

Perspectives de l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire et le changement climatique

Introduction

L'énergie nucléaire produit-elle des émissions de CO₂ ?

Quelle est l'importance de l'énergie nucléaire aujourd'hui ?

La capacité de production d'énergie nucléaire peut-elle être augmentée rapidement ?

Les réserves de combustible nucléaire sont-elles suffisantes ?

Qu'en est-il de la sûreté, des déchets et de la prolifération ?

En savoir plus

Pour plus d'informations

Introduction

La nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans la lutte contre le changement climatique est devenue un élément majeur des politiques énergétiques. En effet, nombreux sont ceux qui soutiennent la nécessité d'une « révolution énergétique » pour « décarboniser » l'approvisionnement en énergie, fortement dépendant des énergies fossiles. La communauté scientifique s'accorde pour considérer qu'il faut réduire d'ici 2050 d'au moins 50 % les émissions de GES par rapport au niveau de 2005 si le monde entend limiter l'augmentation des températures à 2-3°C et éviter les pires conséquences du réchauffement climatique.

Le domaine de production et de fourniture d'électricité apparaît comme particulièrement propice à l'introduction et la mise en œuvre de techniques destinées à réduire les émissions de GES dans la mesure où il est composé d'un nombre relativement limité d'installations répertoriées, détenues et opérées par des organisations de taille significative. « Décarboniser » le secteur de l'énergie au cours des quatre prochaines décennies représente toutefois un défi de taille. L'adaptation des infrastructures existantes est un processus lent : les centrales au charbon actuellement en construction pourraient toujours être exploitées en 2050. Parallèlement, la demande énergétique augmente rapidement dans de nombreux pays en développement où les ressources énergétiques abondantes et faiblement émettrices de carbone ne seraient pour l'heure pas disponibles ou mettront longtemps à être développées.

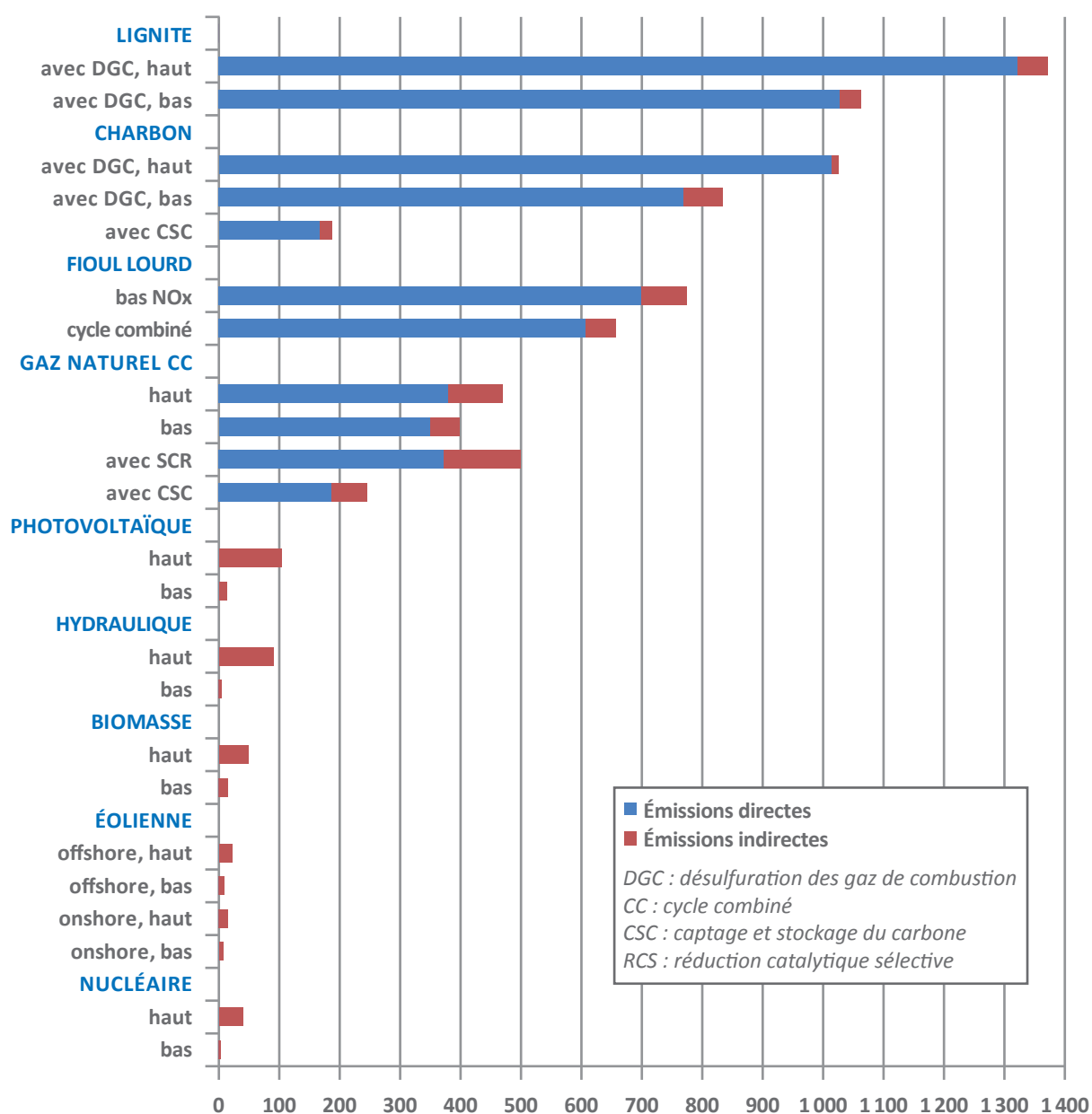
Une des voies pour disposer d'une électricité à faible intensité carbonique est l'expansion de l'énergie nucléaire. Le nucléaire est un mode bien établi de production à grande échelle d'électricité qui peut se développer rapidement dans les 40 prochaines années. Il pourrait produire environ 25 % de l'électricité au niveau mondial en ne dégageant quasiment aucune émission de CO₂. Les critiques de l'énergie nucléaire demeurent néanmoins préoccupés par les questions de sûreté, de l'élimination des déchets nucléaires et de l'utilisation possible des technologies nucléaires à des fins militaires plutôt que civiles.

L'énergie nucléaire produit-elle des émissions de CO₂ ?

Contrairement à la combustion des énergies fossiles, le processus de fission nucléaire ne produit pas de CO₂ ou d'autres GES. Certaines émissions indirectes peuvent cependant être imputées à l'énergie nucléaire, principalement de par l'usage de sources d'énergie fossiles lors des diverses étapes du cycle du combustible nucléaire, telles que l'exploitation minière et l'enrichissement de l'uranium. L'énergie utilisée lors de ces étapes varie de manière significative suivant le cas. Ainsi, par exemple, l'exploitation minière souterraine conventionnelle requiert plus d'énergie que les techniques d'extraction par lixiviation *in situ* dans lesquelles du liquide est injecté par forage dans le gisement pour récupérer l'uranium en solution, évitant l'extraction du minerai.

Si le recours à l'énergie nucléaire s'accroît à l'avenir, l'utilisation de ressources d'uranium de qualité inférieure pourrait devenir rentable ayant cependant pour conséquence une augmentation de la consommation d'énergie liée à leur extraction. Toutefois, les techniques d'extraction *in situ* à faible consommation énergétique deviennent, elles aussi, plus répandues et l'accroissement de l'exploration de l'uranium pourrait rendre disponible des ressources supplémentaires de meilleure qualité. De plus en plus d'usines d'enrichissement d'uranium qui utilisent le procédé de diffusion gazeuse – grandes consommatrices en énergie – vont disparaître au cours des prochaines années permettant ainsi une diminution de la consommation d'énergie. Et comme l'utilisation de combustibles fossiles pour la production d'électricité est réduite, les émissions indirectes provenant du nucléaire seront également en baisse.

Figure 1. Émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes pour différents modes de production d'électricité



Source: *L'atténuation du changement climatique*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007.

Quelle est l'importance de l'énergie nucléaire aujourd'hui ?

La Figure 1 compare les émissions des GES par unité d'électricité générée à partir de divers cycles complets de chaînes de production d'électricité parmi plusieurs pays européens. Elle montre que le lignite et le charbon ont les taux d'émission de GES les plus élevés, alors que le gaz naturel a le taux le plus faible parmi les sources fossiles. Les émissions indirectes des filières énergétiques nucléaires et des énergies renouvelables sont inférieures à celles des filières fossiles.

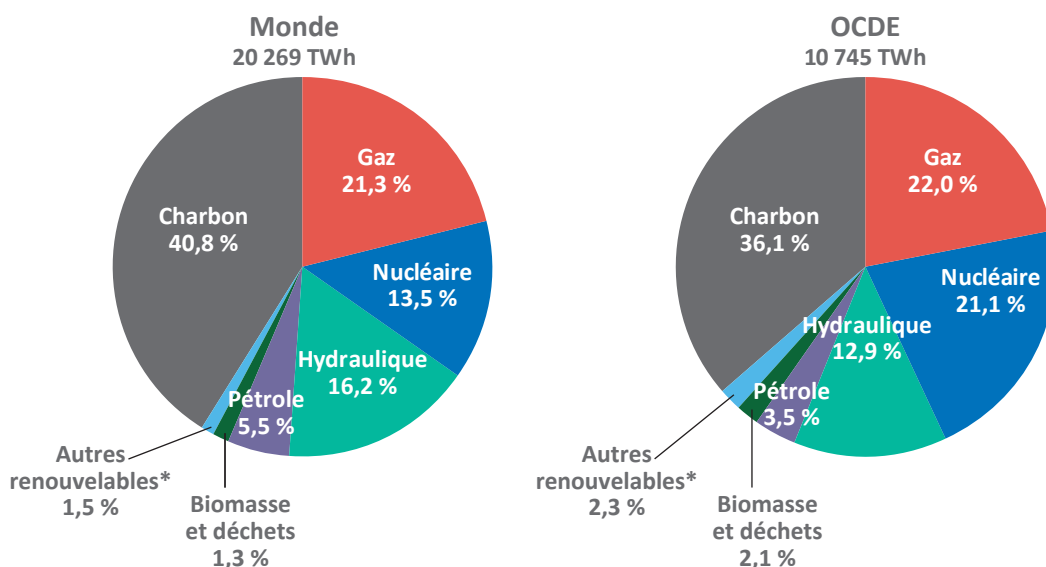
En 2008, environ 14 % de la production mondiale d'électricité, ou environ 21 % de la production des pays de l'OCDE, provenait de l'énergie nucléaire (voir Figure 2). L'énergie nucléaire a rapidement augmenté dans les années 70 et 80, mais sa part a depuis lors stagné et même régressé légèrement, dans la mesure où la croissance de la demande d'électricité a dépassé l'expansion beaucoup plus lente du nucléaire depuis 1990.

L'énergie nucléaire est néanmoins l'une des plus importantes sources d'énergie non fossiles ; l'énergie hydraulique, étant la seule à contribuer de manière aussi significative à la limitation des émissions de GES. Le recours à l'énergie nucléaire permet de réduire les émissions de CO₂ jusqu'à 2,9 Gt (gigatonnes) par an, en supposant que cette énergie aurait été produite par la combustion de charbon. Cela signifie que, sans énergie nucléaire, les pays de l'OCDE émettraient, du fait de leurs centrales électriques, jusqu'à un tiers de plus de CO₂ qu'ils ne le font aujourd'hui.

Le volume cumulé des émissions de CO₂ provenant des combustibles fossiles utilisés pour la production d'électricité entre 1971 et 2007 s'élevait à environ 250 Gt, et les économies cumulées liées à l'utilisation de l'énergie nucléaire étaient équivalentes à 65 Gt de CO₂. En d'autres termes, l'usage de l'énergie nucléaire a réduit l'équivalent d'environ 21 % les émissions cumulées de la production électrique au cours de cette période.

Si la capacité nucléaire actuelle venait à être supprimée, l'objectif de « décarboniser » l'approvisionnement en électricité deviendrait une perspective encore plus lointaine et difficile.

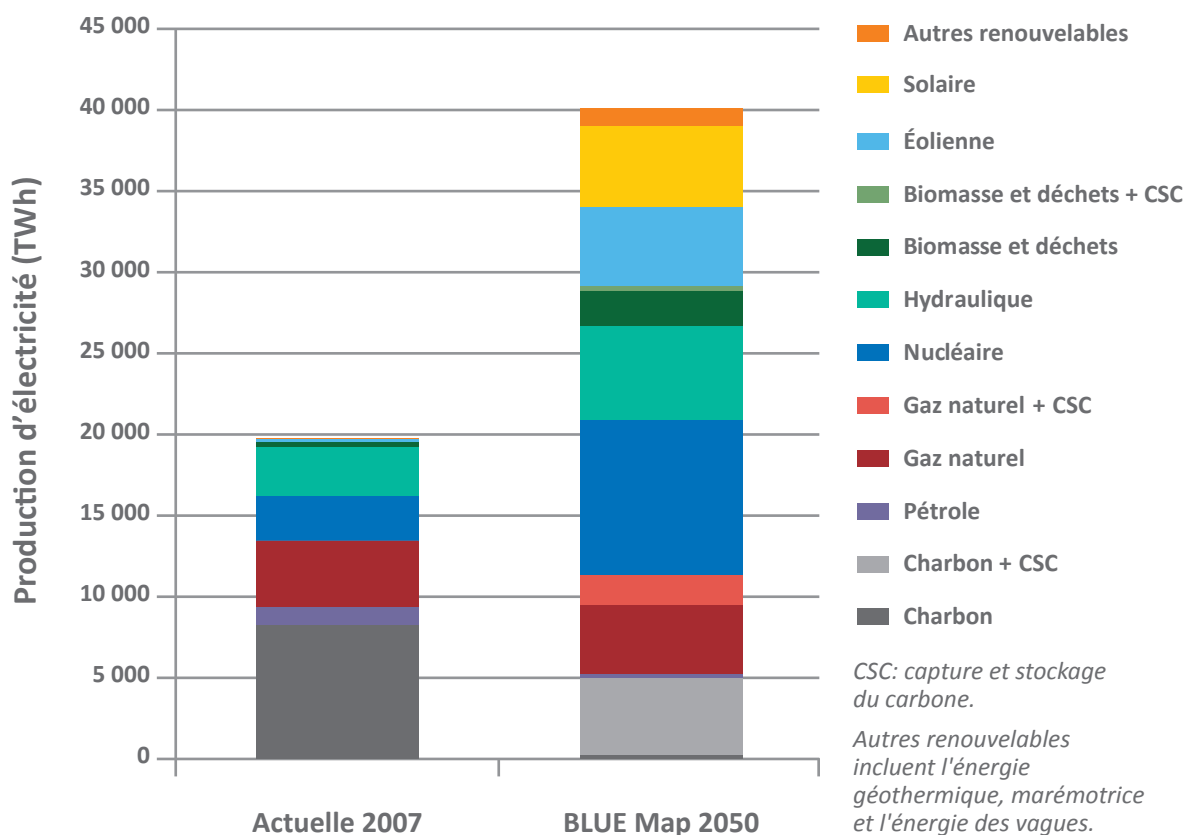
Figure 2. Production d'électricité selon la source, dans le monde entier et pour les pays de l'OCDE en 2008



* « Autres renouvelables » incluent l'énergie éolienne, géothermique, solaire, marémotrice et l'énergie des vagues.

Source : *Electricity Information*, Agence internationale de l'énergie, 2010.

Figure 3. Scénario « BLUE Map » pour l’approvisionnement en électricité en 2050, qui réduirait les émissions de CO₂ de moitié par rapport au niveau de 2005



Source: *Energy Technology Perspectives*, Agence internationale de l'énergie, 2010.

La capacité de production d'énergie nucléaire peut-elle être augmentée rapidement ?

Les technologies de l'énergie nucléaire se sont développées au cours des 50 dernières années, et les conceptions de centrales nucléaires les plus récentes incorporent les connaissances acquises durant cette période. Si d'autres développements technologiques sont attendus, le nucléaire est déjà une technologie à maturité. Plutôt que d'être d'ordre technique, les obstacles à son déploiement sont d'ordre social, politique et financier.

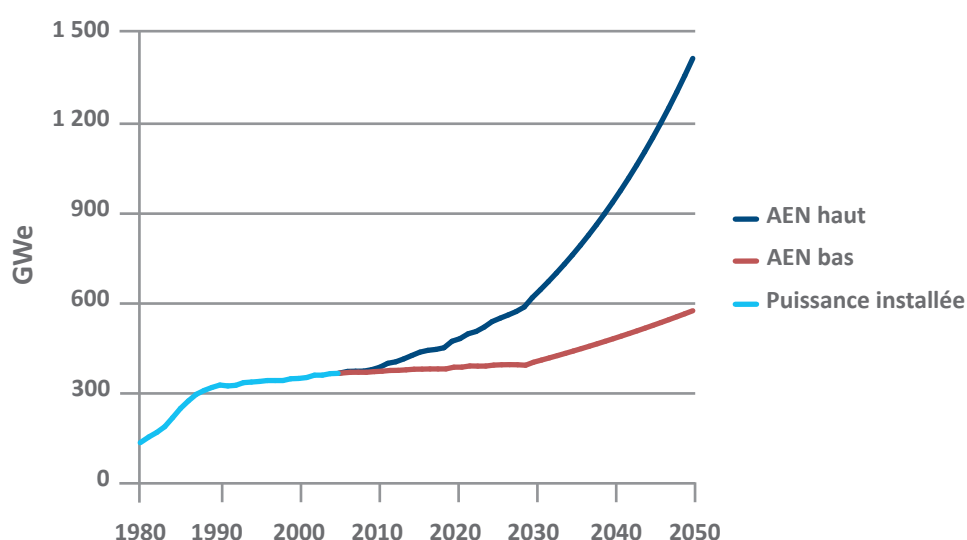
Avant qu'une expansion nucléaire significative puisse débuter dans un pays donné, un appui politique clair et soutenu du gouvernement sera nécessaire dans le cadre d'une stratégie globale pour relever les défis que représente un approvisionnement énergétique sûr et à coût abordable, tout en préservant l'environnement. Ces dernières années, un certain nombre de gouvernements ont modifié leur approche vis-à-vis de l'énergie nucléaire et lui réservent désormais une place importante dans leur stratégie énergétique. Toutefois, d'autres continuent de croire que le nucléaire ne devrait pas faire partie de leur bouquet énergétique.

Les scénarios pour le futur approvisionnement en électricité élaboré par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), fondés sur l'hypothèse d'une réduction de moitié des émissions de CO₂ d'ici 2050 par rapport à leur niveau de 2005, montrent que l'énergie nucléaire a un rôle fondamental à jouer, au même titre que l'amélioration de l'efficacité énergétique au niveau de la consommation finale, l'expansion majeure des énergies renouvelables, et le captage et le stockage du carbone (CSC) produit par la combustion des sources fossiles (voir Figure 3). Ces scénarios envisagent une capacité nucléaire d'environ 1 200 GWe d'ici 2050, à comparer aux 375 GWe d'aujourd'hui, ceci

représentant une expansion de plus de 300 %. Un tel scénario nécessiterait la mise en service d'environ 20 grandes centrales nucléaires (de 1,5 GWe chacune) par an au cours de la décennie 2020, et 25 à 30 par an durant les années 2040. Dans ses *Perspectives de l'énergie nucléaire* (2008), l'AEN a conclu que selon son scénario haut les capacités nucléaires pourraient atteindre 1 400 GWe en 2050 grâce à une expansion encore plus forte au cours de la décennie 2040 (voir Figure 4).

De toute évidence, ces scénarios nécessiteraient une mobilisation des ressources industrielles, humaines et financières bien plus importante que celle actuellement en place au sein des industries nucléaires et connexes. Une telle expansion mettrait des années à être réalisée, notamment parce qu'elle exigerait des investissements à grande échelle et une augmentation majeure de la main-d'œuvre possédant les compétences et la formation nécessaires. Non seulement les centrales nucléaires devraient être construites, mais une augmentation proportionnelle de l'extraction de l'uranium, du traitement et de la capacité de gestion des déchets serait aussi nécessaire.

Figure 4. Scénarios de l'AEN pour l'expansion du nucléaire d'ici 2050



Source : *Perspectives de l'énergie nucléaire*, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, 2008.

Une comparaison avec la forte expansion de l'énergie nucléaire dans les années 1970 et 1980 démontre qu'avec un soutien politique solide, l'énergie nucléaire peut se développer rapidement. Durant les années 80, la réalisation de centrales nucléaires a culminé à plus de 30 installations par an, avec une moyenne de 22 installations par an au cours de la décennie. Même si les centrales étaient alors plus petites que de nombreux modèles actuels, la technologie était moins développée à cette époque. En outre, relativement peu de pays ont été impliqués dans cette expansion, et dans l'ensemble, la capacité industrielle globale était nettement moins importante.

Une partie importante de la future expansion de l'approvisionnement en électricité aura lieu dans les grands pays en développement qui ne possédaient pas de vastes programmes nucléaires dans le passé. En s'industrialisant, ces pays auront une plus grande capacité d'expansion nucléaire. Au premier rang parmi eux figurent la Chine et l'Inde, tous deux déjà impliqués dans d'ambitieux programmes nucléaires.

Les réserves de combustible nucléaire sont-elles adéquates ?

Comme indiqué ci-dessus, une expansion majeure de l'énergie nucléaire nécessite une augmentation proportionnelle des capacités du cycle du combustible nucléaire. L'énergie nucléaire possède un cycle de production du combustible relativement complexe, impliquant l'extraction de l'uranium et plusieurs procédés industriels afin de préparer les assemblages finaux de combustible, qui, pour la plupart des réacteurs, se composent de pastilles de dioxyde d'uranium enrichi encastrées dans une maille de tubes métalliques. Néanmoins, l'expansion de la production d'uranium qui dépend de la disponibilité des ressources d'uranium connues et économiquement viables, et l'enrichissement de l'uranium qui requiert une technologie sensible, sont les principaux défis.

Tout au long des années 1990 et jusqu'en 2003, les prix de l'uranium étaient faibles en raison d'une expansion du nucléaire moins importante que prévu et du fait que les stocks importants d'uranium détenus par les opérateurs et les gouvernements, y compris les anciens stocks militaires issus du désarmement nucléaire post-Guerre froide, ont été mis sur le marché. En conséquence, la production d'uranium représente seulement environ deux tiers de la consommation annuelle. On s'attend néanmoins à ce que cette production augmente au cours des prochaines années.

Depuis les années 1980, l'exploration de l'uranium a également été limitée, bien qu'elle ait triplé depuis 2002 en réaction aux prix élevés de l'uranium. En dépit des faibles taux d'exploration récents, le ratio ressources connues/consommation actuelle est comparable à celui d'autres ressources énergétiques minérales, soit environ 100 ans. Les ressources supplémentaires dont la découverte est attendue selon les données géologiques existantes, pourraient étendre le ratio ressource/consommation à environ 300 ans. Si des ressources « non conventionnelles » répertoriées sont ajoutées, en particulier l'uranium contenu dans les roches de phosphate, le ratio augmentera à environ 700 ans (voir Tableau 1). Si une importante phase d'expansion de l'énergie nucléaire débutait, on pourrait s'attendre à une augmentation durable de l'exploration de l'uranium et cela pourrait se traduire par la découverte de nombreuses autres sources d'uranium.

Tableau 1. Ratios des ressources actuelles (2006) en uranium par rapport à la consommation annuelle pour les différentes catégories de ressources, montrant l'impact du recyclage dans les réacteurs à neutrons rapides (en années)

	Ressources identifiées	Ressources classiques totales	Avec les ressources non classiques
Avec la technologie actuelle des réacteurs	100	300	700
Avec le recyclage utilisant des réacteurs à neutrons rapides	> 3 000	> 9 000	> 21 000

Source : *Perspectives de l'énergie nucléaire*, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, 2008.

Le temps nécessaire pour développer la capacité de production d'uranium pourrait représenter un plus grand défi en raison des investissements importants nécessaires et la longue procédure d'agrément applicables aux nouvelles mines dans plusieurs grands pays producteurs. Cela souligne de nouveau l'importance du soutien des gouvernements dans l'expansion du nucléaire.

L'accroissement de la capacité d'enrichissement d'uranium, nécessaire à la préparation du combustible de la plupart des réacteurs actuellement en service et de tous les modèles plus avancés, devra également suivre le rythme de l'expansion nucléaire. Les technologies d'enrichissement sont

cependant très sensibles et seulement très peu de pays les possèdent. En principe ces pays pourraient développer leurs capacités pour approvisionner d'autres pays, ce qui présente peu de difficultés techniques. Toutefois, certains pays sont préoccupés qu'un nombre restreint d'États contrôle toutes les installations d'enrichissement en regard des conséquences en terme de sécurité d'approvisionnement. Les propositions visant à atténuer ces inquiétudes comprennent notamment des garanties juridiquement contraignantes applicables à l'approvisionnement par les pays qui disposent des technologies d'enrichissement ou l'établissement d'installations d'enrichissement sous contrôle multilatéral. Le renforcement des mesures politiques permettant un contrôle des technologies nucléaires sensibles tout en assurant un approvisionnement permettrait à l'énergie nucléaire d'atteindre son plein potentiel.

Le combustible nucléaire offre aussi des possibilités de recyclage, puisque seule une petite fraction de l'énergie de l'uranium est consommée dans le réacteur. Ceci pourrait considérablement augmenter le potentiel énergétique des stocks d'uranium existants et des ressources connues, représentant quelques centaines à plusieurs milliers d'années de demande de combustible nucléaire. Cela pourrait également considérablement réduire la radiotoxicité des déchets de haute activité qui résulte de l'exploitation du nucléaire. Les techniques de recyclage actuelles nécessitent des technologies sensibles et sont peu susceptibles de se répandre de manière significative à court ou à moyen terme. Toutefois, le développement des technologies avancées du recyclage et des réacteurs pourrait permettre une meilleure utilisation des ressources d'uranium et de plutonium et accroître la disponibilité du combustible nucléaire sur le long terme. Comme pour l'enrichissement, les mesures de contrôle des technologies nucléaires sensibles assurant un accès approprié aux capacités indispensables du cycle du combustible seront également nécessaires.

Qu'en est-il de la sûreté, des déchets et des problèmes de prolifération ?

Les gouvernements et l'industrie nucléaire doivent travailler ensemble pour parvenir à gérer et à éliminer les déchets nucléaires de manière sûre. Les déchets de faible et moyenne activité constituent les plus gros volumes de déchets radioactifs, même s'ils ne contiennent qu'une faible proportion de la radioactivité totale. Les technologies pour l'élimination de ce type de déchets sont bien développées, et la plupart des pays ayant des programmes nucléaires importants exploitent des installations pour leur élimination ou bien sont à un stade avancé de leur développement.

La plus grande partie de la radioactivité est concentrée dans les plus petits volumes de déchets de haute activité qui comprennent le combustible irradié et les déchets provenant du recyclage. Il n'y a, en pratique, aucun besoin immédiat de disposer de telles installations puisqu'ils peuvent être stockés facilement et en toute sécurité dans des installations existantes pour de nombreuses années. Néanmoins, les pays ayant des programmes nucléaires existants élaborent des plans à long terme pour le stockage final de ces déchets, et un consensus international sur la faisabilité technique et assurant la sûreté du stockage géologique des déchets de haute activité est établi. Cependant, aucune installation pour le stockage définitif n'a été construite jusqu'à présent.

Les performances des centrales nucléaires et d'autres installations nucléaires civiles dans les pays de l'OCDE sont généralement excellentes en matière de sûreté, particulièrement par comparaison avec d'autres cycles de l'énergie. Les derniers modèles de réacteurs actuellement en construction, ont amélioré les dispositifs de sûreté, y compris le niveau accru de sûreté « passive », leur sûreté est donc moins dépendante de l'intervention active des opérateurs humains ou des systèmes de sûreté automatisés. Toutefois, la crainte d'un accident continue de peser lourdement sur la perception du public et affecte négativement la confiance mondiale envers l'énergie nucléaire.

Une extension majeure de l'énergie nucléaire impliquerait que les pays sans expérience préalable en matière de réglementation construisent des centrales nucléaires. Il sera de la responsabilité de la communauté internationale, en particulier des pays fournisseurs, de s'assurer que ces nouveaux pays nucléaires suivent des approches industrielles et réglementaires adaptées et mettent en œuvre des procédures légales appropriées. L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) s'est déjà engagée avec beaucoup de ces pays à développer leurs capacités institutionnelles dans ce domaine.

Reste, bien sûr, le risque que des matériels ou des technologies développées pour une utilisation civile de la production d'électricité soient détournés à des fins militaires. Le système de garanties de l'AIEA en vertu du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires a fortement limité le détournement de ces matériels et technologies nucléaires civiles. Cependant, une expansion majeure de l'énergie nucléaire, avec la participation d'un plus grand nombre de pays, nécessite le renforcement du régime conventionnel de non-prolifération et l'assurance de sa mise en œuvre. Un équilibre doit être trouvé entre la réalisation des objectifs de non-prolifération et la garantie d'un approvisionnement suffisant pour les pays qui dépendent de l'énergie nucléaire.

En savoir plus :

OCDE/AEN (2008), **Perspectives de l'énergie nucléaire**
ISBN 978-92-64-05416-5, € 105, 500 pages.

OCDE/AEN, AIEA (à paraître), **Uranium 2009 :
Ressources, production et demande**
ISBN 978-92-64-08889-4, € 130, 480 pages environ.

AIE (2010), **Energy Technology Perspectives 2010:
Scenarios and Strategies to 2050**
ISBN 978-92-64-08597-8, € 100, 650 pages.

OCDE/AEN (2007), **Risques et avantages de l'énergie nucléaire**
ISBN 978-92-64-03554-6, € 24, 92 pages.

Contact :

M. Serge Gas
Chef des relations extérieures et relations publiques
Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN)
Tél. : + 33 (0)1 45 24 10 10
E-mail : serge.gas@oecd.org

Remerciements à :

M. Martin Taylor
Division du développement de l'énergie nucléaire
Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN)

Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN)
Le Seine Saint-Germain – 12, boulevard des Îles
92130 Issy-les-Moulineaux, France
Tél. : +33 (0)1 45 24 10 15 – Fax : +33 (0)1 45 24 11 10
E-mail : nea@nea.fr – Internet : www.nea.fr