



PETIT DEJEUNER DE PRESSE

Vendredi 17 mars 2006

**Sécurité énergétique, développement durable,
Quelle place pour le nucléaire dans le monde ?**

INTERVENANTS

Jean-Marie Chevalier,
Professeur à l'Université Paris-Dauphine,
Associé au Cambridge Energy Research Associates

Didier Kechemair,
Directeur adjoint des relations internationales du CEA

Philippe Pradel,
Directeur de l'énergie nucléaire du CEA

SOMMAIRE

L'option nucléaire : une ressource pour le monde, un atout pour la France

Le nucléaire dans le monde : acquis et perspectives

- Etats-Unis :

une reprise annoncée dès 2000, confirmée et élargie début 2006 par l'initiative GNEP

- Europe :

renaissance du nucléaire en Europe? Une situation contrastée, une dépendance croissante à l'égard du gaz et du pétrole

- Russie :

une reconquête de la puissance fondée sur l'énergie

- Chine :

un programme nucléaire ambitieux pour accompagner la croissance, une volonté d'autonomisation sur l'ensemble la filière nucléaire, un marché potentiellement créateur de standards

- Inde :

des perspectives importantes de développement du nucléaire pour pallier le défaut de ressources énergétiques fossiles

L'option nucléaire : une ressource pour le monde, un atout pour la France

Un contexte instable et évolutif, des besoins croissants en énergie dans le monde, une nécessité de limiter les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance à l'égard des hydrocarbures.

Quels que soient les scénarios considérés à horizon 2050, les besoins en énergie vont croître compte tenu de la croissance démographique et des besoins de développement des pays émergents. Une part importante de cette augmentation va se faire en Asie – principalement la Chine et l'Inde – mais, même si les pays développés déploient des efforts d'efficacité énergétique et de maîtrise de l'énergie, les progrès en intensité énergétique ne répondront pas à l'augmentation des besoins liés à la croissance économique. Cette croissance économique devra de plus s'accompagner d'un transfert entre énergies, des énergies fossiles vers les énergies non émettrices de gaz à effet de serre.

S'il est manifeste que toutes les sources d'énergie devront être mises à contribution, un enjeu essentiel est de développer le « **bouquet énergétique** » optimal en termes de disponibilité et de préservation des ressources, de coût, d'accès de tous à l'énergie et de maîtrise des impacts environnementaux.

Les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) qui satisfont actuellement 87 % de la demande en énergie primaire constitueront encore dans les 50 prochaines années l'essentiel de l'approvisionnement énergétique mondial. Cette situation soulève des difficultés croissantes d'accès aux ressources (cf. AIE, World Energy Outlook, 2004), avec les tensions économiques et géopolitiques qui en résultent, et de production croissante de gaz à effet de serre, avec leur impact sur le risque de changement climatique. Ces difficultés sont exacerbées dans le cas des transports (un tiers de l'énergie primaire consommée) qui sont aujourd'hui dépendants à 95% du pétrole. Cette situation n'est pas durable sur le très long terme, ni du point de vue de l'environnement – les conséquences de l'augmentation de la variabilité du climat et de certains phénomènes extrêmes sont encore inconnues mais seront d'autant plus importantes que l'augmentation de la température moyenne à la surface sera forte – ni du point de vue des ressources. Nous allons en quelques siècles consommer des ressources fossiles qui auront mis des millions d'années à se constituer.

Les énergies renouvelables constituent une source d'énergie d'appoint appréciable dont l'utilisation se justifie, en particulier pour les systèmes décentralisés difficiles à connecter au réseau électrique. Elles ne sont toutefois pas en mesure d'assurer une production massive en base. Ainsi le recours à une énergie par définition intermittente comme l'éolien oblige-t-il pour approvisionner le réseau en base à recourir à des sources complémentaires généralement d'origine fossile : centrales à cycle combiné à gaz ou centrales thermiques « classiques » au charbon. Alors que la substitution partielle du charbon par de l'éolien est vertueuse au Danemark, qui recourt largement au charbon pour produire de l'électricité, en France, où 80% de la production électrique est d'origine nucléaire, donc non émettrice de gaz à effet de serre, le recours aux ENR ne représente pas de bénéfice environnemental de ce point de vue.

Depuis le début des années 2000, la perception du paysage énergétique a profondément changé :

- La prévention du changement climatique est devenue l'enjeu environnemental majeur dans la mesure où ses effets sont peu réversibles, mondiaux et ses conséquences pour l'espèce humaine pas totalement connues. Si les stratégies pour lutter contre ce phénomène varient selon les blocs géopolitiques (mise en œuvre du protocole de Kyoto et réflexion sur l'après-Kyoto, partenariat Asie-Pacifique regroupant les pays fortement utilisateurs de charbon...), toutes les grandes régions du monde se déclarent liées par l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Les prix du pétrole et dans une moindre mesure du gaz ont été multipliés par trois, de 20 dollars le baril en 1999 à environ 60 dollars aujourd'hui.
- La question de la dépendance énergétique à l'égard de pays ou de zones instables politiquement est redevenue cruciale, comme l'ont montré les événements au Moyen-Orient et en Russie. Il devient de plus en plus nécessaire de réserver les hydrocarbures aux usages dans lesquels ils ne sont pas ou peu substituables, notamment le transport dans le cas du pétrole et de ses dérivés.

Dans un tel contexte, le nucléaire connaît partout dans le monde un regain d'intérêt, qui a été bien illustré par la conférence ministérielle internationale de l'AIEA qui s'est tenue à Paris en mars 2005 et a réuni ministres, personnalités officielles de haut niveau et experts de 74 Etats et 10 organisations internationales. Cette conférence a débouché sur une résolution affirmant que l'énergie nucléaire pouvait apporter une contribution majeure à la satisfaction énergétique d'un grand nombre de pays du fait de nombreux atouts :

- quasi-absence d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique ;
- compétitivité et stabilité des coûts de production électrique, dans lesquels le combustible compte pour moins de 10% et dans lesquels la plupart des « externalités », notamment la gestion des déchets, sont intégrées ;
- contribution à la sécurité des approvisionnements énergétiques en diminuant l'exposition à la volatilité des prix et aux tensions sur la production des combustibles fossiles ;
- avec des technologies du futur, potentiel d'utilisations non électrogènes de la production nucléaire : production de chaleur pour l'industrie, d'eau potable, d'hydrogène...

Ce regain d'intérêt s'est accompagné de changements rapides et en profondeur dans les stratégies des « grands » pays nucléaires – initiative GNEP aux USA avec adhésion à la stratégie retenue dès l'origine par la France du cycle fermé, initiative Poutine en Russie cherchant à constituer des installations régionales du cycle, ambition affichée par l'Inde et la Chine de développer les technologies nucléaires actuelles et du futur, notamment les réacteurs à neutrons rapides.

Ces évolutions constituent pour la France et son secteur nucléaire de fortes opportunités mais aussi des défis et une concurrence accrue. C'est pourquoi il est important de conserver et consolider ces atouts.

France : un leadership industriel sur l'ensemble du cycle de production nucléaire et sur la R&D.

La France dispose d'une industrie qui couvre la totalité du cycle de production du combustible nucléaire et des réacteurs, ainsi que d'un retour d'expérience de plus de trente ans d'exploitation d'un parc de réacteurs à eau pressurisée et d'une R&D investie dans les grands programmes multilatéraux - Génération IV, INPRO, programmes européens – ainsi que dans des coopérations bilatérales avec les pays nucléaires dotés d'une expertise significative.

Stabilité et compétitivité économique du coût de production du kWh.

Grâce au nucléaire, l'électricité produite en France est aujourd'hui une des plus compétitives d'Europe et le fait que le kWh nucléaire soit très peu sensible aux fluctuations des prix des matières premières est un facteur de stabilité pour l'économie (car les matières premières représentent environ 10% du coût de production de l'électricité nucléaire contre environ 80% pour le gaz). Une étude récente du Ministère de l'Industrie montre que le coût de production de l'électricité nucléaire est plus faible que le coût de production à partir des autres sources primaires, qui de surcroît émettent du CO₂. Si demain on intégrait les « externalités » liées au CO₂ dans les coûts de production de l'électricité, la comparaison deviendrait encore plus favorable au nucléaire.

	Coût moyen du MWh*	Émission de CO ₂ / kWh produit (en g)***
Nucléaire	28 à 30 €*	6
Gaz à cycle combiné	33 à 35 €	427
Éolien	60 à 70 €	3 à 22
Charbon	32 à 34 €	978
Photovoltaïque	> 450 €	60 à 150

(Pour de nouvelles installations en France métropolitaine)

- ▶ **Le coût du nucléaire intègre le coût de la gestion des déchets et le démantèlement**
- ▶ **Les autres énergies fossiles n'intègrent pas les coûts externes liés aux émissions de CO₂**

* Sources : Commission de Régulation de l'Electricité (2001) et Ministère de l'Industrie (DGEMP, 2003)

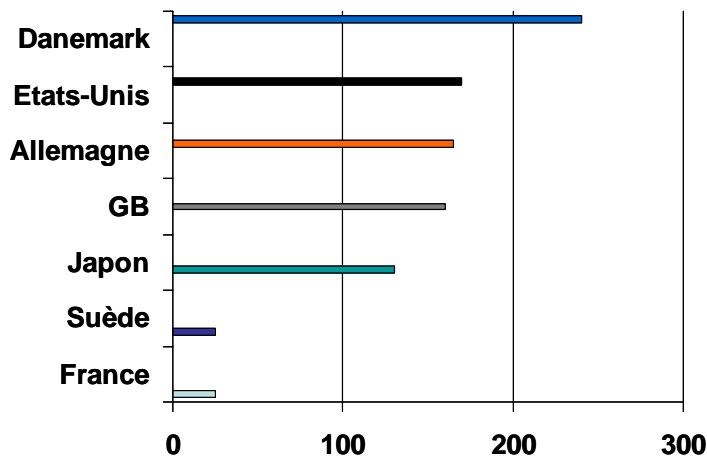
** Y compris coût du traitement

*** Source EDF/DRD, Analyse de Cycle de Vie

5

En effet, la production d'énergie nucléaire ne contribue que très peu à la production de gaz à effet de serre : elle a permis au secteur électrique en France de diviser par 3,5 ses émissions de CO₂ depuis les années 1980, de telle sorte qu'aujourd'hui, les émissions de CO₂ rapportées au PIB sont les plus faibles d'Europe

12-23 Le choix des énergies : rejets de CO₂ par kWh dans le monde (gC/kWh)



2004

Source : Jancovici, 2004

Jancovici

Des solutions maîtrisées pour la gestion des déchets.

La production de déchets, notamment à vie longue, est souvent considérée comme incompatible avec un développement durable. Il faut dans ce domaine rappeler que les déchets nucléaires sont nettement moins abondants que les autres déchets (moins de 1 kg/an par habitant, contre 800 kg/an de déchets industriels et 2200 kg/an de déchets ménagers), et que leur nocivité a conduit l'industrie nucléaire à se soucier très tôt de leur devenir selon des critères techniques, économiques et environnementaux. Ainsi, aujourd'hui en France, le traitement des combustibles usés permet de séparer les déchets de différentes natures des matières énergétiques appelées à être recyclées. Ces déchets font l'objet d'un confinement et d'un entreposage qui garantissent l'absence de tout impact sur l'environnement. Cette stratégie de « traitement-recyclage » permet dès aujourd'hui d'extraire des combustibles usés environ 96% de matières énergétiques réutilisables (95% d'uranium et 1% de plutonium), et d'optimiser le conditionnement des 4% de déchets ultimes (produits de fission et actinides mineurs en colis vitrifiés). C'est la première étape, nécessaire mais non suffisante, d'un programme nucléaire inscrit dans la pérennité.

Les recherches menées dans le cadre de la loi sur les déchets du 30 décembre 1991 dite « Loi Bataille » ont déjà permis de **réduire d'un facteur 10 en quinze ans le volume de déchets** produits par le parc électronucléaire. Elles ont ouvert le champ des possibles en matière de gestion des déchets sur le long terme, et débouchent sur une diversité de solutions, dont certaines peuvent s'articuler entre elles dans le temps. Ces solutions garantissent un confinement en toute sécurité des résidus ultimes à travers des conditionnements spécifiques, des entreposages de longue durée, et un stockage réversible en formation géologique profonde. Enfin elles ouvrent la voie à des techniques de séparation et transmutation devant permettre à terme de réduire radicalement la nocivité des déchets ultimes et sa durée.

Mais le processus engagé avec la loi Bataille est aussi exemplaire du point de vue de sa « gouvernance » et du double contrôle, parlementaire et scientifique, qui a encadré ces recherches au long de ces quinze années. A cet égard aussi, la France est considérée avec intérêt par l'ensemble des grands pays nucléaires.

Une R&D nucléaire de pointe menée au plan international, où la France joue un rôle moteur.

Le rôle de la R&D est essentiel pour conserver une avance technologique tout en exportant les technologies éprouvées. La France est engagée dans les programmes internationaux Génération IV lancé à l'initiative des Etats-Unis en 2000 et INPRO, lancé par les Russes sous l'égide de l'AIEA. Ces deux programmes apparaissent de plus en plus comme complémentaires, le Forum Génération IV ayant vocation à rassembler les pays avancés et producteurs d'une R&D nucléaire innovante, alors qu'INPRO regroupe des pays utilisateurs de la technologie nucléaire et propose des méthodes d'évaluation des systèmes nucléaires du futur du point de vue des « Users' Requirements ».

Le Forum Génération IV comme l'initiative INPRO traduisent le souci d'intégrer dans la R&D sur les systèmes nucléaires du futur (système étant entendu comme l'ensemble réacteur / cycle du combustible) des critères de développement durable répondant aux attentes et contraintes des différents pays utilisateurs potentiels.

Ainsi pour le Forum Génération IV les critères que doivent satisfaire les systèmes retenus sont, outre la compétitivité économique et la sûreté qui sont des exigences déjà remplies par les systèmes actuels, une économie des ressources en uranium naturel, une production de déchets réduite au minimum, ainsi qu'une résistance accrue à la prolifération par un recyclage intégral des actinides. Il faut aussi élargir le champ d'application au-delà de la production d'électricité pour répondre à d'autres besoins de la société à l'horizon 2040 tels que la production de carburants à base d'hydrogène pour les transports, la production de chaleur à haute température pour l'industrie, et la production d'eau potable par dessalement de l'eau de mer.

Bien utiliser l'uranium naturel, et non pas 1% seulement (l'uranium 235) comme dans les réacteurs d'aujourd'hui, et recycler tout le combustible pour éliminer des déchets les matières qui restent radioactives sur de très longues périodes (actinides mineurs), sont deux enjeux importants. Ils font appel aux neutrons rapides et au recyclage de tout le combustible, ce qui, avec une gestion groupée de toutes les matières, contribue à renforcer la résistance à la prolifération (en conférant au combustible des caractéristiques peu favorables pour des applications détournées). Par ailleurs, produire de l'hydrogène avec un bon rendement fait appel à des températures de 850 °C, et au-delà, pour décomposer l'eau par voie chimique ou par électrolyse. Que ce soit avec des neutrons rapides ou de très hautes températures, ce nucléaire du futur est en rupture par rapport aux réacteurs à eau de 2^e et de 3^e génération, et c'est pourquoi on le qualifie de 4^e génération.

Ces deux axes de R&D (neutrons rapides et haute température) sous-tendent la stratégie française de R&D sur les systèmes nucléaires du futur. Cette stratégie de R&D française se décline en deux axes :

- une recherche prioritaire sur les **systèmes à neutrons rapides avec recyclage du combustible** pour soutenir un développement énergétique durable à terme grâce à la surgénération, et pour gérer éventuellement toutes les matières nucléaires produites dans le parc français (*réacteurs rapides à caloporteur sodium ou gaz*), et
- une R&D à un niveau inférieur, mais significatif, pour développer en coopération étroite avec les partenaires industriels les **technologies clés pour la fourniture de chaleur à très haute température pour l'industrie et la production nucléaire d'hydrogène** (*réacteurs à gaz à très haute température à neutrons thermiques ou rapides, et procédés de décomposition de l'eau*).

Cette stratégie s'inscrit dans les objectifs du Forum Génération IV et amène la France à contribuer plus particulièrement au développement de trois des six systèmes sélectionnés par le Forum Génération IV comme les plus prometteurs pour la 2^e moitié du 21^e siècle : **réacteur rapide sodium, réacteur rapide gaz et réacteur à gaz à très haute température à neutrons thermiques.**

Les systèmes nucléaires du futur participeront dans le monde au renouvellement des moyens de production d'électricité à partir de 2040, et contribueront à terme à la production de carburants de synthèse pour le transport, de chaleur pour l'industrie, et d'eau potable pour les pays qui en manquent. En permettant de réduire la dépendance vis-à-vis d'importations de combustibles fossiles pour satisfaire ces besoins, ils contribueront à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à sécuriser l'approvisionnement énergétique. Ils contribueront également à en stabiliser le prix qui devrait dès lors être moins directement lié à celui des combustibles fossiles.

Le développement des systèmes nucléaires du futur sous-tend d'autres enjeux d'ordre stratégique et économique. Il s'agit pour les laboratoires et pour l'industrie de valoriser non seulement leur potentiel de recherche et développement actuel pour des technologies d'avenir, mais également de **valoriser dans la coopération internationale l'expérience acquise antérieurement sur des développements précurseurs**, tels que les réacteurs à neutrons rapides, et le traitement du combustible utilisé pratiqué industriellement à l'usine de la Hague.

Même si les réacteurs à eau de 3^e génération ne sont encore qu'au début de leur déploiement industriel, il est important de préparer dès maintenant l'avenir à trente ans, compte tenu de la durée des développements et des démonstrations nécessaires dans le secteur nucléaire, de l'importance des verrous technologiques à lever dans le domaine des matériaux, et des nouveaux procédés à développer pour le traitement du combustible utilisé et la production d'hydrogène. L'apport de la recherche de base est essentiel pour réaliser ces ruptures technologiques, et le CNRS et les universités, qui ont depuis 15 ans contribué à l'innovation et à l'analyse d'options prospectives pour la gestion des déchets radioactifs, apportent déjà des contributions décisives à ces recherches.

L'objectif sur les 15 ans à venir est une participation française active à ces développements pour aider notre industrie à garder son leadership au plan mondial.

Le nucléaire dans le monde : acquis et perspectives

Plusieurs évolutions du contexte actuel justifient d'examiner avec un regard nouveau la question de la contribution du nucléaire dans la réponse à la demande énergétique mondiale, et laissent prévoir de façon raisonnable une augmentation significative de cette contribution :

- augmentation des prix du pétrole et du gaz
- prise de conscience des effets du réchauffement climatique
- évolution, sensible quoiqu'encore modeste et contrastée, de la perception par l'opinion publique.

On peut ainsi parler de "second souffle" du nucléaire civil, après la première période de son développement dans les années 60 – 70.

Une expertise mondiale...

Selon l'AIEA, 443 réacteurs étaient en service dans le monde en 2004, représentant 360 GWe installés dans plus de 30 pays. L'équivalent de 10 000 « années - réacteurs » de retour d'expérience ont été accumulés sur l'ensemble du parc mondial de génération 2. La part d'électricité d'origine nucléaire dans le monde reste cependant modeste (16% de l'électricité dans le monde, 30% pour OCDE), ou encore 7% de l'énergie primaire.

La conférence internationale sur l'énergie nucléaire pour le 21^{ème} siècle s'est tenue à Paris les 21 et 22 mars 200 et a réuni des ministres, des personnalités officielles de haut niveau et des experts de 74 Etats et 10 organisations internationales. Cette conférence était organisée par l'AIEA en collaboration avec l'OCDE et l'AEN de l'OCDE, et accueillie par le Gouvernement français. Elle avait pour objectif de discuter des politiques publiques futures dans le domaine de l'énergie nucléaire et, en particulier, de procéder à un examen et une analyse de l'apport potentiel de cette énergie à la satisfaction des besoins énergétiques, en tenant compte dans le même temps des préoccupations et des attentes du public pour ce siècle.

De la déclaration finale on peut extraire la vision suivante : **« Il a été fait état d'une grande diversité de points de vue. Dans ce contexte, une vaste majorité de participants a affirmé que l'énergie électronucléaire peut apporter une contribution majeure à la satisfaction des besoins énergétiques et au développement mondial au 21^{ème} siècle d'un grand nombre de pays, tant développés qu'en voie de développement ».**

... mais des disparités entre les pays et les régions du monde

Les fiches suivantes sont consacrées à la situation de quelques pays parmi les principaux concernés par ce "second souffle" du développement du nucléaire civil, et sur lesquels l'actualité récente invite à une analyse particulière : Etats-Unis, Europe, Russie, Chine et Inde.

Pour être complet, il faut cependant mentionner en complément de ce panorama des acquis et des perspectives de relance du nucléaire dans le monde :

- le Japon, n°3 mondial pour la production d'énergie nucléaire, après les Etats-Unis et la France, partenaire du forum Génération IV, en particulier pour le développement des réacteurs refroidis au sodium (premier accord système signé avec la France et les Etats-Unis à Fukui le 15 février 2006). Le programme d'équipement électronucléaire japonais présente de nombreuses similitudes avec le programme

français. La construction des réacteurs a débuté à la même époque, dans la foulée des chocs pétroliers (le Japon est le 1^{er} pays importateur de pétrole mondial), le choix du traitement / recyclage du combustible usé a été décidé plus tardivement, en raison notamment des contraintes de non-prolifération. Aujourd'hui, la production d'électricité nucléaire au Japon correspond à un peu plus du tiers de la production électrique totale (45,7 GW). Le parc de 53 réacteurs à eau légère (23 REP¹ et 30 REB²) est exploité par 10 compagnies électriques (sur 12 compagnies produisant de l'électricité au Japon).

Le Japon poursuit un ambitieux plan de construction de centrales nucléaires : 3 tranches (deux unités ABWR³ et une unité BWR⁴ totalisant 3700 MW) sont en cours de construction et 6 autres sont programmées de 2004 à 2010.

- La Corée du Sud, cinquième producteur d'électricité nucléaire au monde, également partenaire du forum Génération IV, exploite 19 réacteurs (38% de l'électricité), 2 sont en construction, 8 en projet pour les 12 ans à venir.
- Les pays de l'ASEAN (L'Association des Nations du Sud-Est asiatique regroupe l'Indonésie, la Malaisie, les Philippines, Singapour, la Thaïlande, le Brunei, le Vietnam, la Birmanie, le Laos et le Cambodge), partie du monde qui profite, avec leur voisin la Chine, des plus forts taux de croissance de la planète. Les besoins énergétiques sont tels que certains d'entre eux envisagent le recours à l'énergie nucléaire comme seule solution pour soutenir leur développement au-delà de 2020. C'est en particulier le cas pour le Vietnam qui a adopté, à la fin 2004, un plan de développement à moyen terme de l'énergie, prévoyant la mise en service de 2000 MWe nucléaires en 2017. C'est aussi le cas de l'Indonésie.
- En Amérique du Sud, l'évolution politique au Brésil et en Argentine permet aujourd'hui de renouer des liens avec les organismes de R&D nucléaire. Ces deux pays sont associés au forum Génération IV.
- En Afrique du Nord, le Maroc attend la mise en service d'un réacteur TRIGA II de 2MW pour le centre de R&D de la Maâmora qu'a construit Technicatome. Par ailleurs, le débat pour l'ouverture au nucléaire est engagé aujourd'hui dans le pays, tant pour la production d'électricité en raison des faibles ressources pétrolières au Maroc, que pour la production d'eau potable. Dans un cadre plus prospectif, le CEA vient de signer avec la Libye un accord sur la coopération dans les applications pacifiques de l'énergie nucléaire.

Au-delà des spécificités exposées dans les fiches suivantes, on verra se dégager une analyse convergente, que les conclusions de la Conférence de Paris, rappelées ci-dessus, résumaient déjà, il y a un an, en mars 2005.

¹ REP : Réacteur à eau pressurisée

² REB : Réacteur à eau bouillante

³ ABWR : Advanced boiling Water reactor

⁴ BWR : Boiling water reactor

Etats-Unis : une reprise annoncée dès 2000, confirmée et élargie début 2006 par l'initiative GNEP

Le parc nucléaire américain actuel

Les Etats-Unis, n°1 mondial pour la production d'énergie nucléaire dans le monde, comptaient **103 réacteurs nucléaires en fonctionnement** en 2003 (34 REB construits par General Electric et 69 REP construits par Westinghouse, Babcock&Wilcox et Combustion Engineering), représentant une capacité de 98 159 MWe. Le taux moyen de disponibilité de l'ensemble du parc, en constante augmentation depuis 1989, a atteint 91,9 % en 2002. Les réacteurs américains ont produit **786 TWh** en 2004, soit un peu plus de **20 % de la production totale d'électricité** (charbon 50%, gaz 18%, hydraulique 7%, pétrole 3% et un peu plus de 2 % pour les énergies renouvelables hors hydraulique).

Contrairement à ce que beaucoup craignaient, le mouvement initial de libéralisation du marché de l'électricité n'a pas condamné les centrales nucléaires existantes, mais les a transformées en actifs d'autant plus convoités qu'elles sont devenues plus performantes. Cédés à des prix sacrifiés en 1998-99 (moins de 100\$ par kWe installé), le prix des réacteurs nucléaires a brusquement été multiplié par cinq à partir de 2000. Suite à une série d'acquisitions, **près des 2/3 du parc sont maintenant dans la main d'une dizaine d'exploitants**. Plusieurs groupes ont ainsi acquis une taille critique, avec une flotte pouvant dépasser la dizaine de réacteurs (Exelon, Entergy, Dominion, TVA...). Cependant, les 103 réacteurs se répartissent encore sur plus de 20 exploitants.

En matière de sûreté, là où, il y a un peu plus de cinq ans, les analystes de l'EIA⁵ prévoient une vingtaine de fermetures prématurées de centrales, il est maintenant admis que la très grande majorité du parc sera prolongé de vingt ans. 30 réacteurs ont déjà obtenu le renouvellement pour 20 ans de leur licence d'exploitation par l'Autorité de Sûreté Nucléaire américaine (Nuclear Regulatory Commission NRC), ce qui porte leur durée d'exploitation maximale de 40 à 60 ans. Des demandes sont actuellement à l'étude pour 22 autres tranches et 26 nouvelles demandes sont attendues avant 2008. Pour partie, le progrès du taux de disponibilité des centrales au cours des dernières années résulte de l'établissement d'un dialogue permanent, profondément renouvelé, entre exploitants et autorité de sûreté.

Mais la rentabilité des installations actuelles, déjà amorties, si elle joue un rôle clé dans le regain de confiance du nucléaire, ne suffit pas pour autant à relancer la construction de nouvelles centrales qui à l'évidence nécessite encore une action gouvernementale.

Une relance gouvernementale en préparation depuis 2000, l'Energy Policy Act d'août 2005

Suite à la crise du secteur électrique en Californie au printemps 2000, l'énergie est naturellement apparue comme un thème important de la première campagne présidentielle

⁵ EIA : Energy information administration. Statistiques officielles sur l'énergie du gouvernement américain.

de G.W. Bush. Dès son arrivée au début 2001, le nouveau Président a lancé un groupe d'étude, présidé par le Vice-président Cheney, sur la politique énergétique américaine.

Sorti en mai 2001, le " Report of the National Energy Policy Development (NEPD) Group" constatait la forte croissance prévisible de la demande énergétique au cours des prochaines décennies, mettait l'accent sur la dépendance extérieure critique des Etats-Unis en matière d'importation de pétrole (pouvant atteindre 65% en 2020). Il prévoyait enfin un recours majoritaire au gaz naturel pour les nouvelles centrales électriques. Le charbon (40% de la production) et le nucléaire (20%) restaient considérés comme des composantes essentielles du mix énergétique américain. Cette position se démarquait déjà, en 2001, du consensus de la fin des années 1990 où l'agence de prospective américaine, l'EIA, estimait dans son rapport « Annual Energy Outlook » de 1998 que plus de la moitié des centrales nucléaires (64 sur 103) seraient fermées avant 2020. Mais ces prévisions pessimistes étaient faites à une époque où le prix du gaz naturel était à moins de 3 dollars par MBtu (million de British thermal unit).

Vers la fin de l'année 2002, l'Administration réalise que les milieux financiers (et donc les exploitants nucléaires) ne semblent pas prêts à investir dans la construction de nouvelles centrales. Une étude confiée à une banque d'affaire, Scully Capital⁶, examine l'impact des mécanismes d'aide financière (taxes à la production, garantie de prêt, contrat d'achat long terme) sur la rentabilité de l'investissement. Le rapport conclut qu'il existe effectivement une plage de rentabilité, dépendant à la fois du prix du gaz naturel et de l'investissement nécessaire pour la construction d'un réacteur, mais que des aides sont nécessaires pour couvrir les surcoûts associés à une tête de série. Plusieurs études sur l'économie du nucléaire sont réalisées au cours des deux années suivantes et aboutissent à des conclusions similaires : rapport MIT⁷ en 2003, étude de l'université de Chicago⁸ en 2004, étude de la commission nationale sur la politique énergétique⁹, décembre 2004 et rapport de la "Task Force SEAB" (Secretary of Energy Advisory Board) 2005. Il s'agit là cependant de décisions qui nécessitaient une action législative du Congrès.

La « loi énergie » signée le 8 août 2005 par le Président Bush (EPA 2005, Energy Policy Act 2005) est favorable à la relance du nucléaire à court terme, renforçant les objectifs du programme Nuclear Power 2010 par des dispositions rassurant les investisseurs potentiels (aide fédérale sous forme de crédits d'impôt, de garantie de prêt), mais aussi partageant les coûts d'ingénierie et les risques (incertitudes réglementaires par exemple) pour la construction des premières unités et la mise en place des licences combinées (construction/operation ou licences COL). Cette loi énergie prévoit une « assurance contre les risques réglementaires », qui devrait permettre de rembourser les frais occasionnés par tout retard pris dans la certification d'un nouveau projet (jusqu'à 500 M\$ par réacteur), telle que prévue dans la réglementation fédérale en trois étapes (Early Site Permits, Standard Design Certifications, and Combined Licenses (construction-exploitation, ou « COL ») for

⁶ Le rapport "Business Case for New Nuclear Power Plants: Bringing Public and Private Resources Together for Nuclear Energy," recommande au DOE et à l'industrie d'établir un plan conjoint pour la construction de nouvelles centrales, intégrant en particulier les ressources de l'industrie et du Gouvernement fédéral. Le "strategic plan for lightwater reactor research and development" sera publié conjointement par le DOE et l'industrie en février 2004.

⁷ "The Future of Nuclear Power, an Interdisciplinary MIT study", July 2003. Ernest Moniz et John Deutch y soutiennent en particulier la relance du nucléaire pour limiter les émissions de CO₂ dans l'atmosphère.

⁸ "The economic future of Nuclear Power", August 2004. The University of Chicago's Department of economy concludes : Nuclear Power is competitive with coal and natural gaz.

⁹ Ending the Energy Stalemate, a bipartisan strategy to meet America's Energy Challenges, December 2004. by the National Commission on Energy Policy. Le projet d'amendement à la loi globale sur l'énergie, présenté par les Sénateurs McCain et Lieberman et traitant du changement du climat, proposait des aides au développement de l'énergie nucléaire inspirées de ce rapport.

Nuclear Power Plants) de la NRC. L'Energy Policy Act renouvelle par ailleurs pour une nouvelle période de vingt ans le Price Anderson Act, qui encadre le système de responsabilité civile nucléaire des exploitants.

Le vigoureux programme de R&D annoncé à la suite de la loi (1,6 milliards de dollars sur 3 ans, 2007 à 2009) intègre la formation universitaire pour garantir en temps voulu le renouvellement d'une population de cadres techniques vieillissants (initiative INIE « Innovations in Nuclear Infrastructure and Education » du DOE, poursuite du programme NERI « Nuclear Energy Research Initiative », dont le bilan est jugé très positif après six ans de fonctionnement, avec un budget modeste (10M\$)).

Les industriels semblent s'être maintenant engagés au côté du DOE dans l'initiative NP2010 qui couvre trois aspects de la procédure de licence. Autant les industriels avaient répondu rapidement sur le premier volet, autant leur réponse sur le dossier beaucoup plus engageant des licences combinées COL s'est fait quelque peu attendre. Avec trois propositions industrielles confirmées au cours de l'année 2004, l'initiative NP2010 est bien repartie. Le coût total pour l'ensemble des trois projets, pilotés par **TVA**¹⁰, **Dominion**¹¹ et **NuStart**¹², devrait atteindre 1 milliard de dollars sur six ans, co-financé 50-50 par les industriels et le DOE. En novembre 2005, on recensait 8 déclarations d'intention pour une licence combinée COL et 3 « Early site permit applications » en cours de revue par la NRC.

La création d' "UniStar Nuclear" en septembre 2005 par Constellation Energy et le groupe Areva devrait permettre le développement de joint-ventures avec l'ensemble des acteurs intéressés par le lancement commercial d'EPR aux Etats-Unis. La fusion entre Constellation Energy et FPL (Florida Power Light) ne semble pas avoir remis en question cette analyse.

Les initiatives américaines pour le futur du nucléaire international : Génération IV, GNEP

En janvier 2000, le DOE a proposé la création d'un forum, dit "**Génération IV**", regroupant les pays les plus actifs en matière de R&D, dont la France. Cette initiative vise, en organisant la R&D nécessaire au niveau international, à préparer le développement des systèmes nucléaires futurs, à l'horizon 2040, en respectant cinq critères fondamentaux : économie, sûreté, économie des ressources naturelles, minimisation des déchets (recyclage, transmutation des actinides mineurs), réduction des risques de prolifération.

En septembre 2002, le forum international GenIV a retenu 6 concepts de systèmes nucléaires à développer. Des groupes de travail ont été mis en place pour élaborer les programmes de R&D correspondants. Le CEA et AREVA participent à certains de ces groupes.

L'accord international fixant le cadre de développement du programme Génération IV a été signé à Washington le 28 février 2005 par le Canada, les Etats-Unis, la France, le Japon et le Royaume-Uni. Depuis, la Corée du Sud, Euratom, et la Suisse, ont rejoint l'accord. Les candidatures de la Chine et de la Russie seront prochainement examinées par le forum.

¹⁰ TVA qui est déjà lancé dans le projet de redémarrage de l'unité N°1 de la centrale de Browns Ferry, redémarrage attendu en 2007, conduit dans le cadre de l'initiative 2010 une étude de faisabilité pour la construction d'un réacteur ABWR (General Electric) sur le site de Bellefonte.

¹¹ Dominion avait initialement fait un partenariat avec le Canadien AECL pour le concept de réacteur ACR700. (filiale Candu). Dominion a abandonné ce concept au profit de l'ESBWR de General Electric.

¹² Le consortium NuStart a été annoncé en mars 2004. il comprend les exploitants : Constellation, Duke, Entergy, Exelon, Florida Power and Light, Progress, Southern, TVA et EDF International North America. Le DOE a signé un contrat avec NuStart en mai 2005 pour un montant de 520 M\$. NuStart prévoit de déposer un dossier pour une licence combinée avant 2008.

Lors du discours sur l'état de l'Union, le 31 janvier 2006, le Président Bush avait lancé une initiative globale sur l'énergie (Advanced Energy Initiative), dans laquelle s'inscrit l'initiative connue désormais sous le nom de GNEP (**Global Nuclear Energy Partnership**). GNEP a été présenté officiellement le 6 février par le Secrétaire à l'Energie Samuel Bodmann, et de nouveau proposé le 15 mars 2006 dans le cadre de la préparation du prochain sommet du G8. C'est une initiative de relance de l'énergie nucléaire dans le monde, pour répondre aux préoccupations en matière d'énergie, d'environnement et de développement tout en apportant des solutions satisfaisantes sur le plan de la non prolifération¹³.

GNEP marque un changement fondamental de position des Etats-Unis en soulignant les avantages du recours au cycle fermé avec recyclage du combustible irradié pour une relance durable du nucléaire au niveau mondial.

Les objectifs déclarés par GNEP sont les suivants :

- réduire la dépendance américaine vis à vis des importations de combustibles fossiles ;
- contribuer à la protection de l'environnement ;
- recycler le combustible nucléaire pour valoriser son contenu énergétique et réduire le volume des déchets, avec de nouveaux procédés « résistant à la prolifération » ;
- encourager le développement économique dans le monde, dans le respect de l'environnement et de la non prolifération ("By increasing the availability of electricity through nuclear power, millions of people will experience an improved quality of life. Additionally, these nations will utilize emissions-free nuclear energy rather than power generation technologies that pollute the air.").

GNEP prévoit une ambitieuse stratégie nucléaire au niveau national, pour lequel **250 M\$ ont été inscrits dans le budget du DOE pour 2007** :

- une nouvelle génération de centrales nucléaires aux Etats-Unis ("GNEP will continue building on advances made under President Bush's leadership to encourage more nuclear power in the U.S., including the NP2010 program and the recently signed Energy Policy Act of 2005 which includes federal risk insurance for the first new nuclear power plants to be built.");
- un programme de gestion du combustible nucléaire usé aux Etats-Unis, incluant le règlement de la question du stockage géologique à Yucca Mountain ("Successful demonstration of GNEP technologies will change the characteristics and significantly reduce the volume of spent fuel to be ultimately disposed of in Yucca Mountain, making disposal less complex and minimizing the need for additional geologic repositories for generations to come."). (citations du DOE)

... et une stratégie non moins ambitieuse au plan international¹⁴ dont l'architecture générale proposée par les Américains peut être résumée de la manière suivante :

- un consortium limité d'Etats développerait la technologie et les réacteurs rapides brûleurs de plutonium et des autres actinides, minimisant le volume des déchets à stocker définitivement et valorisant le contenu énergétique des combustibles usés. Une tournée des capitales en janvier (Londres, Paris, Vienne (M. El Baradei), Moscou, Tokyo, Pékin) visait à proposer un partenariat international autour de ces technologies ;

¹³ « In order to help meet growing demand for energy at home and encourage the growth of prosperity around the globe, GNEP provides for the safe, extensive expansion of clean nuclear power. » ; « GNEP is based on the principle that energy and security go hand in hand. GNEP will develop and demonstrate new proliferation resistant technologies to recycle nuclear fuel and reduce waste. »

¹⁴ "Under GNEP, a consortium of nations with advanced nuclear technologies would ensure that countries who agree to forgo their own investments in enrichment and reprocessing technologies will have reliable access to nuclear fuel."

- fourniture garantie de combustible frais « à un prix raisonnable » par ce Consortium d'Etats, à qui reviendrait la responsabilité exclusive de la gestion du cycle du combustible à l'échelle mondiale, aux autres pays utilisateurs d'énergie nucléaire. Ces derniers ne renonceraient pas à leurs « droits », mais souscriraient volontairement à ce schéma pour une période déterminée (e.g. 10 ans), renouvelable. Ils devraient conclure un protocole additionnel avec l'AIEA.
- Retour du combustible irradié dans les pays du consortium sans condition ni coût additionnel pour utilisation dans leurs réacteurs avancés brûleurs de plutonium, offrant au pays en développement ou peu nucléarisés les principaux services du cycle du combustible nucléaire, et les débarrassant notamment de la question épineuse du devenir des combustibles usés.

Eléments d'analyse sur GNEP : une attitude française très positive, des questions ouvertes

Les Etats-Unis veulent **limiter l'accès aux technologies** de l'amont du cycle (enrichissement principalement) ou nouvellement développées pour l'aval du cycle (en remplacement des technologies de retraitement/recyclage actuelles jugées à leurs yeux proliférantes, le critère de « non séparation du plutonium » faisant écho à des éléments de la doctrine Carter antérieure) à **quelques pays disposant d'un programme électronucléaire développé et qui maîtrisent l'ensemble des technologies du cycle**, regroupés au sein d'un « consortium d'Etats ». Les fondamentaux économiques de ce « consortium » ne sont pas clairement exposés à ce stade.

La France comme les Etats-Unis sont engagés dans le forum « GenIV », qui selon la France doit à terme regrouper tous les acteurs potentiels de l'offre de technologies. INPRO, initiative lancée dans le cadre de l'AIEA, a en parallèle vocation à regrouper les utilisateurs potentiels, or la proposition GNEP se présente comme un « super-consortium » par rapport à Génération IV. Les périmètres de participation aux deux initiatives devront donc être analysés en détail.

L'échéance de maturation des technologies que privilégient les Américains est longue, et il faudra bien dans l'intervalle accompagner la croissance du parc REP actuel et la gestion de son aval, ce qui laisse place à des évolutions à définir, et à accompagner en termes de R&D, du procédé actuellement mis en œuvre en France. **Le calendrier doit donc être précisé**, les intérêts industriels du groupe AREVA avec les technologies actuellement disponibles ou des technologies « évolutionnaires », sont importants déjà pour la fermeture du cycle du combustible des générations II et III de réacteurs.

Enfin, et c'est un point majeur, la loi française actuelle tout comme le projet de loi en cours d'élaboration interdit de conserver en France des déchets d'origine étrangère. Une attitude positive française vis-à-vis de l'initiative GNEP est cependant compatible avec la loi française imposant la contrainte d'un renvoi des déchets ultimes vers le pays d'origine des combustibles usés.

Europe : Renaissance du Nucléaire en Europe ? Une situation contrastée, une dépendance croissante à l'égard du gaz et du pétrole

L'Europe, avec près de 30% de l'électricité d'origine nucléaire, est parmi les régions du monde où l'énergie nucléaire est la plus importante dans la production d'énergie totale. Cette position est en grande partie due à la France.

Par les activités liées au traité Euratom et à la volonté de la Commission Européenne de développer des réseaux d'excellence entre les laboratoires des différents pays membres, elle offre un cadre et une organisation pour la recherche dans le domaine de la sûreté nucléaire, des déchets et des systèmes du futur ainsi que des ressources pour les recherches et développement d'infrastructures expérimentales (projet de « plate-forme fission » en Europe).

Alors que la perspective de la libéralisation totale du marché européen de l'énergie, fixée au 1^{er} juillet 2007, se rapproche, les grands groupes européens se sont lancés dans une guerre effrénée d'opérations de fusion acquisition. Ceci s'effectue dans un contexte où il se confirme que le prix d'accès aux ressources énergétiques risque d'être durablement élevé (raréfaction des réserves avec en corollaire une augmentation des coûts de production) et que le problème du dérèglement climatique est maintenant pris en compte pour orienter les politiques énergétiques vers l'utilisation de sources non émettrice de gaz à effet de serre.

L'énergie électronucléaire, du fait de ses atouts, devrait donc apporter une contribution majeure à la satisfaction des besoins énergétiques d'un grand nombre de pays européens :

- absence d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique ;
- prix compétitif de l'électricité produite, résultat obtenu grâce à l'utilisation de technologies éprouvées ;
- contribution à la sécurité des approvisionnements énergétiques et à la stabilité des prix en diminuant l'exposition à la volatilité des prix des combustibles fossiles ;
- utilisation de l'énergie électronucléaire pour la production d'eau potable ou d'hydrogène.

Sûreté nucléaire, gestion sûre des déchets radioactifs et non prolifération restent trois priorités absolues pouvant permettre le développement de l'énergie nucléaire.

Pour des raisons historiques et de choix politiques, l'Europe présente en matière d'électronucléaire un **paysage extrêmement contrasté**. Néanmoins les signes de renaissance sont nombreux et pour beaucoup de gouvernements le nucléaire apparaît comme l'unique solution durable de production d'électricité à coût compétitif.

- **France** : la politique énergétique de la France, engagée au lendemain du premier choc pétrolier en 1973-1974, s'est toujours appuyée sur une composante nucléaire forte, synonyme de sécurité d'approvisionnement et de compétitivité économique. Avec 59 réacteurs connectés au réseau, elle reste le pays le plus nucléarisé d'Europe. Cet attachement au nucléaire a été réaffirmé par le vote de la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique et engageant la construction de l'EPR de Flamanville et plus récemment par la déclaration de J. Chirac annonçant la construction d'un prototype de quatrième génération pour 2020.
- **Finlande** : la décision de l'électricien finlandais TVO, le 18 décembre 2003, de passer commande du 1^{er} EPR, peut être considérée comme la première concrétisation réelle de

la renaissance du nucléaire en Europe. Ce choix, résultant d'une étude technico-économique affinée, d'opter pour la construction de ce 5^{ème} réacteur afin de subvenir aux besoins de son industrie papetière très énergivore, a montré qu'avec la troisième génération le nucléaire, encore plus compétitif et plus sûr, disposait d'un atout supplémentaire pour l'avenir.

- **Allemagne** : la position de l'Allemagne vis à vis du nucléaire pourrait évoluer dans les mois à venir suite à l'élection d'Angela Merkel en octobre 2005. L'accord conclu en 2001 sous le gouvernement Schröder prévoit un arrêt des réacteurs après 32 ans de fonctionnement (i.e. arrêt du dernier réacteur en 2021). Même si aujourd'hui le SPD continue à s'y refuser, les difficultés techniques et économiques (comment remplacer en si peu de temps la puissance installée ?) que poserait le remplacement du nucléaire tel qu'initialement prévu, conjuguées à une volonté forte de l'Union CDU-CSU de faire évoluer ce dossier devraient rapidement entraîner le début de négociations sur l'allongement de la durée de vie à 40 ans. Dans l'immédiat, la solution défendue consisterait à transférer des droits à production des réacteurs récents aux plus anciens afin de différer leur fermeture.
- **République Tchèque, Hongrie, Slovaquie, Slovénie, Bulgarie, Roumanie**
L'ensemble des ces pays, nouveaux entrants ou futurs entrants dans l'UE, ont une composante nucléaire significative dans leur mix énergétique, d'autant plus importante et vouée à se développer qu'elle constitue un moyen efficace d'affirmer leur indépendance vis-à-vis de leur grand frère russe. A ce titre, la République Tchèque peut faire office de tête de file puisqu'elle possède encore un industriel actif dans le domaine, SKODA, et qu'elle joue un fort rôle incitateur auprès de la Commission européenne pour l'émergence d'une politique énergétique européenne commune incluant le nucléaire.
En Roumanie, un deuxième réacteur CANDU doit être mis en service en 2007.
- **Suède, Belgique, Pays-Bas, Suisse, Espagne**
Ces pays d'Europe occidentale continuent à exploiter leurs réacteurs tout en ayant il y a quelques années misé sur une baisse progressive de la part du nucléaire.
En Suède, alors que le réacteur Barsebäck 2 a finalement été arrêté le 1^{er} juin 2005, la tendance de repousser l'arrêt des tranches nucléaires se confirme et les sondages d'opinion sont aujourd'hui en faveur de la poursuite de l'activité des réacteurs pendant leur durée de vie initiale (il y a 20 ans le peuple s'y était opposé par référendum).
La Suisse a consulté en mai 2003 sa population par référendum sur des initiatives populaires devant conduire à sortir à terme du nucléaire : il en ressort assez nettement le refus de renoncer à l'énergie nucléaire, alors même qu'en 1990 un moratoire interdisait la construction de toute nouvelle centrale nucléaire.
Aux Pays-Bas, l'unique centrale nucléaire, Borssele, dont la fermeture était prévue en 2013, sera maintenue en activité jusqu'en 2033. Selon le secrétaire d'Etat au développement durable et à l'environnement, Pieter van Geel, Borssele fait partie des 25% des centrales les plus sûres au monde, sa fermeture prématurée aurait coûté cher au pays.
- **Italie** : l'Italie est également en train de réexaminer positivement sa position vis-à-vis de l'énergie nucléaire. Alors que le 4^{ème} et dernier réacteur italien a été fermé en 1987, l'année 2005 a vu un grand nombre d'hommes politiques et d'industriels prendre parti en faveur de la relance de l'électronucléaire en Italie (MM. Berlusconi, Urso¹⁵, Tabacci¹⁶ et Mincato¹⁷) et s'est caractérisée par le rapprochement EDF-Edison et par les négociations de prise de parts par ENEL aux EPR d'EDF (1^{ère} tranches et futures). La campagne électorale en cours ne voit pas les candidats s'affronter sur les thèmes « énergie » ou

¹⁵ *Vice-ministre des Activités Productives*

¹⁶ *Président de la commission des Activités productives de la Chambre des députés*

¹⁷ *Administrateur délégué du pétrolier ENI*

« nucléaire » ; il semble néanmoins acquis qu'un positionnement clair vis-à-vis du nucléaire est attendu d'ici fin 2006.

- **Royaume-Uni** : le Royaume-Uni possède un parc vieillissant de 27 réacteurs et se prépare à court terme à une crise énergétique sans précédent (augmentation des tarifs du pétrole et du gaz, Kyoto...). Alors qu'en 2003 T. Blair n'envisageait pas la construction de nouveaux réacteurs, cette hypothèse a été réintroduite en 2005 et une consultation publique sur l'avenir énergétique du pays, l'« Energy Review », a été lancée jusqu'à mai 2006 afin de dégager les axes les plus viables d'une nouvelle politique énergétique à venir. Le nucléaire devra à nouveau être considéré au même titre que les autres sources d'énergie, les avantages et inconvénients de chacune devront être analysés objectivement.
- **Lituanie, Lettonie, Estonie** : alors que la Lituanie possédait deux réacteurs RBMK (Ignalina-1 et 2) et que jusqu'en 2004 elle produisait plus de 80% d'électricité d'origine nucléaire, une des conditions de son adhésion à l'UE était et reste la fermeture des deux réacteurs successivement en 2004 (c'est fait) et en 2009. Après avoir étudié ces dernières années la possibilité (technique et financière) de construire un troisième réacteur à Ignalina, la Lituanie s'est finalement associée à la Lettonie et à l'Estonie puisque les trois premiers ministres de ces pays ont signé le 27 février 2006 un accord de soutien au projet de nouveau réacteur à Ignalina. Ce réacteur devrait permettre de subvenir à une large part des besoins énergétiques de ces trois Etats baltes.
- **Pologne** : en 2005, le gouvernement polonais a élaboré sa « politique énergétique pour la période 2005-2025 ». Plusieurs scénarios sont étudiés mais qui contiennent tous une composante nucléaire à partir de 2020. Après avoir abandonné en 1990 le chantier de construction de ce qui devait être son premier réacteur nucléaire, la Pologne semble donc s'engager dans le processus de construction d'un réacteur d'ici 2020. Une conférence internationale NPPP-06 (1-2 juin 2006 Varsovie) doit regrouper politiques et industriels du monde entier, dont AREVA et EDF pour commencer à donner corps à ce projet.

Par ailleurs, on note quelques signaux positifs de la **Commission européenne**. Celle-ci a en effet pris à son compte le dossier « énergie » et a rendu public le 8 mars 2006 son *Livre Vert* « Une stratégie européenne pour une énergie sûre, durable et compétitive ». Il sera soumis à l'examen du sommet des chefs d'Etat et de Gouvernements des 23 et 24 mars 2006. Le document met en avant 6 priorités (politique extérieure cohérente, création d'un marché intégré, solidarité accrue, approche plus soucieuse de l'environnement, meilleure efficacité énergétique, soutien à l'innovation) et appelle à ce qu'un « débat transparent et objectif sur le rôle futur de l'énergie nucléaire dans l'Union européenne » soit lancé. Les aspects liés à la recherche et à l'innovation sont également mis en avant. Le Livre Vert fait référence à l'initiative GEN IV et aux technologies soutenues par le 7^{ème} Programme-cadre de Recherche et Développement : énergies renouvelables, nouveaux vecteurs énergétiques (hydrogène), charbon propre, piégeage et séquestration du carbone, programme ITER et « fission nucléaire avancée ». Par ailleurs, la définition d'un « objectif stratégique global » pourrait notamment se traduire par une « proportion minimum de sources d'énergie sûres et à faible teneur en carbone » dans le bouquet énergétique global européen. Enfin, la Commission envisage de présenter périodiquement au Conseil et au Parlement une « analyse stratégique de la politique énergétique de l'Union européenne ».

Ce Livre Vert, dont on peut regretter qu'il ne donne pas d'objectifs chiffrés, et qu'il paraisse quelque peu en retrait par rapport au Livre Vert de 2001 sur l'indépendance énergétique en Europe, ouvre donc cependant une période de réflexion où le nucléaire trouve sa place. Des propositions plus concrètes au travers d'un document d'orientation (Livre Blanc) devraient aboutir à la fin de l'année.



Russie : une reconquête de la puissance fondée sur l'énergie

La CEI et, plus particulièrement la Russie jouent aujourd'hui un rôle de premier plan dans la politique nucléaire mondiale. Par ses positions pro-nucléaires affirmées et proches de celles défendues par la France, la Russie se place comme un allié majeur pour développer la réflexion et l'expertise nécessaires. La Russie partage avec la France une vision basée sur la nécessité du développement des réacteurs à neutrons rapides, l'importance de l'option des réacteurs refroidis au sodium et de la fermeture du cycle du combustible.

Les pays membres de la CEI ont développé jusqu'à il y a une quinzaine d'années une expérience et des outils exceptionnels pour la recherche et développement dans le domaine nucléaire. Malgré les difficultés économiques rencontrées au cours des années 90, certains instituts russes, dépendant de Rosatom (Agence fédérale à l'énergie nucléaire) et de l'Académie des Sciences, ont réussi à maintenir une expérience unique, des outils expérimentaux exceptionnels et une force de proposition.

Un document de stratégie du développement de l'énergie nucléaire russe, en cours d'élaboration, est annoncé pour le mois de mars. Il fera suite aux deux documents stratégiques précédents : « Stratégie énergétique de la Russie jusqu'en 2020 » (approuvé par le gouvernement de Russie en 2000), et « Stratégie du développement de l'énergie atomique de la Russie dans la première moitié du 21^{ème} siècle », daté de 2001, qui en découle.

Serguei Kirienko, directeur de Rosatom, a fait un rapport le 20 janvier 2006 au Président Poutine sur le développement du secteur nucléaire russe, présentant **l'objectif de passer de 16% de production d'électricité nucléaire à 25% en 2030**, objectif conforme au document de stratégie énergétique de la Russie précédant, qui prévoyait que le nucléaire devrait fournir 23 % de l'énergie électrique en 2020. Ces prévisions amènent à prévoir une production d'électricité nucléaire de 315 TWh en 2020 (144,7 TWh produits en 2004), ce qui **nécessitera de disposer de 45 GW de puissance nucléaire installée, à comparer à une puissance actuellement disponible de 23 GW**. Combiné avec la mise hors service pour fin de vie de trois quarts des centrales existantes d'ici 2020, cet objectif amène à prévoir de mettre en service 2 à 3 GW par an à partir de 2010, et d'accélérer ce rythme à partir de 2012, soit au total la **construction d'une quarantaine de réacteurs dans les 15 prochaines années**.

Le projet de construction en série d'un réacteur à eau pressurisée de type VVER 1000, dont la puissance serait portée à 1100 MW (projet AES 2006) a été annoncé comme un des moyens de relever le défi. Ces réacteurs ne semblent pas prévus pour pouvoir utiliser du combustible Mox¹⁸. La définition du projet est confiée à un groupe de travail dirigé par l'organisme OKBM, le groupe de travail sur les équipements étant confié à l'institut Kourtchatov, tandis que la base normative est confiée à l'entreprise Atomenergoproekt.

La décision a été prise de terminer la construction du réacteur BN 800 (neutrons rapides refroidi au sodium) à Beloiarsk, alimenté en combustible MOX, et de construire une usine de fabrication de combustible spécifique (prévue au budget 2006). L'objectif semble être de disposer vers 2025 d'un prototype de réacteur BN commercial, qui serait développé industriellement à partir de 2030, si sa compétitivité est démontrée.

La réelle nouveauté, en Russie, liée aux annonces de janvier 2006 est la déclaration de Serguei Kirienko à l'occasion d'un déplacement officiel de Vladimir Poutine à Astana au

¹⁸ Oxide mixte d'uranium et de plutonium

Kazakhstan. Elle concerne la restauration du complexe Minsredmash qui existait sous l'URSS. Ce « Ministère des constructions mécaniques moyennes » couvrait l'ensemble du complexe nucléaire civil et militaire (un million d'employés à l'époque soviétique). Il était en charge de la R&D, de la production des armes nucléaires, de la construction des centrales, et comprenait toutes les unités de construction (usines de turbines en Ukraine, extraction de l'uranium naturel dans les mines kazakhes, ...). L'idée avancée début 2006 consiste donc à regrouper sous une forme restant à préciser les maillons actuellement dispersés au Kazakhstan, ou en Ukraine, afin de redonner l'unité et l'efficacité à l'ensemble du secteur russe, qui, on ne peut en douter, connaît certaines difficultés.

Ce regroupement viserait également à renforcer la présence russe sur les marchés à l'export (rappelons que l'exportation (travaux, services) a représenté 3,160 Mds\$ de revenus pour la Russie en 2004). L'ambition de construire à l'étranger de 40 à 60 réacteurs d'ici 2030 a été mentionnée par le Directeur de Rosatom.

Enfin, cette dynamique centrée sur les capacités industrielles russes se complète par les **annonces faites par le Président Poutine (janvier 2006) selon lesquelles la Russie serait prête à offrir des services de « leasing » de combustible, et à étudier la possibilité d'accueillir des installations internationales du cycle du combustible.**

Les relations avec l'initiative GNEP et avec les réflexions menées dans le cadre de l'AIEA sur les approches multilatérales du cycle du combustible (groupe de travail dit « groupe Pellaud » qui a rendu son rapport en février 2005) devront bien entendu être approfondies.



Chine : Un programme nucléaire ambitieux pour accompagner la croissance, une volonté d'autonomisation sur l'ensemble la filière nucléaire, un marché potentiellement créateur de standards

Le parc électronucléaire chinois

Fin 2004, la Chine dispose de plus de 442 GW de capacité électrique totale installée, en augmentation de 13% par rapport à 2003. Les centrales thermiques représentent la majeure partie de la capacité installée (environ 75%), et malgré les décisions gouvernementales de fermer de petites centrales, trop polluantes et pas assez rentables de moins de 50 MW, la part des unités de production de faible puissance reste considérable. Le charbon restera le combustible majeur. L'hydraulique représente environ 15% de la production d'électricité, seulement 25% du potentiel étant exploité (la mise en service complète du Barrage des Trois Gorges est attendue pour 2009 (18 200 MW, 85 TWh par an)).

La part du nucléaire est encore marginale : 1,6 % avec 6900 MW installés fin 2005. La Chine compte actuellement **9 tranches nucléaires en fonctionnement**, d'une capacité de 6900 MW (**moins de 2% de la puissance installée nationale**). Deux autres tranches de puissance unitaire de 1000 MW sont en fin de construction. Ces centrales nucléaires ont été construites avec une large participation internationale : française, canadienne et russe.

En 2004, on estime que le déficit en électricité en Chine a été de l'ordre de 15 000 MW en moyenne (environ 4% de la capacité de production du pays) avec des pointes de 40 000 MW. 24 provinces, régions autonomes et municipalités (contre 21 en 2003) ont été touchées. La Chine ne peut pas se permettre économiquement un manque chronique d'électricité. D'autant plus que ces pénuries apparaissent en majorité dans les provinces développées de l'Est et du Sud (Guangdong, Shanghai), moteurs de l'économie, et pénalisent les gros consommateurs (sites industriels dont les responsables commencent à montrer leur mécontentement).

Depuis 2001 et l'adoption du 10^{ème} Plan, la Chine avait vécu avec la formule : «La Chine va continuer à développer l'électronucléaire de manière appropriée». **Depuis 2004, la Chine vit avec la formule « le nucléaire sera développé de façon accélérée ». L'objectif officiel visé est d'avoir en 2020 un parc nucléaire de 40 GWe représentant 4% de la puissance totale installée, c'est à dire que la Chine va devoir construire environ une trentaine de nouvelles tranches nucléaires.** Il s'agit d'un objectif modeste en termes de part du nucléaire dans la capacité installée mais d'un programme quantitatif ambitieux d'environ **2 à 3 tranches à lancer par an** (il faudra commander entre 2006 et 2015 entre 24 et 22 GWe).

Cette décision de développer le nucléaire n'est pas liée à une stratégie de substitution du nucléaire à d'autres formes d'énergie. Compte tenu de ses énormes besoins, et de plus en plus sensible aux préoccupations environnementales, la Chine devra recourir à toutes les sources énergétiques possibles. C'est dans cette optique que la Chine a mis en place dès 2004 son programme de développement des énergies renouvelables (éolienne, solaire, biomasse). Le nucléaire trouvera sa place en priorité dans les régions à forte croissance économique et participera à l'effort de diversification du bilan énergétique du pays, en complément (entre autres) du développement du gaz souhaité par le gouvernement.

La Chine a donc décidé en 2004 de mettre en place un programme accéléré de développement de l'électronucléaire comportant **une première phase dite « 4+4 »**, incluant la réalisation de 4 réacteurs par duplication de modèles existants et le lancement d'un appel d'offres international pour la réalisation, clefs en main, de 4 réacteurs de 3^{ème} génération.

La **duplication des centrales en exploitation** a été décidée sur les sites existants de l'exploitant CGNPC à Ling Ao dans le Guangdong, avec des améliorations (contrôle-commande numérique), et de CNNC à Qinshan 2 dans le Zhejiang. La phase 2 de Ling Ao (2 nouvelles tranches de 1000 MW) a été approuvée par le Conseil d'Etat le 21 juillet 2004, la cérémonie de premier béton a eu lieu le 15 décembre 2005. Les deux tranches devraient être mises en service fin 2010 et 2011¹⁹. Le projet Qinshan 2 phase 2 (2 nouvelles tranches de 600 MW) a été approuvé le 26 juillet 2005, le premier béton est prévu en mars 2006²⁰.

L'**appel d'offres international pour la réalisation de réacteurs de 3^{ème} génération** a quant à lui été annoncé dès janvier 2003 et finalement lancé fin septembre 2004. Il porte sur 4 tranches de type 1000 MW ou plus (2 tranches sur le site de Sanmen dans le Zhejiang appartenant à la CNNC et 2 tranches sur le site de Yangjiang dans le Guangdong appartenant à la CGNPC comme annoncé par le Conseil d'Etat en janvier 2003). Le Gouvernement chinois a fixé pour objectifs d'utiliser la technologie la plus avancée au niveau mondial, d'atteindre un haut niveau de compétitivité, d'assurer un niveau de sûreté maximal, et d'assurer un fort taux de localisation des équipements (50-70%). Cet appel d'offres couvre la réalisation de l'îlot nucléaire de génération 3, incluant l'ingénierie, le montage et la fourniture des composants nucléaires ainsi que la première charge en combustible de chacune des quatre tranches. La remise des offres a eu lieu le 28 février 2005 et une décision chinoise est attendue en 2006. Les concurrents en lice sont Areva avec l'EPR, Westinghouse avec l'AP1000 et Atomstroïexport avec son VVER. Les discussions portent essentiellement sur les aspects de compétitivité économique et de transfert de technologie.

Un peu de prospective ...

Mis à part l'appel d'offres génération 3 et les projets de duplication de Ling Ao phase 2 et Qinshan 2 phase 2, le **11^{ème} Plan quinquennal (2006-2010) devrait comporter des nouveaux projets de 1000 MW encore plus sinisés** (ie : taux de localisation supérieur à 70 %). Le gouvernement pourrait ainsi prévoir d'autoriser la construction, au titre du 11^{ème} plan quinquennal de deux nouveaux réacteurs par an (en plus des 4 au titre de l'appel d'offres 3^{ème} génération en 2006), puis au titre du 12^{ème} plan quinquennal (2011-2015) de 3 nouveaux réacteurs par an.

Compte tenu des délais de construction, les industriels chinois auraient à gérer la construction simultanée d'une douzaine de tranches. Ceci est compatible avec la capacité de production existante ou en construction, mais pas avec la capacité de management actuelle ; un important effort devra donc être fait sur la formation de cadres de tous niveaux.

¹⁹ Le projet est désormais finalisé contractuellement :

- pour l'îlot nucléaire: consortium dirigé par Dongfang et qui comprend Framatome (signé le 16 mars 2005).
- pour l'îlot conventionnel : Dongfang Electric et Alstom (signature le 16 mai 2005, contrat pour 2 turbines).
- contrat signé pour le contrôle commande: Areva en partenariat avec Siemens.
- EDF a également signé deux contrats avec CGNPC (le 21 avril 2005, à l'occasion de la visite du Premier ministre français en Chine) : assistance à maîtrise d'œuvre et assistance technique.

²⁰ Ce projet est essentiellement chinois, avec toutefois un certain nombre d'appels d'offres par composants lancés en direct avec des fournisseurs étrangers en compétition.

En 2020, la Chine sera un acteur important du nucléaire, en Asie certainement, dans le monde peut-être. Au plan industriel elle disposera vraisemblablement d'au moins deux groupes industriels de taille internationale capables de proposer des réacteurs clefs en main à l'exportation. Ces groupes devraient être capables de proposer des réacteurs de deuxième et de troisième génération, éventuellement dans le cadre de joint-ventures internationales.

La Chine sera probablement membre du forum Génération IV ; elle disposera à cette époque de réacteurs prototypes dans deux filières qui présentent un intérêt pour ce forum : la filière haute température refroidie par gaz et la filière à neutrons rapides refroidie au sodium.

Enfin dans le domaine de la fusion contrôlée, si le programme ITER, qui devrait à cette époque avoir produit ses premiers résultats, confirme la faisabilité d'un démonstrateur de réacteur de fusion, la Chine pourrait être candidate à l'installation sur son sol d'un tel démonstrateur.

Inde : des perspectives importantes de développement du nucléaire pour pallier le défaut de ressources énergétiques fossiles

L'Inde, dotée de l'arme nucléaire depuis 1975, n'a pas accepté de signer le TNP, et est donc soumise aux restrictions imposées par l'accord du « Nuclear Suppliers Group ». Cette situation limite les coopérations possibles avec ce pays à des recherches « de base » et a fortement handicapé les échanges avec ce pays depuis 1992. En conséquence, l'Inde, avec sa politique nucléaire volontariste, a dû développer des concepts autonomes pour les réacteurs et le cycle du combustible. Pour cela, l'Inde a maintenu des équipes de haut niveau scientifique qui ont développé des solutions originales.

Le parc électronucléaire indien

Les **15 centrales indiennes en exploitation** font appel à deux filières : Réacteur à eau bouillante **REB** (Tarapur 1 & 2 (*160 Mwe de General Electric*)) ; Réacteur à eau lourde pressurisée **PHWR** (Rajasthan 1 à 4, Kalpakkam 1&2, Narora 1&2, Kakrapar 1&2, Kaiga 1&2, Tarapur 4). Rajasthan 1&2 et Kalpakkam 1&2 sont des Candu d'AECL (le premier entièrement et les trois autres partiellement) de 100 à 200 MWe, les autres sont des Candu indianisés ou « Indu » selon la dénomination indienne, de 220 MWe. **La puissance nucléaire disponible est de 2503 MWe, représentant un peu plus de 2% de la production d'électricité** (thermique 72%, hydraulique 26%).

Au cours de l'année 2003-2004, l'ensemble du secteur (centrales et usines de production d'eau lourde et de combustibles) a connu le même taux de croissance record qu'au cours des cinq années précédentes, la production d'électricité nucléaire s'est établie à 17,8 TWh, avec un facteur de disponibilité record des installations de 91%.

L'Inde est aujourd'hui engagée dans un programme de construction dont l'ampleur n'a jamais été atteinte par le passé puisque 9 centrales sont en construction en parallèle :

- Une tranche "Indu" de 540 MWe est en construction à Tarapur (mise en service prévue en juillet 2006). Framatome, qui conduit l'étude de faisabilité technico-économique d'implantation de réacteurs à eau légère de conception française en Inde, s'est dit impressionné par la qualité des structures mises en place qui s'apparentent à une organisation de projet conforme aux plus hauts standards de qualité occidentaux.
- Les travaux des deux tranches de la centrale nucléaire de Kudankulam, de technologie russe²¹ (2 VVER 1000), ont démarré en mars 2002. Le taux d'avancement de la construction est de 50% en mars 2005.
- La construction des tranches 3 et 4 de Kaiga et 5 et 6 de Rajasthan, de type PHWR 220 MWe a également commencé (achèvements prévus entre fin 2006 et fin 2007).
- Enfin, durant l'année 2003-2004, le cabinet a également donné son autorisation pour commencer les travaux de génie civil du réacteur à neutrons rapides de Kalpakkam d'une puissance de 450 MWe et d'une technologie analogue à celle de Phénix.

²¹ *Le contrat pour la fourniture a été signé le 12 février 2002 à Moscou ; il repose sur l'accord URSS - INDE de 1988, antérieur à l'adoption par le Groupe des Fournisseurs Nucléaires de la règle du contrôle intégral, et n'est pas contraire aux engagements internationaux souscrits par la Russie (grandfather's clause du NSG).*

La vision indienne du développement du nucléaire

Compte tenu du déficit énergétique moyen (plus de 10%) et du dynamisme démographique indien, et afin de conserver son indépendance et de protéger l'environnement, le recours massif au nucléaire a été décidé. A court terme, l'objectif est d'apporter un complément d'électricité dans les régions éloignées des mines de charbon ; à plus long terme, le but est d'exploiter les 520 000 tonnes de thorium dont dispose l'Inde (32% des réserves mondiales, 1,8% de celles d'uranium), dans le cadre d'un cycle fermé. **La capacité nucléaire totale, prévue à hauteur de 7600 MWe en 2012, devrait atteindre 20 000 MWe (soit environ 15 %) en 2020** et être alors constituée, selon la Commission de l'Energie Atomique Indienne :

- des réacteurs actuellement en service (2500 MWe) ;
- de tranches PHWR 500 MWe de conception indienne pour 8000 MWe;
- de 2500 MWe de **réacteurs à neutrons rapides** alimentés en plutonium et produisant de l'uranium fissile (U233) à partir de thorium ;
- de **tranches REP de technologie non indigène pour 8000 MWe**, dont les 2000 premiers MWe seront constitués par les 2 tranches VVER fournies par la Russie. Les Indiens ont récemment et de manière insistante exprimé leur intérêt pour compléter l'étude de faisabilité par des données relatives à l'EPR.

Ce programme électronucléaire volontariste est favorisé par les gros progrès accomplis par l'électricien NPC dans la disponibilité de ses centrales, qui lui permettent de verser à l'Etat des dividendes tirés de ses ventes d'électricité.

Selon le Département de l'énergie atomique indien, le programme comprend trois étapes :

- la première, celle des réacteurs à eau lourde pressurisée est aujourd'hui industrielle ;
- la seconde devrait être constituée par les réacteurs à neutrons rapides de 500 MWe dont le début de construction du premier a été autorisée par le cabinet fin 2003 ;
- la troisième étape repose sur l'utilisation du cycle thorium-uranium 233, à la fois dans les réacteurs à neutrons rapides et dans un projet de réacteur à eau lourde avancé (AHWR) sur lequel travaille le BARC. La construction de ce type de réacteurs n'est pas envisagée avant plusieurs années. Ce projet fait l'objet d'une revue de conception au travers du programme INPRO de l'AIEA.

L'accord américano-indien du 3 mars 2006

L'accord qualifié d'historique signé le 3 mars 2006 lors de la visite en Inde du Président Bush, faisant suite à la déclaration commune du 18 juillet 2005, constitue une avancée importante concernant la place de l'Inde dans le nucléaire civil international. Cet accord marque d'une certaine façon la sortie de l'Inde de son isolement, ce dont les autorités françaises, qui travaillaient depuis de nombreuses années dans ce sens, se sont félicitées. Reste que les passages du texte devant le Congrès américain dans un premier temps, devant les 44 membres du NSG (la décision d'amender les règles pour le cas de l'Inde devra être prise par consensus) ensuite (réunion plénière en mars 2006) seront sans aucun doute encore l'occasion de débats difficiles, l'Inde n'ayant accepté que partiellement la mise sous garanties internationales de ses installations dans la négociation avec les Etats-Unis.