

L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix

Plusieurs organismes climatologiques internationaux étudient les effets de l'énergie d'origine nucléaire et d'autres options énergétiques

par Evelyne Bertel et Johan Van de Vate

Les problèmes écologiques sont à l'ordre du jour dans le monde entier. Les gouvernements, les groupes concernés et l'homme de la rue sont chaque jour plus conscients de la nécessité de limiter l'impact des activités humaines sur l'environnement. Dans le secteur de l'énergie, les gaz à effet de serre qui risquent de modifier le climat mondial sont mis à l'index. Cela déterminera probablement le choix des options énergétiques pour la production d'électricité au cours des prochaines décennies. Nul doute que l'énergie d'origine nucléaire sera au centre du débat, ainsi que son avenir, car elle peut contribuer à atténuer l'impact du secteur de l'électricité sur l'environnement.

Du point de vue scientifique, il est très probable que la concentration atmosphérique croissante des gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone et le méthane modifiera le climat à l'échelle mondiale. Toutefois, les variations climatiques naturelles sont encore plus amples que celles que provoque la contribution estimée de l'activité humaine.

Les doutes mis à part, le risque d'une évolution du climat mondial demeure sérieux à long terme. Il faut concevoir des scénarios jusqu'à l'horizon 2100 et même au-delà, fondés sur l'évolution à long terme des modes de vie, des conditions socio-économiques et de la technologie. Ces scénarios ont un caractère normatif mais sont intrinsèquement subjectifs. Ce qui est certain, c'est que la consommation d'énergie est l'une des principales causes des émissions de gaz à effet de serre, et que les rejets de CO₂ dans le monde sont actuellement inférieurs de 8 % à ce qu'ils seraient sans l'énergie nucléaire.

Deux grandes instances internationales s'occupent de l'évolution du climat: la Conférence des Parties à la Convention-cadre concernant les changements climatiques, qui s'est réunie pour la première

fois à Berlin en mars-avril 1995, et le Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat, qui fonctionne depuis 1988. Comme les gaz à effet de serre d'origine anthropique sont imputables en majeure partie au secteur de l'énergie, les organisations internationales compétentes et mandatées dans ce domaine participent activement aux travaux de ces organismes.

L'AIEA a contribué à la préparation du deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental. Elle a fourni à celui-ci des documents et des résultats de ses programmes en cours sur le rôle potentiel de l'énergie nucléaire dans l'atténuation du risque de changement climatique mondial. En particulier, elle a préparé en collaboration avec l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE) les passages sur l'énergie d'origine nucléaire du chapitre sur les options combinées de production d'énergie, lequel présente différentes solutions permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre, des scénarios de production d'énergie à faibles émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ainsi que des discussions sur les mesures à prendre pour appliquer des technologies et stratégies douces. L'AIEA et l'AEN/OCDE ont également préparé à l'appui du rapport un document intitulé *Nuclear Power in the Context of Alleviating Greenhouse Gas Emissions*, paru en avril 1995 dans la Collection TECDOC de l'AIEA.

Nous parlerons dans cet article des deux organismes internationaux mentionnés et de la contribution de l'AIEA au deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental qui est en cours de préparation pour être présenté au début de 1996 à la Conférence des Parties à la Convention-cadre.

Les organismes mondiaux traitant de l'évolution du climat

En 1992, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (sommet «Planète Terre»), réunie à Rio, s'est occupée des

M. Van de Vate est membre de la Section de la planification et des études économiques de la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'AIEA. Mme Bertel, ancien membre de cette section, fait maintenant partie du personnel de l'AEN/OCDE, à Paris.

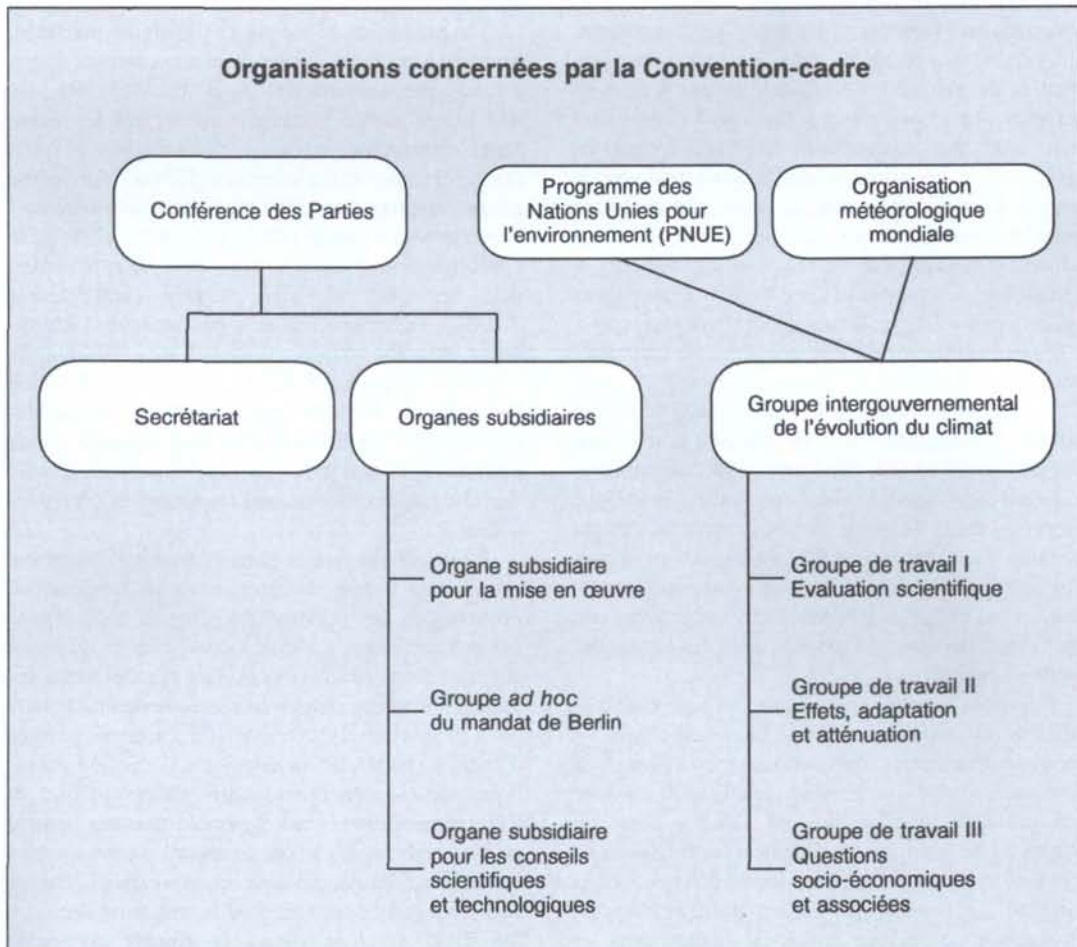
moyens de préserver la planète en évitant les changements climatiques, la pollution de l'environnement et l'épuisement des ressources. C'est à cette occasion qu'a été signée la Convention-cadre, laquelle est entrée en vigueur en 1994, après sa ratification par plus de 50 pays. Elle a pour objectif de réduire la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre à des niveaux inoffensifs, ce qui exigera des mesures draconiennes, en particulier dans les pays industriels où les émissions de CO₂ par habitant sont plus de dix fois supérieures à celles des pays en développement. Les pays industriels devront en somme compenser l'augmentation des émissions de CO₂ inhérentes au développement socio-économique des populations toujours plus nombreuses des pays en développement. Ce souci d'équité, inscrit dans la Convention, donne souvent lieu à des discussions politiques lors des réunions intergouvernementales sur l'évolution du climat.

La Conférence des Parties, instance suprême de la Convention, a été instituée par le sommet «Planète Terre» en 1992. Elle examine la mise en œuvre de la Convention et prend les décisions qui s'imposent pour encourager son application. Elle a créé divers organes subsidiaires dont l'un s'occupe de la mise en œuvre et un autre des conseils scientifiques et techniques. Par ailleurs, elle a chargé un groupe *ad hoc*

de rédiger un protocole pour après l'an 2000. Le premier organe subsidiaire formulera des recommandations pour aider la Conférence des Parties dans l'examen et l'évaluation de la mise en œuvre. Le second fera la liaison entre, d'une part, les évaluations scientifiques et techniques, y compris l'information communiquée par les organismes internationaux et, d'autre part, les directives que la Conférence des Parties est appelée à formuler. L'Agence prendra part aux activités de ces organismes.

Le Groupe intergouvernemental est un organe scientifique et technique indépendant qui a pour mission d'aider les dirigeants à freiner l'évolution du climat mondial. Sa tâche consiste notamment à établir des rapports scientifiques d'évaluation de cette évolution. Le premier rapport a été publié en 1990 et assorti d'un supplément en 1992. Le deuxième rapport, approuvé par le Groupe lors de sa réunion de Madrid, à la fin de 1995, devrait être publié au début de 1996. Un troisième rapport est prévu pour 1998.

En collaboration avec l'OCDE, le Groupe intergouvernemental a également publié, sous le titre *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, une série de directives pour aider les gouvernements à rendre compte régulièrement à la Confé-



rence des Parties de l'application des mesures nationales visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Les rapports d'évaluation sont faits par des experts de diverses spécialités scientifiques et examinés par des experts nationaux et internationaux avant d'être soumis pour approbation aux séances plénières du Groupe intergouvernemental et de ses trois groupes de travail. Le groupe de travail I sur l'évaluation scientifique s'occupe de climatologie. Le groupe de travail II sur les effets, l'adaptation et l'atténuation étudie l'élévation du niveau des mers, l'énergie et la désertification, tandis que le groupe de travail III, chargé des questions socio-économiques et associées, dépouille les publications concernant l'évolution du climat. Les groupes I et II ont évalué des scénarios d'émission de CO₂ à divers horizons jusqu'à 2100.

L'AIEA participe à ces évaluations et a souligné le rôle potentiel de l'énergie nucléaire relativement aux évaluations comparatives globales.

Le contexte des choix

Toutes les options de production d'électricité affectent plus ou moins l'environnement mais, si elles bénéficient des techniques modernes, elles fonctionnent à moindre risque pour l'environnement. En particulier, plusieurs solutions techniques permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur énergétique. Des mesures concrètes telles que taxes, subventions et permis d'émission servent aussi à donner une idée du coût total pour la société des options de remplacement. Le problème pour les décideurs du secteur énergétique consiste à concevoir et à appliquer en temps utile des stratégies comportant des combinaisons d'options énergétiques visant à minimiser les dommages à l'environnement, à la santé et à la société, au moindre coût pour cette dernière.

Les options techniques envisagées dans le secteur vont de l'amélioration des rendements à la réduction des émissions de CO₂ par l'emploi de combustibles à teneur en carbone faible ou nulle. Toutefois, au niveau de la décision, il faut prendre en compte certains facteurs technico-économiques et autres obstacles aux réalisations. L'amélioration des rendements a ses limites et son coût tente à augmenter très rapidement dès que l'on passe le stade des économies faciles à réaliser.

Certaines options techniques — qui peuvent paraître très séduisantes sur le plan scientifique — sont loin d'en être au stade industriel ou même de la démonstration de leur viabilité technique. Il est donc peu probable qu'elles puissent aider à court ou moyen terme à réduire sensiblement les émissions de gaz à effet de serre ou autres inconvénients pour la santé et l'environnement. Par exemple, la rétention du dioxyde de carbone et son évacuation dans les

profondeurs océaniques ainsi que les systèmes énergétiques fondés sur l'hydrogène pourraient largement contribuer, à longue échéance, à réduire les gaz à effet de serre, mais il n'y a aucune chance qu'ils atteignent leur maturité industrielle ou deviennent compétitifs avant plusieurs décennies. Les sources renouvelables, à l'exception de l'hydroélectricité et de la biomasse, n'offrent pas de possibilités réalistes d'assurer la charge de base à grande échelle.

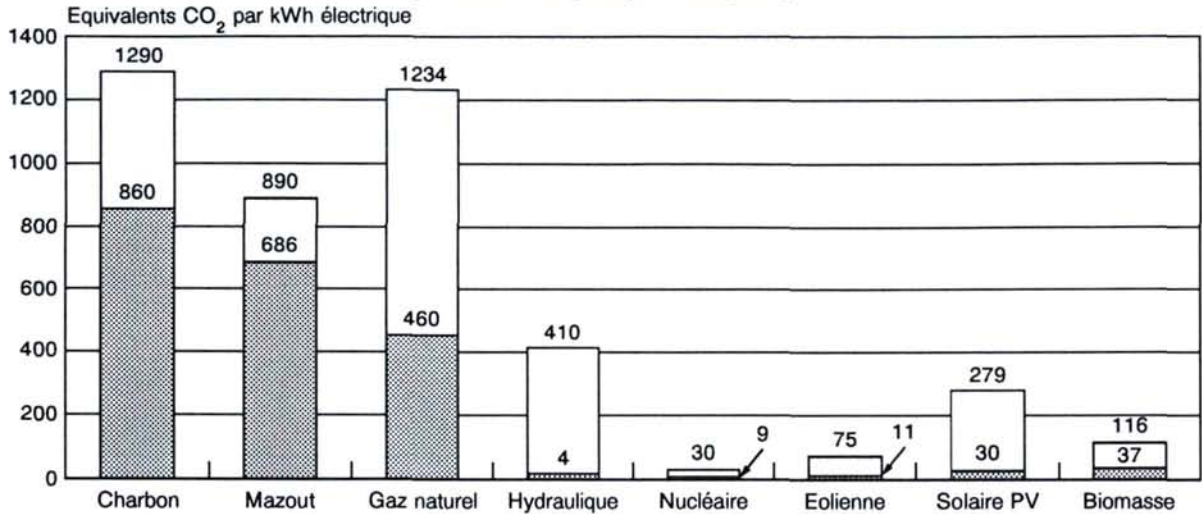
L'énergie nucléaire et les autres options

La technologie nucléo-électrique est aujourd'hui éprouvée et peut largement contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre et autres agressions du secteur énergétique sur l'environnement, et donc à atteindre les objectifs écologiques. A la longue, comme le précisent les conclusions du chapitre du rapport d'évaluation scientifique sur les options douces de production d'énergie, l'énergie nucléaire peut remplacer les combustibles fossiles pour assurer la charge de base dans la plupart des parties du monde, si l'on sait répondre de façon acceptable aux préoccupations concernant la sûreté des réacteurs, l'élimination des déchets radioactifs et la prolifération nucléaire.

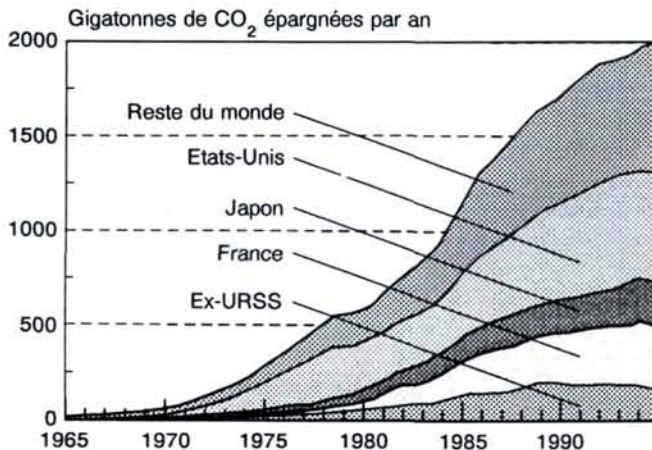
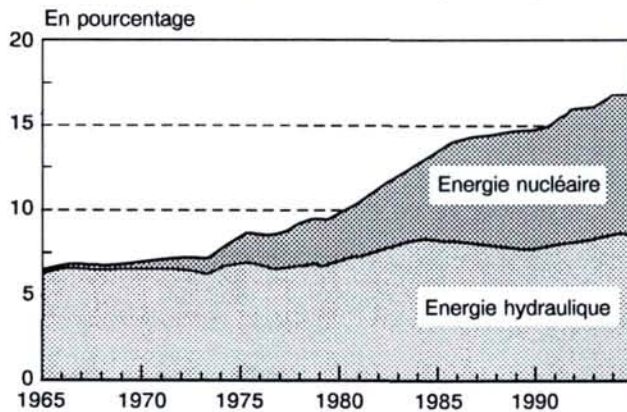
La production d'électricité d'origine nucléaire remonte à la fin des années 50 et a maintenant atteint sa maturité industrielle. A la fin de 1994, les 432 unités nucléo-électriques connectées au réseau représentaient une puissance installée totale de quelque 340 gigawatts électriques (GWe). La même année, la production électrique mondiale dépassait 2 300 térawatts-heure (TWh) et assurait 17 % de la consommation totale. L'expérience d'exploitation des centrales nucléaires totalise actuellement 7 200 années de réacteur et la performance d'exploitation moyenne ne cesse de s'améliorer, le facteur de disponibilité étant supérieur à 70 % depuis le milieu des années 80. Cette expérience place le nucléo-électrique parmi les technologies que les décideurs peuvent envisager pour un développement durable des réseaux électriques dans les années et décennies à venir.

Il est probable que le souci écologique demeurera un puissant facteur de choix, mais la compétitivité économique des options énergétiques n'en restera pas moins l'élément clé de l'évaluation et du choix des sources de remplacement. Des percées technologiques pourraient réduire très sensiblement les coûts de la production d'électricité avec certaines sources d'énergie renouvelables autres que l'énergie hydraulique, telles l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie éolienne, mais il semble que ces options ne parviendront pas à concurrencer les combustibles fossiles ou l'énergie nucléaire pour assurer la charge de base avant la deuxième ou la troisième décennie du siècle prochain. Dans la plupart des pays,

Facteurs d'émissions d'équivalent CO₂ des différentes sources d'énergie (chaîne énergétique complète)



Dioxyde de carbone mondial épargné grâce à l'énergie nucléaire et hydraulique



Evolution des taux d'émission de CO₂ 1965-1993

	Taux d'émission en 1993 (Pg/a)	Augmentation annuelle (Pg/a)	Augmentation en pourcentage
Union européenne	3,5	0,025	0,8
Pays de l'OCDE	12,1	0,15	1,4
Europe non OCDE (1988)	5,5	0,11 (1965-1988)	2,6 (1965-1988)
Pays moins développés	7,7	0,21	4,4
Monde	24,0	0,39	2,1

L'évolution des taux d'émission de CO₂ varie selon les régions en fonction du développement des programmes nucléo-électriques depuis le milieu des années 60. Dans l'ensemble, la production d'électricité nucléaire a augmenté beaucoup plus rapidement que celle d'hydroélectricité et les émissions de CO₂ évitées par ces deux secteurs sont à peu près égales. La comparaison de toutes les émissions de gaz à effet de serre de toutes les sources d'énergie révèle la faible contribution de l'énergie nucléaire, hydraulique et éolienne. L'histogramme indique les valeurs maximales et minimales relevées dans les études de l'AIEA et d'autres organisations. Le faible taux d'émission d'équivalent CO₂ du secteur nucléaire résulte d'un consensus international.

Source: British Petroleum Statistical Review of World Energy, 1995.

le mazout n'est pas utilisé pour assurer la charge de base, vu l'instabilité des prix du pétrole sur le marché et les problèmes éventuels d'approvisionnement. Par conséquent, le choix pour les centrales assurant la charge de base qui seront mises en service dans les dix à 20 prochaines années se portera essentiellement sur le charbon et le gaz, l'énergie nucléaire, et l'énergie hydraulique dans les sites favorables.

Les coûts relatifs de l'électricité produite à partir de ces sources d'énergie varient d'un pays à l'autre et sont fortement tributaires des conditions, des taux d'escompte et de l'évolution des prix du charbon et du gaz à prévoir. Le charbon est et demeurera une option économiquement intéressante dans les pays qui disposent de ressources nationales exploitables à bon compte. Vu la mise au point de techniques à cycle mixte extrêmement efficaces, le gaz est devenu compétitif pour la production d'électricité en charge de base dans plusieurs pays. Toutefois, le coût de cette production est très sensible aux variations des prix du gaz qui risquent de beaucoup augmenter si la demande croît rapidement. Lorsque les sites sont favorables, les centrales hydro-électriques produisent de l'électricité à bon compte, mais leur implantation est souvent impossible en raison de l'impact social et environnemental des grands barrages. De plus, selon des publications récentes, cette option pourrait nuire au climat à cause des gaz à effet de serre qui se dégagent des lacs artificiels.

Bien que les centrales nucléaires nécessitent de gros investissements, elles concurrencent favorablement les centrales à combustible fossile dans la plupart des pays. Cela est vrai en particulier là où les programmes nucléaires sont judicieusement exécutés et gérés et où les combustibles fossiles sont chers. Les études et réalisations en cours devraient améliorer encore la performance des centrales nucléaires et faire baisser les coûts de leur production. En outre, vu l'approche globale adoptée pour calculer les coûts de production de l'électricité nucléaire, les coûts incidents au titre social, sanitaire et écologique sont infimes par rapport aux coûts directs estimés et bien inférieurs à ceux des systèmes à combustible fossile. Si l'on en tient compte, la marge concurrentielle des centrales nucléaires s'en trouve accrue.

Impacts écologiques. Quant à ses effets sur l'environnement, le nucléaire présente certains avantages. En période d'exploitation normale, les centrales nucléaires et les installations du cycle du combustible rejettent de petites quantités de matières radioactives. Or, la réglementation mise en œuvre il y a plusieurs dizaines d'années pour limiter les rejets d'effluents radioactifs respecte les critères de protection de la santé publique et suffit pour préserver l'environnement. Les autres émissions, résidus et rejets des centrales nucléaires et du cycle du combustible sont inférieurs à ceux des chaînes de production d'électricité à base fossile et sont compa-

rables ou même inférieurs à ceux des systèmes utilisant les énergies renouvelables. Si l'on considère les chaînes énergétiques amont et aval de la production d'électricité, l'énergie nucléaire émet entre 40 et 100 fois moins de dioxyde de carbone que les chaînes à combustible fossile en exploitation. Les émissions de gaz à effet de serre imputables à la chaîne nucléaire sont essentiellement dues à l'emploi de combustibles fossiles pour l'extraction, le traitement et l'enrichissement de l'uranium, et pour la production de l'acier et du ciment nécessaires à la construction des réacteurs et des installations du cycle du combustible. Elles sont négligeables par rapport à celles dues à l'emploi direct d'un combustible fossile pour la production d'électricité et peuvent être encore réduites par une amélioration des rendements de l'énergie qui consisterait, par exemple au stade de l'enrichissement, à remplacer le procédé par diffusion gazeuse par des procédés exigeant moins d'énergie, telles la centrifugation et la séparation isotopique par laser.

Le nucléaire contribue déjà dans une large mesure à réduire le risque de changement du climat mondial; en effet, à supposer que l'on remplace les centrales nucléaires actuellement exploitées dans le monde par des centrales à combustible fossile, les émissions de dioxyde de carbone du secteur énergétique augmenteraient de plus de 8 %. Une réduction de cette importance, pratiquement égale à celle que l'on doit aux centrales hydro-électriques, a été obtenue dans un certain nombre de pays en une vingtaine d'années de développement du nucléaire.

L'analyse des statistiques de plusieurs pays portant sur les 20 dernières années montre que les pays qui ont mis en œuvre de vastes programmes nucléaires, tels la Belgique, la France et la Suède, ont considérablement réduit, de ce fait, leurs émissions de dioxyde de carbone. En France, par exemple, les rejets de dioxyde de carbone et d'anhydride sulfureux ont été réduits de plus des deux tiers entre 1982 et 1992, bien que la production d'électricité ait presque doublé. Aux Etats-Unis, environ 1 750 millions de tonnes métriques supplémentaires de dioxyde de carbone auraient été rejetées dans l'atmosphère entre 1973 et 1994 si l'énergie nucléaire n'avait pas été utilisée. Dans les pays ou régions où le nucléaire n'est pas largement utilisé — dans les pays en développement par exemple — le taux d'augmentation des émissions de CO₂ est relativement élevé.

Les perspectives à long terme

A longue échéance, les ressources de combustible nucléaire et les infrastructures industrielles en place permettent un large déploiement de programmes nucléo-électriques dans bon nombre de pays. S'il y avait moins d'obstacles au développement du secteur

nucléo-électrique, sa production pourrait augmenter à partir de maintenant et pendant le siècle prochain, ainsi que le montre le scénario à long terme élaboré par l'AIEA en collaboration avec l'AEN/OCDE à l'intention du Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat.

Ce scénario a été conçu compte tenu des prévisions de la demande mondiale d'énergie et d'électricité présentées dans le chapitre du rapport d'évaluation scientifique sur les options douces de production d'énergie. Il part de l'hypothèse que le nucléaire se généralisera afin d'atténuer le risque d'un changement du climat mondial et pénétrera le marché du fait de sa compétitivité économique. Il implique que les directives qui s'y opposent actuellement — par exemple les moratoires sur la construction de nouvelles centrales nucléaires et les décisions politiques qui font fi de l'option nucléaire — seront progressivement annulées et que les projets d'équipement nucléaire des pays en développement seront facilités par une meilleure adaptation et un transfert plus actif de la technologie, et par l'aide financière des banques de développement. Les hypothèses retenues pour évaluer la pénétration du nucléaire dans différentes régions tiennent compte de la nécessité de diversifier la production et de la compétitivité des options de remplacement éventuelles que sont le pétrole et le gaz au Moyen-Orient et, à longue échéance, la biomasse et autres sources renouvelables. Les applications potentielles de l'énergie nucléaire pour produire de la chaleur et de l'hydrogène n'ont pas été considérées, car il n'est pas certain qu'elles soient compétitives.

En 2100, selon ce scénario, la part du nucléaire dans la production totale d'électricité serait de moins de 20 % en Afrique, en Australie et Nouvelle-Zélande, et au Moyen-Orient, et atteindrait 75 % en Europe occidentale. La puissance installée totale, actuellement de 340 GWe, passerait à quelque 3 300 GWe et le nucléaire assurerait 46 % de la consommation mondiale d'électricité, contre 17 % aujourd'hui.

Les contraintes techniques considérées pour estimer les taux de croissance possibles du parc nucléo-électrique sont les délais de construction et les possibilités industrielles de construire les centrales et les installations du cycle du combustible. La question des sites pour les installations nucléaires, y compris les dépôts de déchets radioactifs, a également été étudiée par région, compte tenu de la sismicité, des besoins d'eau de refroidissement et de la nécessité d'implanter les installations dans des zones relativement peu peuplées. L'accès à des ressources naturelles pour la fabrication de combustible nucléaire n'influerait guère sur le développement du secteur nucléo-électrique, vu les ressources connues d'uranium et de thorium et les progrès techniques prévus de l'utilisation des matières fissiles. Le scénario postule la mise en service de réacteurs surgénérateurs vers 2025 afin d'assurer la produc-

tion d'électricité nucléaire jusqu'à 2100 à l'aide des ressources d'uranium actuellement connues. D'ailleurs, des ressources complémentaires seront probablement mises en exploitation dans l'intervalle, lorsqu'il le faudra. D'autres types de centrales, dotés par exemple de réacteurs au thorium, de systèmes hybrides et même de réacteurs à fusion, seront peut-être mis au point et offerts sur le marché.

La mise en œuvre de ce scénario permettrait de ramener les émissions mondiales de dioxyde de carbone au tiers de leur volume actuel. Sans l'énergie nucléaire, une réduction de cet ordre ne serait réalisable que si les sources d'énergie renouvelables, qui n'en sont pas encore au stade industriel, se présentaient sur le marché au début du prochain millénaire et se développaient à un rythme très accéléré pendant tout le siècle prochain.

Le développement énergétique durable

Les prochaines années verront croître la demande d'énergie et, plus spécialement, le besoin d'un complément de puissance installée. La solution devra tenir compte de la nécessité de réduire le fardeau que l'emploi des combustibles fossiles fait peser sur la santé et l'environnement. Globalement, il s'agira d'exploiter toutes les sources d'énergie et toutes les options techniques disponibles permettant d'atteindre dans l'immédiat, ainsi qu'à moyen et long terme, les objectifs de la protection de l'environnement et de la rentabilité.

L'énergie nucléaire est certes une option capable de réduire les effluents et les résidus de la production d'électricité et d'atténuer les effets du secteur énergétique sur la santé et l'environnement. Pour contribuer largement à la mise en œuvre dans le monde entier de stratégies durables d'approvisionnement en électricité, le nucléaire doit devenir plus concurrentiel vis-à-vis des systèmes à combustible fossile et, à longue échéance, des sources renouvelables. Il faudrait abaisser les obstacles au développement du parc nucléo-électrique en démontrant sans relâche que les réacteurs et les installations du cycle du combustible sont fiables et sûrs et que l'on dispose d'ores et déjà, pour l'élimination définitive de tous les déchets radioactifs, de solutions techniques applicables où que ce soit en cas de besoin.

La performance technique, la sûreté et la compétitivité des centrales nucléaires sont en progrès constant. Cela devrait faire valoir la viabilité de l'option nucléaire dans un nombre croissant de pays. La continuation ou la réactivation des programmes énergétiques nucléaires — après une évaluation des avantages économiques et écologiques que le nucléaire présente par rapport à d'autres sources d'énergie — contribuerait dans une large mesure à garantir une production durable d'énergie.