principales économies sur l'énergie et le climat (MEF) (Décembre 2009).

troniques seraient compatibles avec les réseaux intelligents dès 2015.

Différents modèles développant la distribution d'électricité avec une part d'énergies renouvelables, sont déjà mis en œuvre. Des centrales virtuelles et des projets de micro réseaux, réduisant de manière significative les pertes liées au transport et à la distribution, sont mis en place dans plusieurs pays.⁵⁰ L'Initiative Galvin Electricity a lancé en mai 2010 le centre de micro réseaux, le Microgrid Hub : «Les micro-réseaux intelligents sont le moyen idéal d'intégrer les sources d'énergie renouvelables au niveau communautaire et de permettre aux consommateurs de participer à cette entreprise électrique. Ils sont les composantes du Perfect Power System».⁵¹ Ce «Système électrique parfait», développé par L'Initiative Galvin Electricity, est «le projet novateur et la garantie technologique d'un réseau intelligent ultime». L'Institut de technologie de l'Université de l'Illinois vient d'entrer dans la phase de mise en œuvre d'un projet de démonstration à taille réelle sur le campus de l'université.

Le Forum ministériel de l'énergie propre qui s'est tenu à Washington en juillet 2010 a lancé «le Réseau d'action international en faveur du réseau intelligent – l'ISGAN» pour accélérer le développement et le déploiement de réseaux électriques intelligents dans le monde entier. Le terme «réseau intelligent» est utilisé de différentes manières. La vraie question sera de savoir s'il s'agit d'utiliser une partie de ses éléments (le compteur intelligent en particulier) comme un complément commode du sempiternel macro

système centralisé, ou de le développer dans tout son potentiel. Ce qui signifierait de passer, là où c'est possible, à un système électrique basé sur des micro-réseaux connectés en «grappes» afin de développer les complémentarités et la stabilité du système.

Comme la France, la Grande-Bretagne envisage les réseaux électriques intelligents plutôt comme une actualisation du réseau actuel que comme l'outil d'une transition importante vers une économie d'efficacité+énergies renouvelables. Au contraire, le Ministère anglais de l'énergie et du changement climatique compte même sur une hausse constante de la consommation.

*D'ici 2050 nous devons produire plus d'électricité qu'aujourd'hui mais le faire en grande partie sans émissions de gaz à effet de serre. Nous devons produire de l'électricité à partir de sources faibles en carbone comme les énergies renouvelables, le nucléaire et les centrales à combustibles fossiles équipées pour la capture et le stockage de carbone.*⁵²

Même s'il subsiste un manque sérieux de connaissance, il existe aussi plus de preuves qu'il n'en faut sur le fait que certains des effets systémiques liés à une infrastructure électronucléaire sont un frein au développement d'une société proposant des services énergétiques basés sur l'efficacité + les renouvelables et, dans certains cas – spécialement quand le niveau des énergies renouvelables augmente – sur le fait que ces deux approches s'excluent l'une l'autre.

50 Voir par exemple Dardesheim en Allemagne et Hoogkerk aux Pays-Bas, la ville «Power Matching City». Aux USA, la Commission de l'Énergie de Californie (CEC) a approuvé récemment la proposition faite par l'Université de Californie de San Diego d'une bourse pour les Communautés d'énergies renouvelables fiables (RESCO) destinée à développer et démontrer l'intégration d'une production d'énergie renouvelable sur le site, en utilisant la géothermie, la technologie des pompes à chaleur, celle du traitement des eaux usées, le solaire photovoltaïque, l'énergie éolienne combinée à des alternatives de stockage sur place, mise aux normes de l'éclairage et air conditionné des bâtiments et des postes de rechargement des véhicules électriques.

51 <http://galvinpower.org/microgrids>

52 http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/network/smart_grid/smart_grid.aspx



Le calendrier des investissements

L'impératif d'une action rapide contre le changement climatique

L'impact sur le climat des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à l'activité humaine, en particulier les dioxydes de carbone (CO₂) du secteur énergétique, fait l'objet d'un consensus croissant voire presque universel. Le *quatrième Rapport d'évaluation* du GIEC (2007) déclarait que «le réchauffement du système climatique était sans équivoque» et que la probabilité qu'il soit le fait de l'activité humaine depuis la révolution industrielle, est de plus de 90%. Durant le 20^e siècle, les températures globales ont augmenté de 0,6 degrés Celsius. Le maintien des modes actuels d'utilisation de la terre et de l'énergie augmentera les concentrations de GES dans l'atmosphère au point que les températures pourraient connaître une hausse supplémentaire de 6 degrés à la fin du siècle. Ce qui aurait des conséquences catastrophiques pour la race humaine et les écosystèmes de la terre.

Pour parer aux conséquences les plus dangereuses du changement climatique, la communauté internationale s'est fixé «l'objectif des 2°» qui

prône une réduction des émissions afin de limiter la hausse des températures à 2° Celsius par rapport aux niveaux préindustriels. Cet objectif a été approuvé par un grand nombre d'organisations internationales et forums, y compris l'Union européenne, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et l'Accord de Copenhague qui statue : «En accord avec la science et ayant pris connaissance du quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (2007), nous acceptons l'exigence de réductions importantes des émissions globales afin de maintenir la hausse de la température mondiale en dessous de 2° Celsius, et d'agir en ce sens sur la base de l'équité».⁵³

Et, pour atteindre cet objectif, la réduction des émissions de GES doit être de l'ordre de 80% d'ici 2050. Les objectifs à court terme sont plus importants à bien des égards que celui à long terme. Un changement rapide de technologie ou de comportement démontrera la viabilité des réductions d'émissions et fera en sorte que l'investissement ne se cantonne pas aux filières grandes consommatrices d'énergie/à fortes émissions. Tandis qu'un ajournement des réductions induirait for-

53 Accord de Copenhague, rédigé pendant la Convention cadre de l'ONU sur le changement climatique, 15^e session (Copenhague: 7-18 décembre 2009).

cément dans le futur des exigences plus grandes et à un coût plus élevé.

Les délais d'application massive des nouvelles technologies, expériences et attentes

L'énergie nucléaire

Face au besoin urgent de réductions d'émissions, le temps nécessaire à l'introduction à grande échelle de nouvelles technologies, est un facteur capital et fortement sous estimé. La mise en service de nouvelles installations productrices d'énergies se déroule en deux phases importantes : la phase de pré-développement et celle de construction.

La phase de pré-développement peut comporter un large éventail de consultations et impliquer potentiellement l'obtention des autorisations de construction et d'exploitation nécessaires, l'acceptation locale et nationale, ainsi que la totalité du financement. Le déploiement de nouvelles technologies peut dans certains cas, être accéléré par des évaluations génériques de sûreté. En raison des conditions locales sur le site ou l'émergence de nouveaux problèmes, la phase de pré-développement peut aussi prendre plus de temps. L'AIE estime la phase de pré-développement de l'énergie nucléaire⁵⁴ à environ huit ans. Celle-ci inclut toutefois le temps nécessaire à l'obtention de l'approbation politique et suppose l'existence d'une infrastructure industrielle, d'une main d'œuvre et d'un régime de réglementation. Dans le cas de la Grande-Bretagne, quand le premier ministre de l'époque, Tony Blair annonça en 2006 que «l'énergie nucléaire tenait sa revanche», on était encore à quelques années du début de la phase de pré-développement de l'énergie nucléaire.

Le nucléaire a une longue histoire de retards de construction, et les analyses du Conseil mondial de l'énergie⁵⁵ ont mis en lumière la tendance générale à la prolongation des délais de construction des réacteurs nucléaires. Entre la fin des années 1980 et les années 2000, l'allongement considérable des délais de construction était dû aux changements de la vision que le politique et le public avaient du nucléaire suite à l'accident de Tchernobyl, avec pour conséquence des modifications des conditions réglementaires. Comme nous l'avons démontré dans l'édition 2009 du *World Nuclear Industry Status Report*,⁵⁶ compte tenu de la différence entre les pays, un calcul du temps global moyen de construction – environ neuf ans pour 16 des plus récents raccordements au réseau – n'a pas vraiment de sens. Le temps de construction pour 4 réacteurs en Roumanie, en Russie et en Ukraine a pris de 18 à 24 ans. Par opposition, il n'a fallu que cinq ans en moyenne pour achever les 12 unités raccordées au réseau en Chine, en Inde, au Japon et en Corée du Sud.

L'allongement du temps de construction est constaté dans plusieurs pays du monde. En Allemagne, de 76 mois entre 1965 à 1976, le temps de construction est passé à 110 mois entre 1983 et 1989. Au Japon, entre 1965 et 2004, le temps de construction moyen allait de 44 à 51 mois. Enfin, en Russie, le temps de construction entre 1965 et 1976 était de 57 mois, puis de 72 à 89 mois dans la période allant de 1977 à 1993. Mais l'achèvement des quatre dernières centrales a pris lui environ 180 mois (15 ans),⁵⁷ et ce en raison d'une opposition grandissante suite à Tchernobyl, de contraintes économiques et des changements politiques survenus après 1992.

54 AIE, L'énergie nucléaire dans l'OCDE (Agence internationale de l'énergie 2001).

55 World Energy Council, Alexandro Clerici, et ABB Italy, «European Regional Study Group – The Future Role of Nuclear Energy in Europe» (13 Juin 2006) ; et, pour les chiffres après 2000, calculs basés sur la base de données PRIS de l'AIEA, <http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>

56 Mycle Schneider et al., *The World Nuclear Industry Status Report 2009*.

57 World Energy Council et al., «European Regional Study Group» (2006).

Tableau 1 : Le temps de construction des centrales nucléaires dans le monde

Période de référence	Nombre de réacteurs	Temps moyen de construction (mois)
1965-1970	48	60
1971-1976	112	66
1977-1982	109	80
1983-1988	151	98
1995-2000	28	116
2001-2005	18	82
2005-2009	6	77

Sources : Clerici, 2006 ; IAEA.⁵⁸

Olkiluoto-3, le premier réacteur du concept le plus récent, appelé Génération III+, est en construction en Finlande.⁵⁹ Au moment de sa commande, en décembre 2003, le contrat prévoyait la mise en service de la centrale pour le 1er mai 2009. Cependant, la dernière date d’achèvement donnée affiche un retard d’au moins trois ans et demi et un dépassement de budget de près de 100% (les estimations actuelles prévoient qu’à l’achèvement, le total sera de 5,7 milliards d’euros ou plus, comparé à une estimation de départ de 3 milliards d’euros). Flamanville-3, un deuxième réacteur de la Génération III+, le même EPR qu’en Finlande, est en construction en France. Trois ans plus tard, sa construction est officiellement en retard d’au moins deux ans sur le calendrier, avec un dépassement de budget de 2 milliards d’euros. Suite à cela, l’agence de notation Standard & Poor’s a baissé la cote de crédit du constructeur nucléaire Areva.⁶⁰

Compte tenu des complexités et des coûts afférents à la construction, la tendance est de construire les réacteurs en série plutôt qu’en parallèle, ce qui signifie que les constructeurs attendent l’achèvement d’un réacteur avant de commencer le suivant. Il faudra quelques années supplémentaires pour qu’une nouvelle flotte de réacteurs soit pleinement opérationnelle.

La construction d’un grand nombre de réacteurs de par le monde apporterait de l’expérience,

laquelle, dans des conditions de déploiement technologique normal, permettrait d’accélérer les taux de diffusion et baisser les coûts. Jusqu’à ce jour, l’énergie nucléaire n’a pas connu d’accélération de son taux de déploiement, en raison partiellement de la complexité de la technologie, de la chaîne d’approvisionnement des composants qui lui est associée et la variété des technologies déployées. Un des rapports préparés pour la *Stern Review* (l’analyse du gouvernement du Royaume-Uni de l’impact sur l’économie du changement climatique) sur le coût et le financement affirmait que :

Grâce à l’innovation et aux économies d’échelle dans la fabrication et l’utilisation, les coûts de production et d’utilisation énergétiques de toutes les filières ont systématiquement baissé depuis 1970, sauf ceux de l’énergie nucléaire.⁶¹

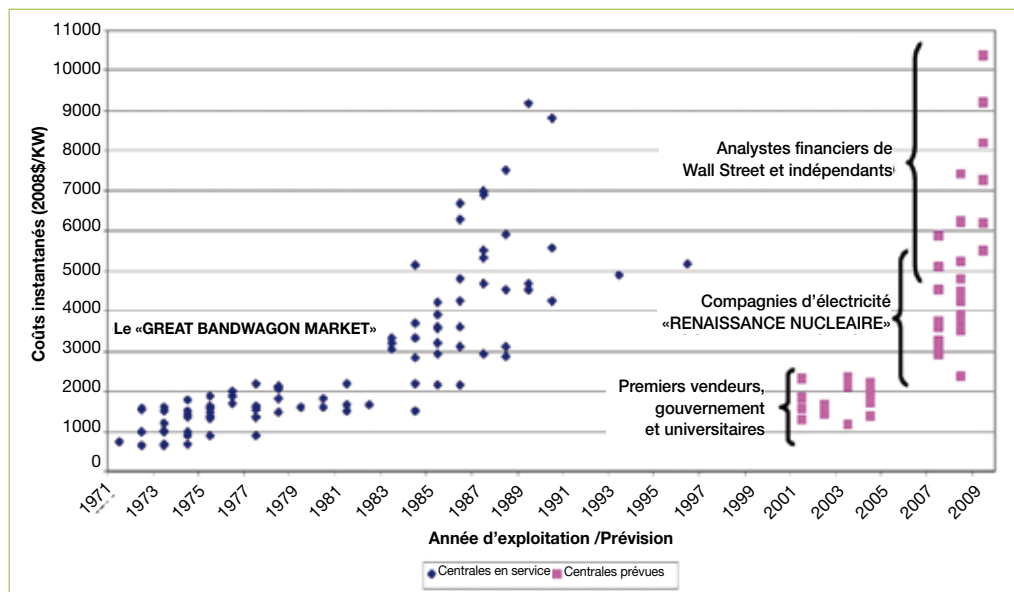
Ceci peut être illustré par les deux plus grands projets nucléaires dans le monde : celui aux États-Unis (*graphique 14*) et celui en France (*graphique 15*). Tous les deux ont été confrontés à des hausses importantes de coûts de construction, et ce malgré une expérience en construction considérable. Dans le cas des États-Unis, le coût du kW installé a été multiplié approximativement par cinq sur une période de 25 ans, alors qu’en France le coût à payer était multiplié par plus de trois. Les données concernant les États-Unis montrent également, en rose, des projections de coûts pour une centrale

58 Ibid. La période 2005-2009 n’inclut pas l’achèvement de la tranche Cernavoda 2 en Roumanie, dont la construction, à cause d’une longue interruption, a duré 279 mois.
59 Pour plus d’information, voir le document de Steve Thomas, « L’Économie de l’énergie nucléaire », (2010), www.boell.de de A à BBB+.
60 Dennis Andersen, « Cost and Finance of Abating Carbon Emissions in the Energy Sector », Document d’appoint à la *Stern Review* (Imperial College London : octobre 2006), p. 18.

nucléaire, y compris des estimations d'analystes de Wall Street et indépendants, de plus de 10.000 dollars par kW installé. Il faut noter que pour la

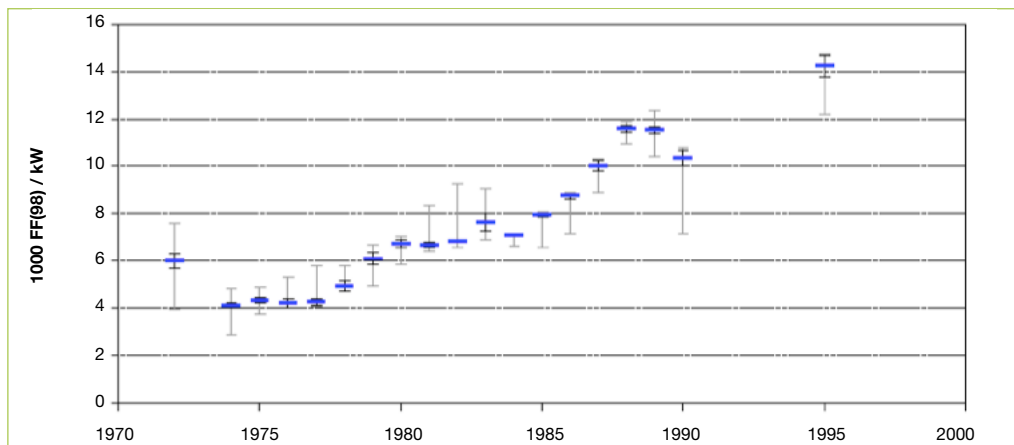
France, les données ne concernent qu'une compagnie, dans la mesure où cette entreprise publique, était à elle seule le constructeur et l'opérateur.

Graphique 14 : Évolution du coût d'investissement («la courbe d'apprentissage») des centrales nucléaires américaines (en dollars US 2008/kW)



Source : Cooper, 2009.⁶²

Graphique 15 : Évolution du coût d'investissement («la courbe d'apprentissage») des centrales nucléaires françaises (en francs français 1998/kW)



Source : Arnulf Grübler, 2009.⁶³

62 Mark Cooper, *The Economics of Nuclear Reactors : Renaissance Or Relapse?* Mark Cooper est membre de l'Economic Analysis Institute for Energy and The Environment (Vermont Law School, Juin 2009).

63 Arnulf Grübler, *An Assessment of the Costs of the French Nuclear PWR Program 1970-2000* (6 octobre 2009).

Pour expliquer ce taux d'apprentissage très bas voire négatif lié à la construction des centrales nucléaires, y compris le taux de commande de réacteur relativement modeste après les années-1970, diverses raisons ont été invoquées : le lien entre la complexité des centrales nucléaires et les processus réglementaires et politiques ainsi que la variété des modèles déployés.⁶⁴ L'Unité Performance et Innovation britannique (PIU) du gouvernement du Royaume-Uni révèle que, même si un certain nombre de ces facteurs peuvent être maîtrisés à l'avenir, il existe d'autres domaines dans lesquels les futures centrales nucléaires pourraient ne pas obtenir un taux d'apprentissage comparable aux autres technologies :

- relativement mûre, la filière nucléaire a moins de chance de connaître un «développement technologique» spectaculaire que les autres technologies ;

- les améliorations basées sur des retours d'expérience d'exploitation et de conception des premières unités sont nécessairement lentes, en raison des délais d'exécution très longs pour la construction et la mise en service ;

- la possibilité d'économies d'échelle dans le nucléaire est bien moindre que dans les énergies renouvelables, l'échelle initiale de ces dernières étant plus petite et le potentiel d'application plus vaste (en types et en nombres).

La situation de l'industrie a par ailleurs radicalement changé depuis le pic de la construction nucléaire dans les années 1980. Un nombre important d'entreprises majeures de l'époque sont sorties du marché, en fusionnant avec d'autres dans le domaine nucléaire ou en réorientant leur approche commerciale vers les activités de démantèlement ou de gestion des déchets, qui se sont fort développées ces dernières années. Ce qui a entraîné une diminution du nombre des entreprises, dans un nombre restreint de pays, capables de gérer la construction d'une centrale nucléaire du début à la fin.⁶⁵

Il est clair que l'industrie des fabricants nucléaires traverse un moment crucial de réorganisation et de modernisation. L'investissement dans une capacité de production d'équipement lourd est considérable. Sans commandes fermes dans les années à venir, les constructeurs ne maintiendront pas des investissements de l'ordre de plusieurs centaines de millions de dollars.

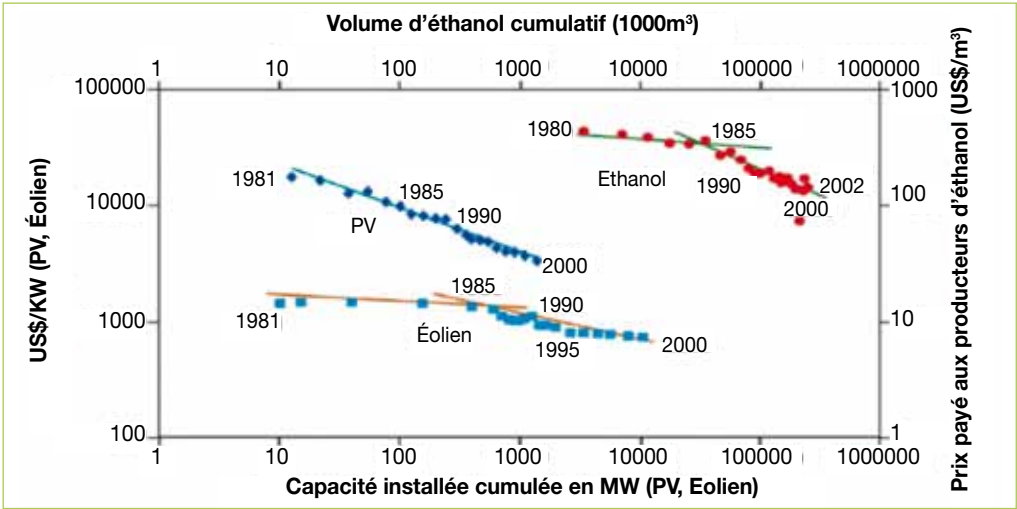
Les énergies renouvelables

Le *graphique 16* montre que l'absence des effets bénéfiques d'apprentissage et son impact négatif sur l'économie dans le secteur nucléaire n'est pas transposable aux énergies renouvelables. Le déploiement élargi de l'énergie éolienne, de l'électricité solaire et de l'éthanol a inévitablement conduit à une baisse des coûts d'installation et de production.

64 Performance and Innovation Unit (PIU), «Energy Review Working Paper, The Economics of Nuclear Power» (PIU, 2002).

65 AIEA, La situation internationale et les perspectives de l'énergie nucléaire (2008).

Graphique 16 : Courbe d'apprentissage des technologies



Source : Quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (RE4), Rapport3, Atténuation des changements climatiques.

En 2002, l'Unité Performance et Innovation britannique (PIU), a fait une estimation des coûts de production de différentes options d'approvisionnement pour 2020. C'est ce que montre le *tableau 2*, où il apparaît que les coûts de l'énergie

nucléaire sont bien plus élevés que ceux de l'éolien sur terre et en mer, se situant dans la même fourchette que les cultures énergétiques et l'énergie marémotrice.

Tableau 2 : Estimation des coûts pour 2020 des sources de combustibles produisant de l'électricité (en pennies/kWh)

Technologie	Coût en 2020 - p/kWh	Fiabilité de l'estimation	Tendances pour 2050
Combustibles conventionnels			
Charbon (GICC)	3,0-3,5	Modérée	Baisse
Gaz (TGCC)	2,0-2,3	Haute	Baisse limitée
CCS	3,0-4,5	Modérée	Incertaine
Grand CHP (gaz)	En dessous de 2	Haute	Baisse limitée
Micro CHP (gaz)	2,5-3,5	Modérée	Baisse soutenue
Nucléaire	3,0-4,0	Modérée	Baisse
Énergies renouvelables			
Éolien sur terre	1,5-2,5	Haute	Baisse limitée
Éolien en mer	2,0-3,0	Modérée	Baisse
Cultures énergétiques	2,5-4,0	Modérée	Baisse
Marée	3-6	Faible	Incertaine
Solaire PV	10-16	Haute	Baisse soutenue

Source : PIU, 2002.⁶⁶

GICC : Gazéification intégrée à un cycle combiné – TGCC : Turbines à gaz à cycle combiné – CCS : capture et stockage du carbone

66 PIU, «The Energy Review : Performance and Innovation Unit,» The Cabinet Office (Février 2002), p. 199.

L'opposition grandissante à laquelle s'est heurtée l'énergie éolienne ces dernières années dans certaines régions, a entraîné l'annulation et le report de nombreux projets. En 2009, au Royaume-Uni, seuls 25% des sites proposés pour des parcs éoliens sur terre ont obtenu l'approbation locale nécessaire – comparé à 63% en 2007. La stratégie des énergies renouvelables du gouvernement britannique, publiée en juillet 2009, fixait pour 2020 un objectif de 14 GW de capacité installée pour l'éolien sur terre. Mi 2010, l'éolien en Grande-Bretagne comprenait 3,2 GW de capacité installée, 0,8 GW de capacité construite et 3,4 GW en construction – à savoir un total de 7,4 GW, ou un peu plus de la moitié de l'objectif fixé. Une capacité supplémentaire de 7,4 GW est néanmoins au stade de planification – qui si elle est approuvée serait suffisante pour atteindre l'objectif dans les délais.⁶⁷ Comparativement au nucléaire, de grands projets de parcs éoliens en mer peuvent encore être réalisés rapidement. En janvier 2010, le gouvernement annonçait des

plans pour 32 GW additionnels aux 8 GW en cours de développement. Ceux-ci devraient être opérationnels en 2020.

Il est important de mettre l'accent sur les différences entre la construction d'un parc éolien et celle des centrales conventionnelles. Comme il s'agit de turbines achetées à des prix fixés et acceptés à l'avance avec un délai de livraison établi, l'Association européenne de l'énergie éolienne (EWEA) compare la construction d'un parc éolien à l'achat d'une flotte de camions. L'infrastructure électrique peut elle aussi être précisée bien à l'avance. Certains coûts de génie civil peuvent être variables mais l'écart reste faible comparé au coût du projet dans son ensemble.⁶⁸ Le temps de construction des turbines éoliennes sur terre est relativement court. Les parcs de petite envergure peuvent être achevés en quelques mois, la plupart endéans l'année. L'industrie éolienne a fait de cette rapidité de mise en œuvre un outil de marketing majeur.⁶⁹

67 BWEA, *Wind Farm Planning Approvals by Local Councils Slump to Record New Low of 25%*, British Wind Energy Association (20 octobre 2009).

68 EWEA, *Wind Energy, The Facts : Volume 1, Technology*, European Wind Energy Association (2003).

69 Vestas (2009) : «You can get a Vestas wind power plant up and running in a year – much faster than conventional energy plants – and this means a quick return on investment».
<http://www.vestas.com/en/modern-energy/understanding-modern-energy/fast.aspx>



Les coûts d'opportunité

Les rapports d'évaluation de l'Agence internationale de l'énergie ainsi que d'autres mettent en lumière deux tendances importantes et d'une certaine façon, conflictuelles. En premier lieu, la nécessité de niveaux d'investissements sans précédents dans le secteur énergétique, dans la prochaine décennie. C'est ce qui ressort d'un certain nombre de facteurs :

- la demande croissante des pays émergents, en particulier dans l'environnement urbain ;
- la nécessité dans les pays de l'OCDE, d'abandonner un grand nombre de centrales productrices d'électricité parce qu'elles sont arrivées en fin de vie, et aussi dans certains cas, en raison de la mise en place d'une législation protectrice de l'environnement ;
- la diminution des réserves d'énergie existantes et l'accès à des réserves et des sources d'énergies nouvelles.

Et néanmoins en second lieu, la baisse de l'investissement dans le secteur de l'énergie les deux dernières années, en raison d'une disponibilité moindre du capital et son coût plus élevé, une baisse de la demande énergétique liée à la récession mondiale et la baisse des prix de l'énergie

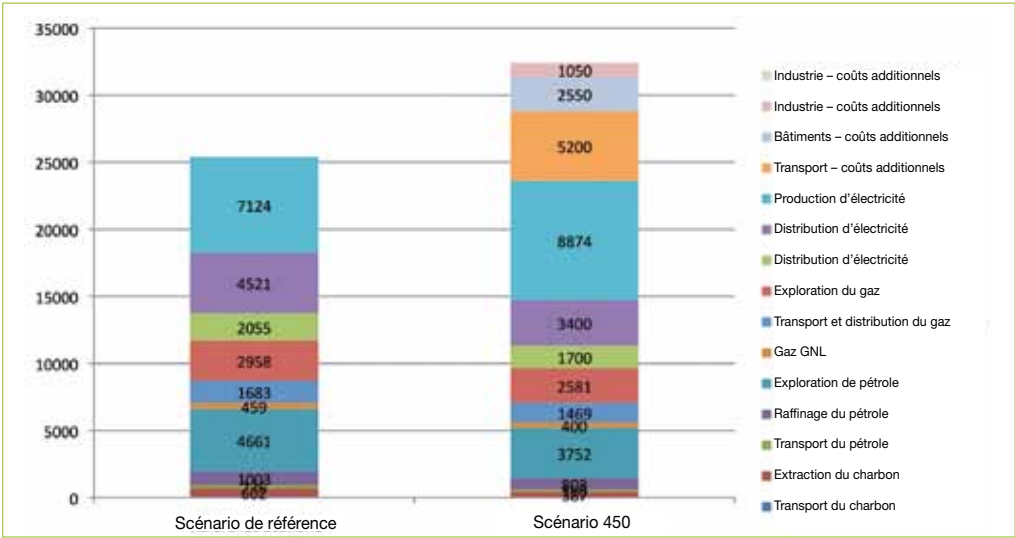
entraînant un niveau d'incertitude financière plus élevé. Face aux nombres d'analystes prédisant la fin de la récession globale, les conditions du ralentissement ou la suspension de l'investissement pourraient être complètement ou partiellement écartées. Dans ce cas, une hausse de l'investissement dans le secteur de l'énergie est vraisemblable et aussi fortement encouragée. Malgré l'annonce de la reprise économique, le capital restera néanmoins limité, en particulier pour l'investissement dans le secteur public. De plus, la compétition entre les secteurs pour l'accès aux fonds d'investissements sera féroce.

Dans l'hypothèse d'une accélération de l'investissement dans le secteur de l'énergie, les décisions qui seront prises sur les types d'investissements à faire détermineront lequel des secteurs énergétiques sera exploité pendant une génération. Le graphique ci-dessous indique, selon différents scénarios de l'AIE, l'échelle d'investissements à réaliser dans les secteurs liés à l'énergie. Le scénario de référence de l'AIE estime le montant de l'investissement total à 25.600 milliards de dollars pour 2030 ; alors que pour maintenir le réchauffement global dû aux émissions de GES en dessous des 2 degrés Celsius, il

nécessiterait la somme additionnelle de 10.500 milliards de dollars. L'amélioration de l'efficacité énergétique dans les utilisations finales, comme les bâtiments et les véhicules doit bénéficier d'une grande part de cet investissement, mais il y a aussi la hausse des coûts liés au changement de combustible et l'électricité issue des combustibles non fossiles ou la capture et séquestration du carbone (CCS). Ce supplément d'investisse-

ment néanmoins, ferait baisser la demande en combustibles fossiles, baisser le niveau d'investissement requis pour l'extraction et le transport des combustibles fossiles d'environ 2,1 milliards de dollars et le montant dépensé en combustibles. L'AIE prédit que les économies de combustibles d'ici 2030 seraient de l'ordre de 8,6 milliards de dollars, et de 17 milliards de dollars sur la durée de l'investissement.

Graphique 17 : Transfert de l'investissement dans les secteurs d'énergies à faibles émissions de carbone (en milliards de dollars US)



Source : IEA, World Energy Assessment, 2009.

Ce graphique montre à quel point les objectifs politiques devraient influencer les investissements. Nier cette réalité mène à l'échec de la politique ou aux coûts échoués.

La même logique s'applique aux choix d'investissement dans le secteur de l'électricité. Il est certain qu'une plus grande intégration de l'efficacité énergétique dans les utilisations finales, réduira sérieusement le besoin d'exploration et d'exploitation de combustibles fossiles ainsi que l'investissement dans le transport. L'impact le plus direct reste cependant celui sur les différentes sources d'électricité entre elles, un investissement important dans l'une affectera le besoin d'investir dans une autre.

Pratiquement, quel que soit le scénario, la contribution du nucléaire à un secteur énergétique à émissions fortement réduites, apparaît comme relativement faible comparée à celles des énergies renouvelables (à part les économies d'énergie et l'efficacité). La possibilité d'inclure l'énergie nucléaire dans une gamme élargie «d'options d'énergies à faible émissions» est néanmoins abordée, avec la question de la capture et le stockage du carbone des centrales électriques au gaz et au charbon, en particulier.

Mettre en place un secteur énergétique réellement faible en émissions de carbone et durable exige un changement en profondeur, non seulement dans les sources d'énergies mais également dans la façon dont l'énergie sera distribuée et utilisée. Pour rendre cette transformation possible,

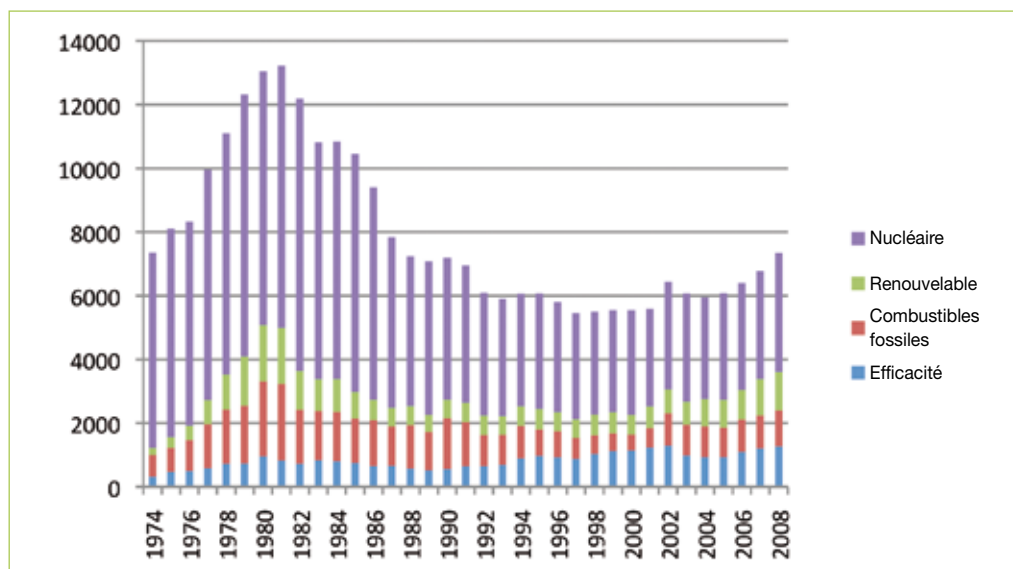
il faudra des changements dans les priorités et les investissements à chaque étape du déploiement technologique, de la recherche et du développement à la diffusion générale de la technologie. Le paragraphe suivant examine chaque étape du déploiement et fait la comparaison entre les énergies nucléaire et renouvelables.

La recherche et le développement

Il existe peu de domaines, en dehors de celui de la recherche gouvernementale et du dévelop-

pement, où les comparaisons et la concurrence entre le nucléaire et les renouvelables sont si catégoriques. Malgré des appels continuels à une plus grande R&D sur l'énergie et la sécurité climatique, le niveau des dépenses en faveur de la recherche gouvernementale, dans beaucoup de pays, a baissé de presque la moitié de ce qu'elle était dans les années 1980. Cette situation a affecté toutes les sources d'énergie et est l'expression, durant les dernières décennies, d'un désir de moins d'État en général, combiné à celui de voir le secteur privé jouer un rôle plus grand dans le domaine de l'énergie.

Graphique 18 : Recherche nationale et budgets de développement dans les pays de l'OCDE (en millions de dollars US)



Source : AIE, 2010.⁷⁰

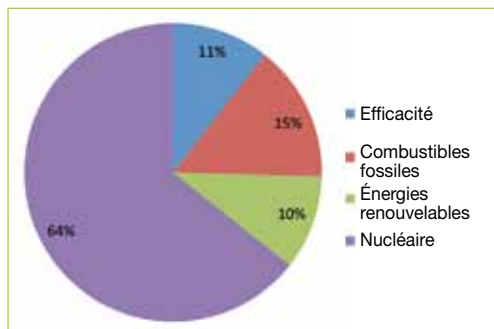
La réduction de ces budgets aura un effet sur les perspectives et limitera l'influence des gouvernements dans le développement des énergies nouvelles. Le graphique 19 montre la prédominance de l'énergie nucléaire dans ces budgets de R&D les dernières décennies, avec environ deux tiers du montant des dépenses totales. Ces éléments statistiques remarquables sont le fruit de plusieurs facteurs. Premièrement, le secteur nucléaire comprend le financement de la fission et celui de la fusion, laquelle, en raison de la priorité donnée au projet de fusion du Réacteur expérimental ther-

monucléaire international (ITER), bénéficie à l'heure actuelle de la plus grande part des budgets réservés à la R&D. En deuxième lieu, le financement de la recherche nucléaire – en particulier celui d'installations pilotes ou de démonstration – est onéreux et disproportionné, surtout compte tenu du manque de services énergétiques rendus à court terme. La complexité technique et la nature innovante de ces installations de démonstration implique des dépassements de coûts et ne cesse d'occasionner des retards. Dans le cas du projet ITER, en 2006 son coût de construction était éva-

70 AIE, Research and Development Budget data-base (2010), <http://www.iea.org/stats/rd.asp>

lué autour de 5 milliards d'euros (7,4 milliards de dollars US) et son coût d'exploitation pour une période de 20 ans, à 5 autres milliards d'euros. Suite à une révision extensive du concept, les coûts de construction devraient au moins doubler.⁷¹ Il est à parier que l'ampleur de ces dépassements aura un impact sur la disposition des gouvernements à financer d'autres projets énergétiques, dans les décennies à venir.

Graphique 19 : Répartition des budgets de recherche et développement énergétique de l'OCDE (1974-2008) par technologie



Source : IEA, 2010.⁷²

Les coûts d'investissement

Les décisions concernant le choix des sources d'énergies à déployer, dans un marché compétitif, sont influencées par un certain nombre de facteurs. Sont néanmoins particulièrement importants, le coût de production de l'énergie, son prix de vente, le coût financier et les risques de son développement et de son déploiement. Comparativement à la plupart des autres sources, l'énergie nucléaire présente un désavantage financier, lié à des coûts initiaux élevés, des temps de construction longs et une difficulté – compte tenu de la complexité technologique – à respecter les budgets prévus. Comme

on le voit dans l'encadré ci-dessous, l'histoire du nucléaire est parsemée d'exemples, dans différents lieux, de coûts de construction non respectés.

Des dépassements de cette ampleur ne sont pas anodins, non seulement parce qu'ils affectent d'abord le coût du projet en question mais parce qu'ils affectent aussi le coût du capital des projets suivants et/ou du service en général. Comme le fait remarquer l'AIE, «l'incertitude qui règne autour des coûts de construction est un facteur de risque majeur pour les investisseurs».⁷³

Les dépassements de coûts dans le nucléaire

Aux États-Unis et dans une grande partie de l'Europe, les coûts de construction des centrales achevées dans les années 1980 / début 1990 étaient très élevés – et très supérieurs à ceux estimés aujourd'hui par les quelques entreprises publiques ayant des centrales en construction et par l'industrie en général.⁷⁴

MIT 2003

L'histoire nous montre, sans équivoque, à quel point les estimations données par l'industrie étaient sous- évaluées – un manque de précision étonnement consistant sur une période de 40 à 50 ans.⁷⁵

Jonathan Porritt – Président de la Commission du Développement durable du gouvernement britannique – 2005

Je n'ai aucune raison de croire ČEZ (l'Entreprise publique d'électricité tchèque qui a construit la centrale de Temelin). Ils m'ont menti neuf fois. Je ne vois pas pourquoi je devrais les croire la dixième fois.⁷⁶

Vaclav Havel – Président de la République tchèque de l'époque – 1999

71 «Fusion Dreams Delayed International Partners are Likely to Scale Back the First Version of the ITER Reactor,» *Nature* (27 Mai 2009) : pp. 488-489.

72 AIE, Données sur le budget de R&D (2010).

73 AIE, *Perspectives énergétiques mondiales* 2009, p. 268.

74 Massachusetts Institute of Technology, *The Future of Nuclear Power* (MIT, 2003).

75 Comité du commerce et de l'Industrie de la Chambre des communes «New Nuclear? Examining the Issues,» quatrième rapport de la session 2005-2006, Vol. I.

76 Cabinet du président, Communiqué du service de presse, (12 mai 1999).

Le *graphique 14*, repris d'un rapport de la Vermont Law School, illustre à la fois l'ampleur de la hausse du coût de construction des réacteurs aux États-Unis dans les années 1970 et 1980, et la fluctuation rapide des prévisions ces dernières années. Il est important de noter que ces hausses ne sont pas le fruit d'une réalité américaine, puisqu'aucun nouveau réacteur n'est en construction aux USA à l'heure actuelle (hormis l'éternel chantier de Watts Bar-2 démarré en 1972), mais vraisemblablement le résultat d'une analyse économique approfondie et d'un retour d'expérience dans d'autres parties du monde.

Ces coûts plus élevés de construction ne sont pas souvent repris dans l'analyse économique servant à l'évaluation des coûts de la production d'énergie.

Dans son analyse économique de 2009, l'AIE déclare que les coûts de construction instantanés du nucléaire se situent entre 3.200 et 4.500 dollars par kilowattheure.⁷⁷ Une estimation bien en dessous de l'ensemble des analyses réalisées par les universitaires de la Vermont Law School et autres.⁷⁸ Sur cette base, l'AIE prévoit que les coûts de production de l'électricité se situeront entre 55 et 80 dollars par mégawatt-heure (MWh).

Des coûts de construction élevés ont un impact considérable sur le coût total de l'électricité nucléaire. L'étude de l'Université de Vermont cite trois études sur l'impact de coûts de construction plus élevés sur les prix de l'électricité :

- le Modèle de l'Institut de technologie du Massachusetts (le MIT) suggère qu'à chaque hausse des coûts nets de construction (overnight costs)⁷⁹ de 1.000€, le coût net de production (*busbar costs*)⁸⁰ repris dans le plan financier de l'entreprise productrice d'électricité augmente de 1,8 cent \$US/KWh et de 2,4 cents dans celui du vendeur ;

- dans l'étude Harding, chaque hausse des coûts nets de construction de 1000€/kW, entraîne une hausse du coût net de production (*busbar costs*)⁸¹ de 2,4 cents \$US/KWh ;

- dans l'étude de l'Université de Chicago, la hausse du coût net de production est de 3 cents \$US/KWh par tranche d'augmentation des coûts nets de construction de 1000€/kW.

Si le coût de l'électricité par kilowatt installé utilisé est de 5.500€, la moyenne de ces chiffres donnerait une hausse de 40\$/MWh, ce qui correspond au terme le plus élevé des prévisions actuelles exigées de l'entreprise d'électricité et à l'estimation la plus faible des analystes indépendants ou de Wall Street (voir *graphique 14*). La moyenne des coûts de l'AIE se situerait alors entre 95\$ et 120\$/MWh.

L'Europe aussi a l'expérience de coûts plus élevés que prévus. En 2004, le prix donné à la première commande de réacteur pour le site d'Olkiluoto en Finlande, était d'environ 3 milliards d'euros. Cinq ans plus tard, on est encore à trois ans de l'achèvement prévu de la construction, laquelle aurait dû s'achever l'année dernière, avec un dépassement de budget de 90%, estimé aujourd'hui à 5,7 milliards d'euros.

La hausse des coûts de construction limite également la capacité des entreprises ou des gouvernements à investir dans d'autres centrales ou dans des stratégies alternatives de gestion de l'énergie. L'AIE estime à l'heure actuelle que l'utilisation accrue du nucléaire coulera 16% de l'investissement total. En supposant qu'un coût d'investissement plus en accord avec les attentes actuelles américaines et européennes entraîne, soit une réduction de l'investissement d'environ 40%, soit l'exigence d'une hausse similaire du financement. Quelle qu'elle soit, l'option sera source de difficultés pour le secteur de l'électricité.

77 AIE, *Perspectives énergétiques mondiales* 2009, p. 266.

78 Voir *New Nuclear – The Economics Say No*, Citi Investment Research & Analysis (novembre 2009).

79 Coûts hors frais financiers.

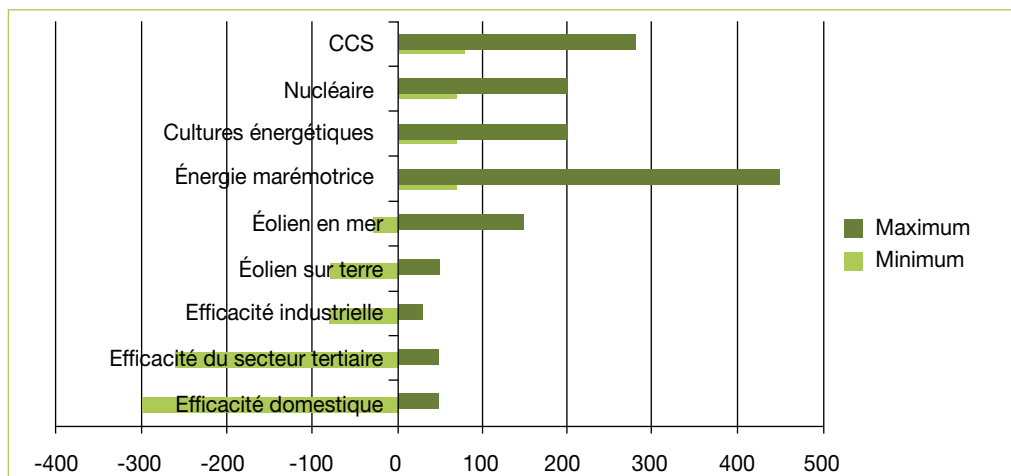
80 Le coût de production d'électricité au kilowattheure ; inclut le coût de capital, le service de la dette, le fonctionnement et la maintenance, et le combustible. Les barres ou jeu de barres de la centrale, se situent entre le générateur mais avant le transformateur sur le tableau de commande.

81 Coûts en limite du générateur, avant transport et distribution, mais incluant tous les frais de fonctionnement.

Le *graphique 20*, tiré du bilan 2002 du gouvernement britannique, indique les coûts de réduction d'émissions de carbone (ou coûts d'abattement) de différentes options d'approvisionnement non fossile et de l'efficacité énergétique. L'énergie

nucléaire serait bien plus chère que toutes les autres mesures d'efficacité énergétique et que l'éolien en mer et sur terre ; mais même niveau que les cultures énergétiques, et sans doute moins chère que les énergies marines.

Graphique 20 : Estimation des coûts de réductions d'émissions de carbone au Royaume-Uni en 2020 (en livres sterling/tC)



Source : PIU, 2002.

Des analyses plus récentes suggèrent que les coûts de l'énergie nucléaire et des énergies renouvelables sont peut-être plus proches que ceux donnés par le gouvernement britannique. En 2009, une étude d'évaluation des coûts d'abattement de gaz à effet de serre par différentes technologies de demande et d'approvisionnement du cabinet de conseil McKinsey,⁸² arrivait à la conclusion que «d'ici 2030, les coûts d'abattement de plusieurs technologies à faible émission de carbone seraient similaires. L'incertitude quant à savoir lesquelles de ces technologies seront les «performantes» reste grande». L'analyse de McKinsey énumère aussi une série de technologies nucléaires et renouvelables, nouvellement construites, dont les coûts de réduction des émissions de carbone oscillent entre 5 et 20€/tonne d'équivalent CO₂. À savoir, le géothermique : 5€/t d'éqCO₂ ; le nucléaire : 10€/t d'éqCO₂ ; énergie éolienne à faible pénétration :

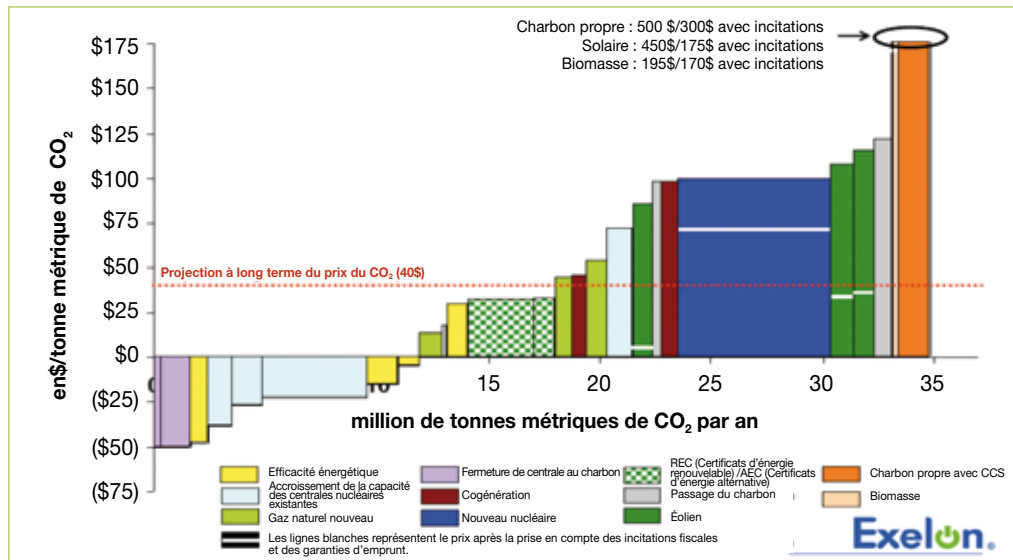
12 €/t d'éqCO₂ ; l'énergie solaire concentrée : 13€/t d'éqCO₂ ; l'énergie éolienne à haute pénétration : 20€/t d'éqCO₂.⁸³ En ce qui concerne l'énergie nucléaire, toutefois, l'analyse McKinsey se base sur le chiffre de 2005 de 3.000 € par kilowatt pour les pays développés (2.000€/kW pour les pays émergents). Cette estimation de coût de capacité installée est inférieure aux coûts de construction réels actuels et aux analyses indépendantes.

Le PDG d'Exelon, le plus grand exploitant nucléaire aux USA, déclarait récemment, qu'en deux ans seulement «l'économie des options à faible émission de carbone avait dramatiquement changé». Les estimations de coûts du nouveau nucléaire réalisées par la compagnie ont plus que doublé, pour atteindre environ 100\$/t CO₂ (voir le graphique suivant), dix fois le montant du coût évalué par McKinsey.⁸⁴

82 McKinsey, *Pathway to a Low Carbon Economy – Version 2 of the Global Greenhouse Gas Carbon Abatement Cost Curve* (McKinsey and Company, 2009).

83 Ibid., base sur une estimation de l'exposé, 8.1.3 page 63.

84 John Rowe, «Fixing the Carbon Problem Without Breaking the Economy», Exelon, 12 mai 2010

Graphique 21 : Estimation Exelon 2010 des coûts d'abattement (en dollars US/t de CO₂)

Source : Exelon, Mai 2010.

L'infrastructure et les réseaux

Il faut dans les prochaines décennies accélérer l'investissement dans l'infrastructure électrique quelle que soit la source d'énergie utilisée. Dans son rapport, *Perspectives mondiales de l'énergie 2009*, l'AIE conclut pour son Scénario de référence, que d'ici 2030, le montant total de l'investissement nécessaire au secteur de l'électricité s'élèvera à 13.700 milliards de dollars, dont 48% pour le transport (2.000 milliards de dollars) et la distribution (4.500 milliards de dollars). Les coûts d'investissement d'un système produisant moins d'émissions de carbone seront sans doute plus élevés.

Le réseau électrique existant fonctionne principalement avec la production de grandes exploitations centralisées utilisant des câbles à haute tension pour transporter l'électricité sur des longues distances, vers des zones urbaines ou industrielles, d'où des lignes à basse tension distribuent l'électricité au consommateur final. La plupart de ces réseaux ont été construits au temps où le secteur de l'électricité était sous le contrôle de l'État. Les nouvelles installations électriques n'avaient donc pas à payer la connexion au réseau nécessaire à leur exploitation. Ce qui par contre,

pourrait entraîner un coût supplémentaire et représenter un désavantage économique pour toute nouvelle capacité désireuse d'intégrer le marché à partir de locations n'appartenant pas au réseau existant, dans le cas où un paiement de renforcement de réseau ou de connexion leur serait exigé.

Dans le système actuel qui repose sur le modèle «prévision/approvisionnement», les compagnies d'électricité centralisées tentent de satisfaire en permanence la demande des consommateurs. Pourtant, comme nous l'avons fait remarquer dans le chapitre précédent, un tel système est inefficace et ne permet pas l'instauration d'un secteur énergétique à faibles émissions de carbone et durable. De plus, si l'on veut que le réseau puisse recevoir la production d'énergies renouvelables d'exploitants de tailles variées répartis sur une large zone géographique, il faut en changer l'étendue et le fonctionnement de manière conséquente. Dans certains cas, comme celui de l'éolien en mer, le besoin d'investissement dans le réseau ne fait aucun doute. Sans celui-ci, il n'y aura pas de développement.

La nécessité de tels changements est reconnue dans des déclarations politiques et dans des propositions d'investissements et plans de

relance économique en particulier. Dans de nombreux cas cependant, les définitions restent confuses, l'ampleur du changement en cours et sa radicalité sous estimées. Le terme «intelligent» (smart) est devenu synonyme de changement, sans que sa compréhension soit claire et universelle. On en trouve un exemple frappant dans le communiqué de presse du Ministère de l'énergie et du changement climatique britannique, publié juste avant la Conférence de Copenhague. Dans cette déclaration de 19 lignes, intitulée «Le système énergétique britannique devient intelligent», le terme «intelligent» est repris 22 fois.⁸⁵

Le plan de relance national britannique élaboré suite à la crise économique met en valeur simultanément, les activités «vertes» et la nécessité particulière de l'investissement dans les «réseaux intelligents» (*smart grids*). La banque HSBC basée à Londres a révélé dans une de ses analyses, que le total des fonds engagés à l'échelle mondiale dans des nouveaux réseaux s'élevait à 92 milliards de dollars, et que la part majoritaire de cette somme, environ 70 milliards, se situait en Chine (partie du financement général de 430 milliards de dollars alloué aux activités vertes).⁸⁶ Il reste néanmoins clair que les projets classés «à faibles émissions de carbone» ou «verts» ne sont pas tous différents des plans de maintenance, de rénovation ou d'expansion des réseaux existants.

Le paquet de relance de l'énergie européen met en avant Le Programme Énergétique Européen pour la Relance (PEER) grâce auquel des projets énergétiques européens clés ont bénéficié d'un cofinancement important du budget de l'Union, et ce à travers un plan de 4 milliards d'euros, dont les objectifs déclarés étaient «la protection de l'emploi et du pouvoir d'achat, l'amélioration de l'infrastructure et la création d'emplois dans les secteurs du futur à faible émission de carbone.»

Les projets d'investissements liés à l'infrastructure du gaz et de l'électricité ont reçu la plus grande part du budget (60%) avec 2,365 milliards d'euros, ensuite ceux liés à la capture et au stockage du carbone (CCS) avec la somme de 1,05 milliard d'euros (26% du budget) et enfin les projets d'énergie éolienne en mer avec 565 millions d'euros (14% du budget). Si les détails du financement des projets CCS et éoliens en mer sont disponibles, il n'en est rien de ceux liés à l'infrastructure du gaz et de d'électricité qui sont toujours à l'étude. On sait néanmoins de ces projets à l'examen qu'ils ne sont pas à faible émission de carbone, les énergies renouvelables en particulier, mais qu'ils renforcent le marché de l'électricité existant.⁸⁷

Qui plus est, 10% seulement des critères jugeant la pertinence des projets, concernent les questions environnementales, et même dans ce domaine, aucune référence n'est faite à «l'impact de l'action notamment sur la nature, les émissions, le bruit, l'usage de la terre et les mesures de réduction ou de compensation des impacts négatifs».⁸⁸ Dans la filière de l'éolien en mer, trois projets d'infrastructures de réseau majeurs dont le coût est estimé à environ 1,8 milliards, devraient recevoir un financement de 310 millions d'euros.

Alors que l'on se concentre sur l'investissement massif dans des infrastructures de transport à haute tension, on ne peut faire l'économie d'une analyse systémique des dynamiques conflictuelles de l'investissement. La priorité absolue donnée aux systèmes centralisés de transport et de distribution à haute tension – et à grande perte – en croissance perpétuelle, est un obstacle réel à l'introduction rapide de réseaux décentralisés et efficaces qui minimisent les pertes de distribution. Ils sont pourtant l'élément essentiel des futurs réseaux intelligents qui redéfinissent profondément les rôles du producteur et du consommateur d'électricité.

85 <http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/pn139/pn139.aspx> (16 mars 2010).

86 HSBC, *A Climate for Recovery ; The Colour of Stimulus Goes Green* (Février 2009).

87 OJ, Règlement (EC) No 663/2009 du 13 juillet 2009 du Parlement européen et du Conseil établissant un programme d'aide à la reprise économique dans lequel des aides financières communautaires sont accordées à des projets dans le domaine énergétique L/200/31 (31 juillet 2009).

88 Commission européenne, Journée d'information (2009), http://ec.europa.eu/energy/grants/docs/eepr/eepr_info_day_presentation_interconnections.pdf

Une voiture électrique, par exemple, transforme l'électricité en puissance mécanique de manière beaucoup plus efficace que le moteur à combustion. Cependant, à moins que l'électricité ne soit produite de manière durable, cette réalité physique reste purement théorique. Plutôt que de continuer à rafistoler la vieille infrastructure inefficace avec de nouveaux appareils qui n'amélioreront de toute façon pas la performance du système global, il serait essentiel de réorienter les investissements d'infrastructure dans une approche systémique complètement différente.

Des difficultés liées à la capacité limitée d'intégration par les réseaux électriques de quantités plus larges d'énergies renouvelables intermittentes, se sont présentées plus d'une fois ces dernières années. Ces problèmes sont exacerbés par l'existence de grandes centrales nucléaires difficiles à gérer et exigeant un accès *permanent* au réseau électrique. L'expansion ces dernières années également des énergies renouvelables a montré que les projets respectaient les délais de construction et le budget et que la connexion au réseau électrique ne posait pas de problèmes. Il est par ailleurs plus logique de donner la priorité aux énergies renouvelables puisqu'elles n'utilisent pas de combustible. À moins d'un changement de système, l'utilisation inefficace de l'énergie renouvelable s'amplifiera. Une réforme fondamentale de la gestion des réseaux électriques, impliquant un investissement conséquent dans une infrastructure nouvelle et le développement du produit, est donc indispensable. Celle-ci doit être basée sur une meilleure efficacité de l'approvisionnement qui donne la priorité à la production et l'utilisation de l'énergie locale, apporte des réponses sensibles à la consommation et au stockage, intègre les réseaux électriques régionaux et met en place des agglomérats de micro-réseaux afin de limiter le besoin de création de réserves et exploite, là où nécessaire, des sources d'énergie renouvelable abondantes, comme l'éolien en mer.

Mécanismes du marché

La tendance générale à une plus grande libéralisation du marché ces dernières décennies, a eu comme effet un affaiblissement de l'intervention de l'État dans la gestion des marchés de l'électricité et du gaz. Cela ne s'est pas traduit pour autant par une sorte de «laisser aller» total de l'approvisionnement énergétique, mais plutôt par l'introduction de mécanismes de soutien à des technologies particulières, davantage basés sur les mécanismes de marché.

Ceux-ci ont été utilisés très récemment – dans certains cas mais pas tous – pour aider à implanter les énergies renouvelables. Ont été introduits dans le marché de l'électricité, en particulier, des mécanismes comme les tarifs de rachat garantis et les garanties sur parts de marché. Début 2009, 73 pays au moins, s'étaient fixé des objectifs politiques sur les énergies renouvelables. En ce compris des objectifs au niveau de l'État et de la province dans les États-Unis et le Canada où il n'existe pas d'objectifs nationaux.⁸⁹ Ces mécanismes politiques sont le fondement du succès des énergies renouvelables.

Il est important de noter qu'en Europe, ces mécanismes ont été légalement déclarés comme ne constituant pas des aides d'État. La Cour de justice européenne a clairement statué en 2001, dans une affaire qui a fait jurisprudence, que des tarifs de rachat bien structurés ne constituaient pas une aide d'État, mais se justifiaient comme des moyens d'équilibrer les coûts externes non repris dans la tarification. Reprenant ce jugement, la Commission européenne déclare que dans une perspective d'efficacité économique, un certain nombre de défaillances du marché justifient l'intervention de l'État dans les marchés d'électricité renouvelable.⁹⁰ Les raisons invoquées étaient les suivantes :

— «puisque l'internalisation complète [...] des coûts externes n'est politiquement pas réalisable dans la plupart des pays aujourd'hui [...] le soutien aux énergies renouvelables, compte tenu

89 REN 21, *Renewables Global Status Report 2009 Update* : Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2009).

90 Commission européenne, Communication de la Commission : *Aide en faveur de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables*, SEC (2005) 1571, Com(2005)627 final, (2005).

de leur taux d'émission inférieur, est justifié du point de vue de l'efficacité.»

— «même si certaines énergies renouvelables, comme l'éolien en site exceptionnel, affichent des structures de coûts proches des sources conventionnelles, les énergies renouvelables restent généralement considérées comme n'étant pas encore compétitives dans un marché non protégé, à fortiori si ce marché est toujours faussé par de nombreuses subventions directes ou indirectes en faveur du système électrique existant, et s'il reste basé sur une infrastructure majoritairement construite à l'époque où le secteur de l'électricité appartenait à l'État [...] malgré les perspectives d'avenir à long terme pour les énergies renouvelables, le marché continue de sous-investir dans la recherche et le développement. Raison pour laquelle les gouvernements devraient encourager l'innovation, à l'aide de mesures incitatives.»

— «À l'heure actuelle, les systèmes réglementaires favorisent les énergies conventionnelles qui ont, en plus, déjà bénéficié par le passé d'un vigoureux soutien gouvernemental pour la R&D.»

Comparaison avec les subventions au nucléaire américain

Les technologies nucléaire et éolienne ont, durant leur quinze premières années, produit une quantité d'énergie comparable (nucléaire : 2,6 milliards KWh ; l'éolien : 1,9 milliards kWh), alors que les subventions accordées au nucléaire étaient 40 fois supérieures à celles de l'éolien (39,4 milliards \$ vs. 900 millions \$).

Marshall Goldberg, «Federal Energy Subsidies : Not All Technologies Are Created Equal», REPP no. 11 (Juillet 2000)

La pénurie de commandes de nouvelles centrales nucléaires dans les marchés les plus libéralisés a entraîné une diminution des mécanismes de soutien technologique en cours et ce malgré la disponibilité et l'affectation croissantes de financements. On en trouve l'exemple le plus illustratif

aux USA avec la Loi de 2005 sur la politique de l'énergie qui définissait son soutien à l'énergie nucléaire dans les termes suivants :

- les crédits d'impôt à la construction : 1,8 cent de crédit d'impôt pour chaque kWh produit par les nouveaux réacteurs pendant huit ans pour six réacteurs – coût pour le trésor américain : 5,7 milliards de dollars ;
- des garanties d'emprunt pour 6 à 8 réacteurs (jusqu'à 18,5 milliards) ;
- un cadre de soutien contre les retards des autorités de réglementation et judiciaires jusqu'à 500 millions de dollars pour les deux premiers réacteurs et 250 millions pour les 4 suivants ;
- des fonds supplémentaires pour la recherche et le développement d'une valeur de 850 millions de dollars ;
- une aide aux coûts historiques de démantèlement (jusqu'à 1,3 milliards de dollars).

Christopher Crane, président d'Exelon Generation, une des compagnies ayant révélé son intention de construire de nouvelles centrales nucléaires, déclarait en décembre 2007 : «Si le programme de garantie d'emprunt n'est pas mis en place d'ici 2009, nous ne maintiendrons pas nos projets». ⁹¹ Ce mécanisme est devenu particulièrement important en janvier 2010, quand le Président Obama annonça qu'il triplait le potentiel de financement, garantissant qu'il libérerait jusqu'à 54 milliards de dollars dans le cadre de sa proposition de loi sur l'énergie.

Comme nous l'avons noté, les mécanismes propres à l'énergie nucléaire sont manifestement moins nombreux dans bien d'autres pays aux marchés de l'électricité libéralisés. Des mécanismes d'aide élargis qui permettraient au nucléaire de bénéficier de soutiens financiers complémentaires, sont cependant développés. En octobre 2008, au sommet informel de Hampton Court, pendant le mandat de Tony Blair, l'économiste Dieter Helm, présenta un document informel lui aussi, intitulé «European Energy Policy, Securing Supplies and

91 «Loan Guarantees Tagged as Key for Nuclear Builds,» *Power, Finance and Risk* (21 décembre 2007).

En effet, Exelon a gelé tout investissement dans la construction de nouveaux réacteurs nucléaires.

Meeting the Challenge of Climate Change.»⁹² («La politique énergétique européenne, la sécurité des approvisionnements et les réponses au défi du changement climatique»). Le document suggérait que le besoin d'investissement – lié au retrait d'une grande partie de la capacité de production actuelle – était l'occasion idéale d'investir dans des «sources d'énergies à faible émission de carbone». Le document déclarait en outre que «l'UE devait envisager d'élargir la définition des énergies renouvelables pour y inclure un certain nombre de technologies de réduction d'émissions».

Il existe des cas où les tentatives de reclassification de l'énergie nucléaire comme source d'énergie renouvelable sont plus explicites. En Arizona, les dispositions du projet de Loi sur l'énergie renouvelable, proposant d'inclure le nucléaire dans la définition des énergies renouvelables, ont finalement été rejetées en février 2010. Votée, cette loi aurait permis d'inclure le nucléaire dans le quota de 15% d'électricité d'origine renouvelable exigé des compagnies productrices. Suite au retrait de la proposition des éléments concernant le nucléaire, le gouverneur de l'Arizona, Jan Brewer fit la déclaration suivante : «Le message envoyé aux employeurs du monde entier est clair et unanime – L'Arizona restera la première destination des industries solaires.»⁹³

Le 8 mars 2006, la Commission européenne publiait son Livre Vert «Une stratégie européenne pour une énergie sûre, compétitive et durable.»⁹⁴ On y trouve le paragraphe suivant sur les technologies à faibles émissions :

Il serait en outre approprié de se mettre d'accord sur un objectif stratégique global assurant l'équilibre entre les objectifs fixés sur l'utilisation d'énergie durable, la compétitivité et la sécurité d'approvisionnement. Développés sur la base d'une évaluation approfondie de l'impact, ceux-ci serviraient

de référence d'évaluation du développement du bouquet énergétique européen et permettraient à l'UE de limiter sa dépendance croissante aux importations. Un des objectifs, par exemple, pourrait être un taux minimum d'énergies issues de sources sûres et à faibles émissions de carbone dans le mix énergétique européen. S'il existait, un tel point de référence, serait indicateur des risques potentiels de dépendance aux importations, révélateur d'une éventuelle aspiration générale à un développement à long terme des sources d'énergie à faibles émissions de carbone et il permettrait l'identification des mesures essentiellement internes à prendre pour atteindre ces objectifs.

De telles mesures commencent à être proposées en Europe. En février 2010, l'Office de régulation britannique – l'OFGEM – a annoncé «l'existence d'un consensus croissant sur la conviction que laisser les arrangements du système de marché et autres mesures incitatives en l'état, n'était pas une option» pour la sécurité de l'approvisionnement et l'environnement.⁹⁵ Une des mesures prises en considération par l'OFGEM, était de proposer à toutes les filières de production, y compris les énergies renouvelables et nucléaire, des offres de capacité susceptibles de fournir des indications plus claires sur les investissements à long terme.

Parce qu'elle cherche à équilibrer les inégalités économiques et environnementales existantes, l'Europe a justifié légalement l'utilisation des mécanismes de marché afin d'élargir le déploiement des énergies renouvelables. Elle favorise en outre le développement des technologies innovantes n'ayant bénéficié, ni des budgets de R&D historiquement plus importants, ni de la construction de l'infrastructure en cours quand les États étaient propriétaires du système. Ces justifications ne s'appliquent pas à l'énergie nucléaire dont la technologie a bénéficié et béné-

92 http://www.fco.gov.uk/Files/kfile/PN%20papers_%20energy.pdf

93 «Bill to Classify Nuclear as Renewable Energy Killed,» Phoenix Business Journal (22 février 2010), <http://phoenix.bizjournals.com/phoenix/stories/2010/02/22/daily51.html>

94 http://europa.eu.int/comm/energy/green-paper-energy/index_en.htm

95 OFGEM, «Action Needed to Ensure Britain's Energy Supplies Remain Secure,» Communiqué de presse (4 février 2010).

ficie encore de la part la plus importante des fonds accordés à la recherche et au développement ; a profité de la mise en place de l'infrastructure ; ne porte pas la responsabilité de la totalité de son coût environnemental actuel et potentiel. Néanmoins, comme nous l'avons fait remarquer, les États-Unis prennent des mesures pour soutenir financièrement la réintroduction du nucléaire pendant que l'Europe cherche à s'éloigner des objectifs spécifiques de l'introduction des énergies renouvelables et la création d'un objectif «faible contenu en carbone». De telles mesures auront comme effet de réduire l'efficacité des politiques d'énergies renouvelables mais plus encore de faire douter les investisseurs de la sincérité de l'engagement des gouvernements dans les énergies renouvelables.

L'objectif de ce chapitre était d'examiner les coûts d'opportunité des énergies nucléaire et renouvelables. Beaucoup d'autres questions mériteraient également de faire l'objet d'une étude compa-

ratrice détaillée. Dans une étude publiée dans le journal *Energy and Environmental Science*,⁹⁶ Mark Jacobson examine par exemple la capacité d'une série de sources énergétiques à apporter des réponses au changement climatique, la pollution de l'air et la sécurité énergétique, en même temps qu'il aborde un certain nombre d'autres problèmes comme l'approvisionnement en eau, l'utilisation des sols, la vie sauvage, la disponibilité des ressources, la pollution thermique, la pollution de l'eau, la prolifération nucléaire et la malnutrition. Dans les conclusions de cette étude, l'énergie nucléaire⁹⁷ est à la traîne de toutes les options d'énergies renouvelables utilisées dans la production d'électricité. Les technologies prises en compte étaient le solaire photovoltaïque, l'énergie solaire concentrée, l'éolien, la géothermie, l'hydraulique, l'énergie marémotrice, les vagues et la houle, l'énergie nucléaire et le charbon avec CCS (capture et stockage du carbone) ainsi que les biocarburants, le maïs et la cellulose.

96 Mark Z. Jacobson, «Review of Solutions to Global Warming, Air Pollution and Energy Security,» *Energy and Environmental Science* (1 décembre 2008).

97 L'impact de la politique énergétique nucléaire sur le changement climatique et l'environnement abordé en profondeur dans un article de Félix Matthes, voir http://www.boell.de/downloads/ecology/NIP6_MatthesEndf.pdf

Conclusions

Le nucléaire était et reste encore le bénéficiaire d'interventions gouvernementales importantes. Comme l'illustre cet exemple : alors que pendant leurs quinze premières années, les technologies nucléaires et éoliennes aux États-Unis produisaient une quantité comparable d'énergie (nucléaire : 2,6 milliards de kWh ; éolien : 1,9 milliards de kWh), les subventions allouées au nucléaire dépassaient de 40 fois celui de l'éolien (de 39,4 milliards de dollars vs. 900 millions). Aujourd'hui encore, malgré le caractère exceptionnel de nouvelles commandes de centrales nucléaires et l'essor d'autres technologies, l'énergie nucléaire continue de jouir d'un accès aux fonds gouvernementaux pour la recherche et le développement, sans comparaison.

Par ailleurs, elle bénéficie toujours de subventions indirectes conséquentes⁹⁸ liées à la non répercussion des coûts environnementaux sur les prix de l'électricité, grâce en particulier aux garanties gouvernementales pour l'entreposage à long terme ou leur stockage définitif. Une assistance financière plus directe est également disponible à travers les limitations et les garanties financières gouvernementales pour couvrir la responsabilité

civile, ainsi qu'à travers les garanties d'agences de crédit à l'exportation, les crédits d'impôt en faveur de la production et les garanties d'emprunt.

Globalement, la construction nucléaire se caractérise par une tendance aux dépassements de coûts et aux retards de réalisation. L'histoire des deux plus importants programmes de construction au monde, l'un aux États-Unis et l'autre en France, le confirme avec des coûts de construction multipliés par cinq pour le premier, et par trois pour le second. L'explication de cette situation n'est pas liée à des problèmes de tête de série, mais plutôt aux problèmes systémiques inhérents à ce genre de projet : gigantesque, politique et compliqué. Les expériences récentes d'Olkiluoto en Finlande et de Flamanville en France, nous le rappellent. L'augmentation des coûts et les retards liés à la construction nucléaire exigent non seulement des investissements de plus en plus importants, mais les retards entraînent aussi la hausse des émissions dans le secteur.

D'un point de vue systémique, il est clair que les deux approches, celle du nucléaire et celle

98 Pour une discussion plus approfondie sur l'histoire des fonds publics accordés au nucléaire en Allemagne, voir *Green Budget Germany* (2009) « Staatliche Förderungen der Atomenergie im Zeitraum 1950 bis 2008. »

de l'efficacité énergétique+énergies renouvelables s'excluent mutuellement, et pas seulement en termes d'investissements. Cela se confirme de plus en plus dans des pays ou régions où les énergies renouvelables prennent une part croissante dans la production électrique, comme en Allemagne et en Espagne. Les raisons principales en sont les suivantes :

- **la concurrence face à des fonds d'investissement limités.** L'euro, le dollar ou le yuan qu'on ne peut dépenser qu'une fois, devrait l'être dans les options qui garantissent les réductions d'émissions les plus larges et les plus rapides. Le nucléaire est une des options les plus chères mais aussi la plus lente;

- **la surcapacité réduit à néant les incitations à l'efficacité.** Des unités de production d'électricité larges et centralisées qui favorisent des surcapacités structurelles qui elles mêmes ne laissent aucune chance à l'efficacité;

- **le besoin d'une capacité flexible complémentaire.** Augmenter la part d'électricité renouvelable exige, pour couvrir la charge moyenne, des centrales flexibles et complémentaires et non de grandes centrales électriques inflexibles, générant uniquement la production de base;

- **les futurs réseaux à double sens.** Les compteurs intelligents, l'électroménager intelligent et les réseaux intelligents arrivent. La logique exigerait un système entièrement reconçu dans lequel l'utilisateur joue aussi un rôle dans la production et le stockage. Une démarche radicalement différente d'une approche centralisée descendante («top-down»).

Dans l'objectif d'une planification future, dans les pays émergents en particulier, il est crucial que les caractéristiques systémiques qui opposent les stratégies du nucléaire à celle de l'efficacité énergétique + énergies renouvelables, soient clairement identifiées. Nombre d'effets systémiques sont insuffisamment documentés voire même compris. Le besoin de recherche et d'analyse dans le futur est criant.

Il est d'autant plus important que la prochaine décennie jouera un rôle capital dans la détermination de la durabilité, de la sécurité et

de la viabilité financière du secteur énergétique, pour au moins une génération. Trois moteurs et considérations politiques clés capables de transformer la façon dont les services énergétiques sont fournis et dont les vecteurs d'énergie (l'électricité, l'hydrogène...) et les combustibles sont produits, transportés et utilisés, sont réunis. Il s'agit des suivants :

- la prise de conscience croissante du besoin d'agir pour réduire les menaces liées à un changement climatique dangereux et la réalisation du rôle important que joue le secteur énergétique dans cette situation ;

- une compétition mondiale accrue amenée à s'amplifier davantage, pour l'accès aux ressources d'énergie traditionnelles, combinée à une demande croissante non satisfaite malgré les nouvelles découvertes d'importantes réserves de ressources énergétiques ;

- la nécessité d'accélérer l'investissement dans le secteur énergétique, en raison de l'obsolescence des infrastructures existantes pour ce qui est des pays de l'OCDE, et en raison d'une urbanisation accélérée et d'une demande de services énergétiques différents et amplifiés, pour ce qui est des pays émergents.

Comme le font remarquer l'Agence Internationale de l'Énergie de l'OCDE et d'autres, le «business as usual» n'est pas une option. Les énergies renouvelables sont une réussite industrielle majeure, si pas «la» réussite de la dernière décennie. En 2009, hormis la grande hydraulique, pour la deuxième année consécutive, les investissements en faveur de nouvelles capacités renouvelables dans le monde étaient plus importants que ceux en faveur des combustibles fossiles. En 2009, en Europe, l'éolien a bénéficié d'un investissement de 13 milliards d'euros, lequel a contribué à hausser la part de l'éolien à 39% de l'ensemble des nouvelles installations de production d'électricité – la deuxième année consécutive où l'énergie éolienne prend l'avantage sur toutes les autres technologies de production. Cette même année, la part des installations reposant sur les énergies renouvelables représente 61% des nouvelles connexions au réseau électrique européen. Le secteur énergétique européen poursuit

l'abandon du charbon, du pétrole et du nucléaire, avec pour chacune de ces technologies, plus d'arrêts que de mises en service. Même s'il apparaît clairement que certains pays sont plus avancés dans leur entreprise de déploiement des énergies renouvelables, la tentative de les utiliser davantage avec des objectifs affichés dans le domaine, se concrétise aujourd'hui dans au moins 73 pays. Beaucoup de pays émergents sont à la pointe de la fabrication et de l'utilisation des renouvelables. Aujourd'hui le leader mondial dans l'usage du solaire thermique, la Chine, responsable en 2009 de la hausse la plus importante de capacité d'énergie éolienne installée, pourrait devenir d'ici peu le plus grand fabricant de turbines éoliennes. En outre, l'utilisation des énergies renouvelables devrait tripler durant la prochaine décennie en Europe, et augmenter de manière significative dans la plupart des pays de l'OCDE.

L'usage des énergies renouvelables a démontré qu'il s'agissait d'une gamme de technologies essentielles pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur électrique. Leur rôle dans d'autres secteurs, en particulier le transport et le chauffage et refroidissement, doit néanmoins être encore pleinement reconnu. C'est pourquoi, leur part dans le mix énergétique est bien plus faible que dans l'électricité dans beaucoup de pays, si l'on ne prend pas en compte les sources d'énergies traditionnelles et non commerciales.

Il reste capital de prendre conscience, que sans un effort considérable d'efficacité dans tout le système énergétique, les politiques en faveur des énergies renouvelables ne réaliseront pas l'objectif indispensable de réduction des émissions. Un exemple frappant illustre ce constat, celui du secteur électrique en Allemagne, où la consommation a augmenté plus vite que la décarbonisation du kWh, balayant ainsi la plupart des effets bénéfiques

pour l'environnement du programme des énergies renouvelables, très réussi par ailleurs. Il faut pour commencer prendre des dispositions d'investissements à long terme dans l'infrastructure, la planification urbaine en particulier, la conception des bâtiments et l'utilisation des sols. Nous ne pouvons plus nous permettre de continuer à créer davantage de besoins artificiels de transports parce que nous construisons des bureaux et des centres commerciaux dans des zones non résidentielles. Nous n'avons ni le temps ni les ressources à gaspiller dans l'investissement de constructions inefficaces qu'il faudra mettre aux normes (peut-être) par la suite.

Si l'on veut intéresser le financement privé au secteur de l'efficacité énergétique+énergies renouvelables, il est essentiel de rétablir sa confiance dans la longévité et l'efficacité des politiques énergétiques gouvernementales. Les obligations «investment grade»⁹⁹ des politiques en faveur des énergies renouvelables doivent être maintenues et étendues au long terme. Afin de garantir la disponibilité d'un soutien adéquat mais non excessif, ces politiques devraient idéalement exposer les perspectives et objectifs pour chaque filière d'énergie renouvelable, en reflétant la situation du marché et de chaque technologie. Le fait que la contribution des énergies renouvelables non hydrauliques à l'approvisionnement global en électricité soit relativement faible, illustre à la fois le potentiel du marché et l'ampleur de l'investissement à court et long terme. Les gouvernements doivent donner des signes clairs, faisant la preuve de leur engagement à long terme dans le secteur. L'envoi de messages contradictoires à travers des propositions confondant des objectifs d'énergies renouvelables avec d'autres de «faible émission de carbone» sèmera le doute et entraînera avec certitude le report voire la suspension des investissements.

99 Voir Kirsty Hamilton, *Unlocking Finance for Clean Energy: The Need for «Investment Grade» Policy*; Hamilton est Chercheur associé à Chatham House, http://www.chathamhouse.org.uk/files/15510_bp1209cleanenergy.pdf (15 mars 2010).

Antony Froggatt est Directeur de recherche à Chatham House, l'Institut Royal des Affaires Internationales à Londres, où il est spécialiste des questions liées au changement climatique, à la politique énergétique européenne et l'énergie nucléaire. Depuis plus de vingt ans, il travaille sur la politique énergétique européenne pour le compte d'ONG et de «think tanks» et en tant que consultant auprès de gouvernements européens, de la Commission et du Parlement européens et auprès d'entreprises commerciales. À Chatham House, il est coauteur de rapports sur les synergies et les conflits entre la politique énergétique et la sécurité climatique et le développement à faibles émissions de carbone, en Chine.

Mycle Schneider vit et travaille à Paris comme consultant indépendant international sur l'énergie et la politique nucléaire. Il est actuellement, entre autres, conseiller sur les politiques en matières d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables au programme ECO-Asia de l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID). De 1983 à 2003, Mycle Schneider a été directeur exécutif du service d'information sur l'énergie WISE-Paris et rédacteur en chef du site d'information *Plutonium Investigation*. De 2000 à 2009, il a été conseiller du Ministère allemand de l'environnement. Depuis 2004, il est chargé de cours sur les Stratégies environnementales et énergétiques du MSC international «Project Management for Environmental and Energy Engineering» de l'École des Mines de Nantes, en France. En 2006/2007, il a fait partie du consortium de consultants analysant pour le compte de la Commission européenne les questions du financement du démantèlement et de l'élimination des déchets nucléaires. Mycle Schneider a prodigué ses services d'information et de conseils à une grande variété de clients dont l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), Greenpeace International, l'UNESCO, le World Wide Fund for Nature (WWF), la Commission européenne, la Direction générale de la recherche du Parlement européen, et l'Institut français de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). En 1997, il a partagé avec Jinzaburo Takagi, le «Prix Nobel Alternatif» (*Right Livelihood Award*) pour leur travail sur les questions du plutonium.



L'énergie nucléaire comme «technologie transitoire» ? Les jours de grand vent et de faible consommation en Allemagne, la demande énergétique est en grande partie couverte par l'énergie éolienne. Comme la production des centrales nucléaires existantes (ainsi que celle des grandes centrales au charbon) ne peut être réduite dans un délai court pour des raisons économiques, l'excédent énergétique est exporté à perte dans d'autres pays. Une folie qui ne manque pas de méthode.

Un grand nombre de questions systémiques liées à la compatibilité ou l'incompatibilité d'une approche nucléaire centralisée avec une stratégie efficacité énergétique + renouvelables décentralisée, n'ont pas encore été examinées en profondeur. Quelles conséquences sur le développement du réseau électrique et comment les choix de ses caractéristiques influenceront-ils les stratégies d'investissements dans la production électrique ?

Dans quelle mesure la taille unitaire des centrales sera-t-elle coresponsable de surcapacités structurelles et donc d'un manque d'incitation à l'efficacité ? Comment les subventions/subsides gouvernementaux stimuleront-ils la prise de décision à long terme ? Les grandes centrales électriques utilisant des énergies renouvelables reproduiront-elles les mêmes effets systémiques que les grandes centrales à charbon ou nucléaires ?

Ce document fait le point sur la situation et soulève les questions qu'il est urgent d'aborder. Il est clair que dans les pays qui ont opté pour l'énergie nucléaire, celle-ci n'a pas permis un accès généralisé et juste aux services énergétiques. Mais une stratégie nucléaire est-elle réellement en contradiction avec le développement dans le futur d'un service d'énergie propre basé sur l'efficacité + les renouvelables ? Il semble très clairement que cela soit le cas.

 **HEINRICH BÖLL STIFTUNG**
UNION EUROPÉENNE

Rue d'Arlon 15, -1050 Bruxelles, Belgique
T +32 2 743 41 00 **F** 32 2 743 41 09
E brussels@boell.eu **W** www.boell.eu

