

AEN Infos est publié deux fois par an, en anglais et en français, par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs des articles et ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'Organisation ou ceux des pays Membres. Les informations contenues dans *AEN Infos* peuvent être librement utilisées, à condition d'en citer la source. La correspondance doit être adressée comme suit :

Secrétariat de rédaction
AEN Infos
OCDE/AEN
12, boulevard des Îles
92130 Issy-les-Moulineaux
France

Tel : +33 (0)1 45 24 10 10
Fax : +33 (0)1 45 24 11 10

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée en 1958 sous le nom d'Agence européenne de l'OECE pour l'énergie nucléaire et n'a pris son appellation actuelle qu'en 1972 lorsque sa composition commença à dépasser les frontières de l'Europe. Son but est de promouvoir la coopération internationale dans le domaine de l'énergie nucléaire, notamment du point de vue de la sûreté, de l'environnement, de l'économie, de la législation et des sciences. Elle comprend actuellement 27 pays Membres : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse, la République tchèque et la Turquie.

Pour plus d'informations sur l'AEN, voir :

www.nea.fr

Comité de rédaction :
Jacques de la Ferté
Cynthia Picot

Coordination/recherches photographiques :
Solange Quarneau
Annette Meunier

Mise en page/graphiques :
Annette Meunier
Andrée Pham Van

Couverture : Centrale nucléaire de Monju, Japon (photo : PNC) ; contrôle de radioactivité près de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux, France (photo : EDF) ; salle de commande de la centrale nucléaire de Ulchin, Corée (photo : KEPCO) ; système de transport de déchets TRUPACT-II, Carlsbad, Nouveau Mexique, États-Unis (photo : USDOE) ; visite d'un groupe de jeunes à Sellafield, Royaume-Uni (photo : BNF plc).

Développement durable

4 Énergie durable pour les générations futures

8 Énergie et développement durable : questions et choix

12 Durabilité du système énergétique mondial



15 L'économie de l'énergie nucléaire et le développement durable

19 Gestion des déchets radioactifs et développement durable

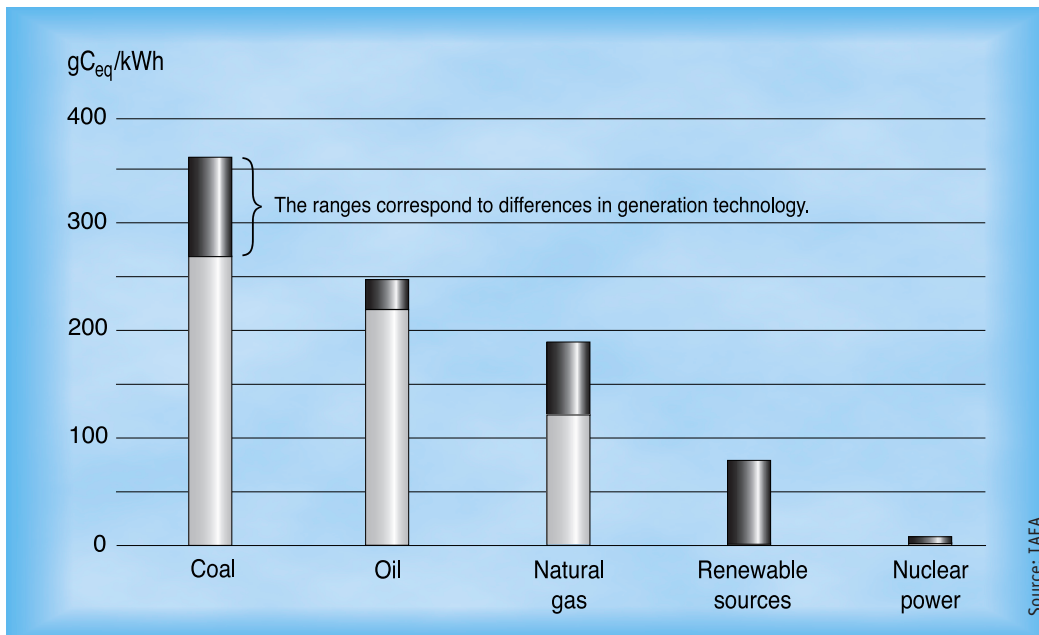
22 Mesurer la durabilité des systèmes énergétiques

26 Développement durable et responsabilité nucléaire

28 Nouvelles publications



Greenhouse gas emissions from electricity generation by different sources





Développement durable

Ce numéro de AEN Infos a été préparé dans la perspective de la réunion du Forum 2001 de l'OCDE sur « Développement durable et nouvelle économie ». Le Forum 2001 de l'OCDE est une conférence internationale ouverte au public qui rassemblera des ministres, des responsables d'organisations internationales et des représentants du monde de l'entreprise et des milieux syndicaux, ainsi que des organisations non gouvernementales et de la société civile en général. Une série de tables rondes sur le développement durable sera organisée pendant le Forum et ses résultats contribueront aux débats de la session spéciale de la réunion ministérielle de l'OCDE consacrée au développement durable, qui se tiendra immédiatement après le Forum.

Nos lecteurs trouveront dans les pages qui suivent plusieurs articles signés, sur le thème « énergie nucléaire et développement durable » dans lesquels sont analysés les aspects économique, social et environnemental de la question. Les auteurs mettent en évidence le rôle que l'énergie nucléaire pourrait jouer en contribuant à la promotion du développement durable dans les pays Membres de l'OCDE et ailleurs dans le monde. Ce rôle s'appuie sur deux importantes caractéristiques favorables : les émissions de gaz à effet de serre produites par l'énergie nucléaire sont négligeables et cette source d'énergie permet un approvisionnement stable en électricité de base, non vulnérable à la volatilité des prix des combustibles.

Nous espérons que les articles de ce numéro de AEN Infos contribueront de façon utile à éclairer les débats sur le rôle potentiel de l'énergie nucléaire dans le développement durable.

Luis E. Echávarri
Directeur général de l'AEN

Énergie durable pour les générations futures

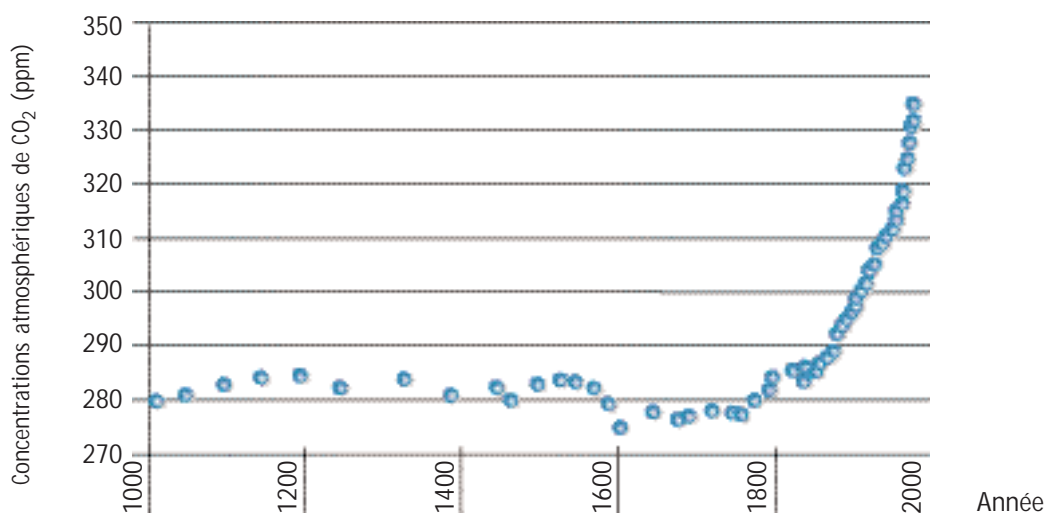
L'énergie est l'une des clés de l'avenir de la planète. Les émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement planétaire, conjugués à l'essor démographique, nous conduisent rapidement à des conséquences inquiétantes. Si nous voulons un développement durable, il nous faut trouver des solutions pour répondre à nos besoins énergétiques futurs sans détruire totalement l'environnement. En effet, selon Burton Richter, prix Nobel de physique, « *Il nous appartient, aussi bien au nom de l'éthique que dans notre propre intérêt, de mettre au point des technologies qui permettront au reste du monde d'élever son niveau de vie sans détruire dans le même temps l'environnement de la planète* ». Pour l'heure, il n'y a pas de réflexion sérieuse sur les moyens d'y parvenir.

Dans le Rapport de 1987 de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Rapport Brundtland) intitulé « Notre avenir à tous », le développement durable a été défini comme étant « ...un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

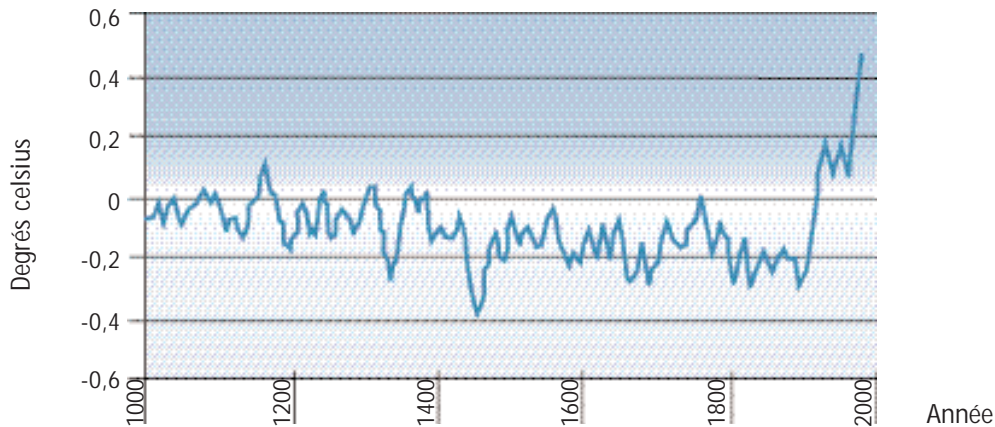
Cette définition est appropriée parce qu'elle associe, au sens large, des considérations environnementales, sociales et économiques. « Au strict minimum », dit le rapport, « ...le développement

* L'Honorable Donald Johnston est Secrétaire général de l'OCDE. Cet article est inspiré d'un billet publié par l'auteur dans le Globe and Mail (Canada). Il représente l'opinion personnelle de M. Johnston et non une position officielle de l'Organisation.

Concentrations atmosphériques moyennes de dioxyde de carbone au cours du dernier millénaire



Variations annuelles des températures dans l'hémisphère Nord



durable signifie ne pas mettre en danger les systèmes naturels qui nous font vivre ; l'atmosphère, l'eau, les sols et les êtres vivants ». La dégradation de l'un ou l'autre de ces éléments, et à plus forte raison la disparition de l'un quelconque d'entre eux, rend sans objet toute réflexion sur les objectifs sociaux et économiques du développement durable.

Or, dans le domaine de l'énergie, le monde se trouve sur une voie non durable dont l'issue menace d'être catastrophique. L'un des ensembles d'indicateurs les plus importants qui met en lumière l'orientation dangereuse que nous avons prise est celui qui rend compte des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et de la contribution des activités humaines à l'augmentation de ces concentrations.

Les gaz qui contribuent à l'effet de serre sont le dioxyde de carbone (CO₂) et plusieurs autres, souvent de composition plus complexe et se présentant moins couramment. Le CO₂ n'est pas celui dont le pouvoir radiatif est le plus élevé, mais c'est le plus abondant – le réchauffement anthropique de la planète lui est imputable en majeure partie. En outre, l'évolution de ses concentrations passées est la plus facile à reconstruire en raison de son cheminement dans l'environnement naturel.

Les émissions de dioxyde de carbone dues à la combustion de combustibles fossiles ont été multipliées par sept au 20^{ème} siècle. Depuis 1900, les températures se sont beaucoup élevées, à un taux de croissance qui va en s'accroissant depuis 25 ans. On estime que les températures moyennes actuelles dépassent la normale de près de 0,8°C. Dans l'Antarctique, les températures moyennes ont augmenté de 2,5°C au cours des 25 dernières années. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat est d'avis que les températures

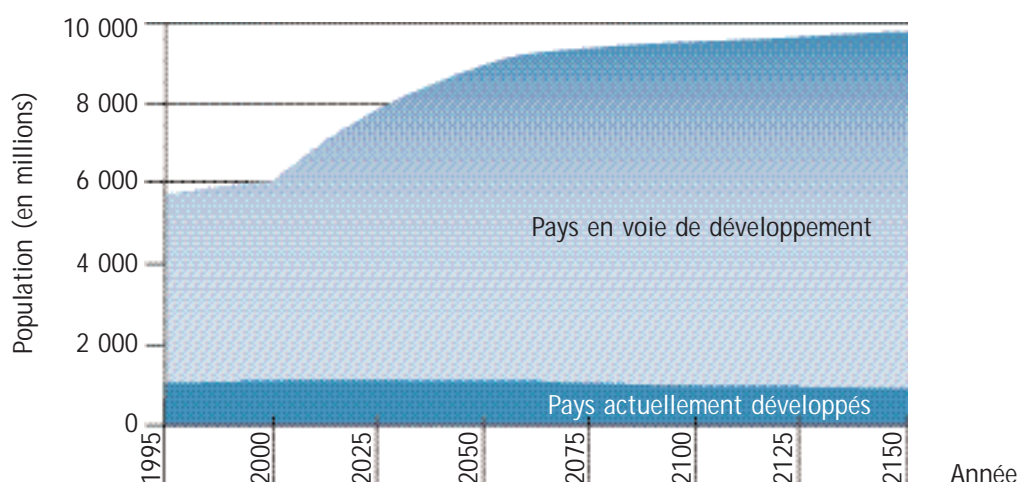
mondiales pourraient s'accroître de 6,1°C d'ici la fin du siècle.

Nous sommes engagés dans une périlleuse expérience avec la nature, sans précédent dans l'histoire de l'humanité. En effet, le réchauffement planétaire porte atteinte aux écosystèmes et à la biodiversité, l'élévation du niveau de la mer rendra inhabitables les plaines côtières du monde et les maladies tropicales se propageront. Si les tendances actuelles se poursuivent, ces phénomènes pourraient commencer à se manifester dès la génération de nos enfants.

Pouvons-nous faire quelque chose pour redresser la situation ? Bien sûr, nous le pouvons – je veux dire, les pays développés et industrialisés du monde. Notre croissance démographique s'est stabilisée, et nous avons probablement atteint un niveau de richesse et de savoir suffisant pour pouvoir mettre en œuvre des technologies énergétiques sûres et propres qui permettront de réduire les émissions sans que notre bien-être matériel actuel s'en ressente – à condition de relever le défi. Mais il se dresse un obstacle majeur à surmonter : la pauvreté et l'essor démographique dans le reste du monde. Selon les projections les plus récentes des Nations Unies, la population mondiale augmentera de 50 pour cent d'ici à 2150 ; or, la quasi-totalité de cette croissance interviendra en dehors de la zone de l'OCDE.

La mondialisation ouvre la voie à l'émergence d'une classe moyenne mondiale de 4 à 5 milliards de personnes, aspirant à des logements confortables, à la diversité du choix de denrées alimentaires et de produits de consommation, ainsi qu'aux possibilités d'éducation et de déplacements qui caractérisent notre civilisation moderne. Mais la satisfaction de toutes ces aspirations est tributaire d'une matière première essentielle : l'énergie.

Projections des Nations Unies concernant la population mondiale jusqu'en 2050 (scénario médian)



Si le reste du monde devait atteindre un niveau de vie égal à celui que connaît actuellement la zone de l'OCDE, la production d'énergie devrait s'accroître d'un facteur de 30. Nul ne s'attend à ce qu'une telle avancée se produise soudainement, mais même si la demande augmente progressivement, comment y répondra-t-on ?

Penchons-nous sur les combustibles fossiles – qui sont en grande partie à l'origine des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. De nombreux experts prévoient que la production de produits pétroliers atteindra son maximum avant le milieu du siècle et commencera ensuite à diminuer. Le charbon, dont on disposera encore en grandes quantités, permettra facilement de combler le déficit. Pour des raisons géologiques, le gaz naturel est plus abondant que le pétrole et son utilisation devrait progresser, en termes absolus, pour se stabiliser par la suite. Dans ce scénario de « poursuite des tendances actuelles », l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA) prédit un doublement de la consommation de combustibles fossiles au cours du siècle prochain.

Étant donné les liens étroits déjà observés entre la combustion de combustibles fossiles et l'augmentation des concentrations atmosphériques de CO₂, pouvons-nous vraiment envisager de continuer à brûler les mêmes quantités de combustibles fossiles qu'à présent, voire davantage, pendant le siècle prochain ? Les conséquences pour le réchauffement planétaire et le changement climatique seraient intolérables.

Qu'en est-il des sources d'énergie renouvelables et propres comme le solaire, l'éolien ou l'énergie des mers ? On pourrait assurément développer encore l'exploitation de l'énergie éolienne et des panneaux solaires, et peut-être celle de l'énergie des mers et des marées, mais cela sera sans doute très insuffisant pour faire face aux besoins énergétiques essentiels. C'est seulement en intégrant l'option nucléaire que nous pourrions laisser aux générations futures une planète qui répondra à leurs besoins comme nous avons satisfait les nôtres. L'énergie nucléaire peut être disponible en abondance, voire en quantités illimitées, et elle n'entraîne pas d'émissions de gaz à effet de serre.

Au milieu des années 50, lorsque le Président Eisenhower a prononcé le discours « Des atomes pour la paix », l'énergie nucléaire était considérée comme un don du ciel, à la fois pour le monde développé et en développement. On savait que les combustibles fossiles avaient une durée de vie limitée, ce qui est bien entendu le cas aujourd'hui aussi, encore qu'elle soit un peu plus longue, selon les estimations actuelles, que ne le laissaient présager les prévisions de l'époque. Cependant, on ne tenait pas alors les combustibles fossiles pour responsables d'une détérioration irréversible potentielle de la biosphère, ce dont nous sommes maintenant convaincus.

De nos jours, l'atmosphère est envahie par les émissions de gaz à effet de serre, les températures globales s'élèvent à une vitesse spectaculaire et la population mondiale, qui a plus que doublé depuis 1955, vit en majorité dans la pauvreté dans les pays en développement. Et pourtant, nous semblons

vouloir nous priver de l'option nucléaire qui, il y a quatre décennies, était jugée la solution d'avenir !

Qu'est-il arrivé pour que les attitudes à l'égard du nucléaire changent dans l'opinion publique, et donc parmi les responsables politiques ? Bien sûr, l'accident de Three Mile Island il y a un peu plus de 21 ans, et celui de Tchernobyl plus récemment, ont eu des effets négatifs considérables sur l'évolution de l'industrie nucléaire. Cette dernière appliquait en outre la culture du secret, probablement héritée de l'orientation militaire de la recherche nucléaire, ce qui a aggravé la situation. Aucune nouvelle installation nucléaire n'est actuellement prévue dans les pays de l'OCDE, sauf au Japon et en Corée. En fait, d'autres pays, à l'instar de l'Allemagne, choisiront peut-être de sortir du nucléaire.

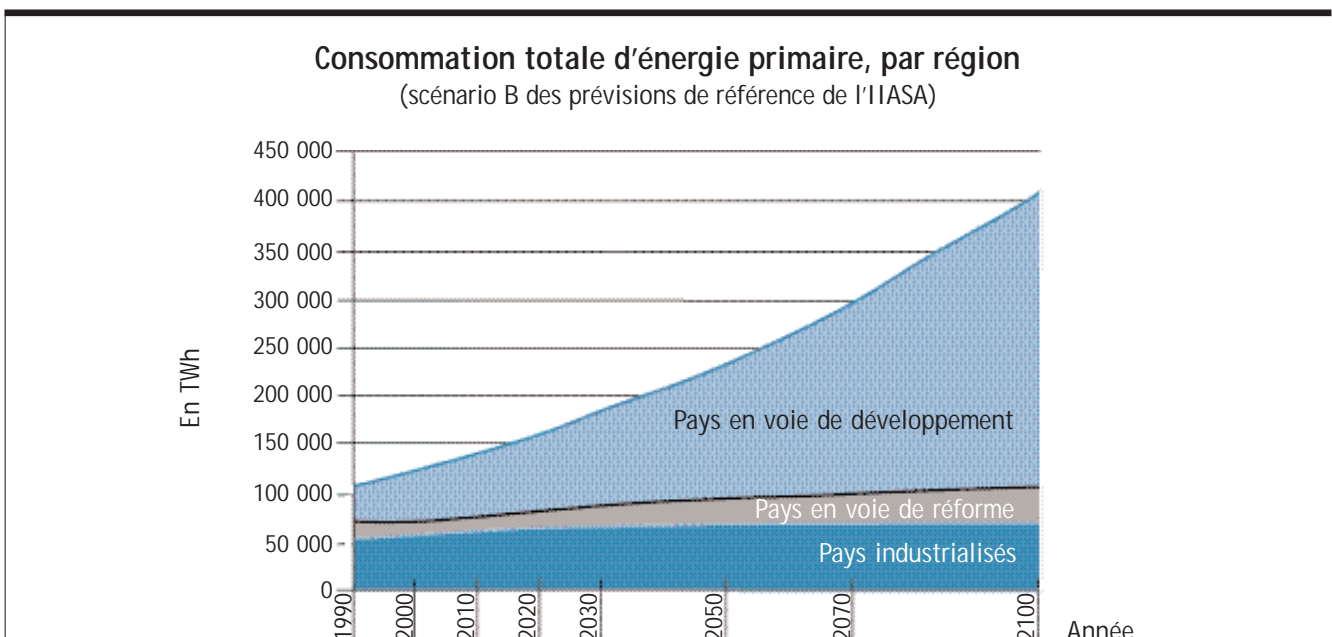
Les risques sanitaires associés à l'énergie nucléaire inquiètent, aussi bien à propos du fonctionnement des centrales nucléaires que des déchets radioactifs. Quant à ces derniers, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, dans une Opinion collective de ses pays Membres, a confirmé que le stockage des déchets radioactifs à vie longue dans des formations géologiques profondes peut être conçu et mis en œuvre dans le respect de considérations éthiques et environnementales fondamentales.

Bien entendu, aucune source d'énergie ne présente aucun risque. Les risques sont, par essence, pris en compte dans les processus décisionnels de politique générale. Dans le domaine de l'énergie

nucléaire, il en existe d'évidents, mais en comparaison de quels autres ? Allons-nous abandonner cette option au motif de quelques rares accidents ? Entre 1918 et 1965, 42 graves ruptures de barrages ont entraîné des pertes en vies humaines considérables. Avons-nous cessé d'en construire pour autant ? Avons-nous renoncé au charbon du fait des risques élevés liés à son extraction ? Non. Nous nous sommes employés à améliorer la fiabilité des technologies et à appliquer des mesures de sécurité plus strictes.

Ceux d'entre nous qui ont foi en l'avenir se doivent de le prouver en agissant de toute urgence. Dans l'idéal, il faudrait lancer une campagne, sous l'impulsion de responsables politiques et de personnalités de la société civile qui ne soient pas liés par des intérêts acquis à l'une ou à l'autre des options énergétiques. Cette campagne devrait se fonder sur une évaluation honnête des risques et des bienfaits du nucléaire, ainsi que des solutions aux problèmes qu'il pose.

L'avenir de l'énergie n'est pas celui d'une région du monde en particulier : c'est l'avenir de la fragile planète Terre. Pour le préserver, nous devons mobiliser l'expertise scientifique et les ressources matérielles afin de stimuler la recherche énergétique dans tous les domaines. Ensemble, des quatre coins du village planétaire, joignons nos forces pour faire en sorte que notre planète survive et demeure hospitalière pour l'homme. C'est la promesse que nous nous devons de faire aux générations futures. ■



Énergie et développement durable : questions et choix

Pour poursuivre sa contribution au bien-être de l'humanité, le développement devra à l'avenir, être durable à tous points de vue. La façon dont est produite et consommée l'énergie revêt une importance vitale pour la réalisation de cet objectif. À partir de ce constat, on commence à proposer des solutions concrètes permettant d'avancer sur la voie de la durabilité dans le secteur énergétique¹. Pour déterminer la durabilité des politiques de développement, deux critères peuvent s'appliquer. Premièrement, ces politiques doivent réaliser un juste équilibre entre les trois dimensions du développement durable – économique, environnementale et sociale – reconnaissant ainsi leur interdépendance intrinsèque. Deuxièmement, les politiques énergétiques doivent réduire l'exposition à des risques majeurs et améliorer la résilience du système énergétique grâce à une gestion active du risque et à la diversification.

Dans le secteur énergétique, ces deux critères, devront être satisfaits malgré de réels défis pour le développement durable, à savoir :

- La contribution grandissante des pays non Membres de l'OCDE à la consommation mondiale d'énergie a des conséquences considérables sur la sécurité d'approvisionnement mondiale et les émissions de gaz à effet de serre. En outre, deux milliards d'individus n'ont pas accès à l'électricité.
- Le changement climatique reste une priorité des pays industrialisés tandis que, pour les pays en développement, il s'agit d'éliminer les sources de pollution locale et régionale.
- La sécurité d'approvisionnement devient très problématique puisque les pays de l'OCDE sont

de plus en plus dépendants d'un nombre décroissant d'exportateurs de pétrole et de gaz.

- L'environnement institutionnel dans lequel se définissent les politiques énergétiques évolue vite. D'un côté, la décision se décentralise avec la réforme des marchés, la privatisation et la montée en puissance des ONG. De l'autre, la coordination régionale et mondiale est le seul moyen de régler un nombre croissant de problèmes.
- Les avancées technologiques et, en particulier, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la baisse des coûts des énergies renouvelables, offrent d'importantes perspectives de progrès sur divers axes du développement durable. Mais ce progrès ne se fera pas tout seul.

Plusieurs initiatives témoignent des actions entreprises pour relever ces défis. La neuvième session de la Commission du développement durable, qui s'est tenue à New York en avril 2001, et la réunion de l'AIE au niveau des ministres (mai 2001) ont pour thème principal l'énergie et le développement durable. Le projet horizontal de l'OCDE sur le développement durable, d'une durée de trois ans, constitue une référence pour de nombreuses actions publiques en faveur du développement durable.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) participe pleinement à cette entreprise. Depuis plusieurs années, elle a adopté une approche intégrée de la politique énergétique, qui repose sur des Objectifs communs (1993), présentés en ces termes :

** M. Olivier Appert est Directeur du Bureau de la coopération à long terme et de l'analyse des politiques à l'Agence internationale de l'énergie (mél : olivier.appert@iea.org).*

Les pays Membres de l'AIE s'efforcent de créer des conditions de nature à permettre que les secteurs énergétiques de leurs économies contribuent aussi pleinement que possible à un essor économique durable, au bien-être de leur population et à la protection de l'environnement².

Cette orientation prend aujourd'hui la forme d'un engagement total en faveur du développement durable. L'AIE souhaite participer au futur débat sur l'énergie et le développement durable aux côtés de l'OCDE et de l'AEN.

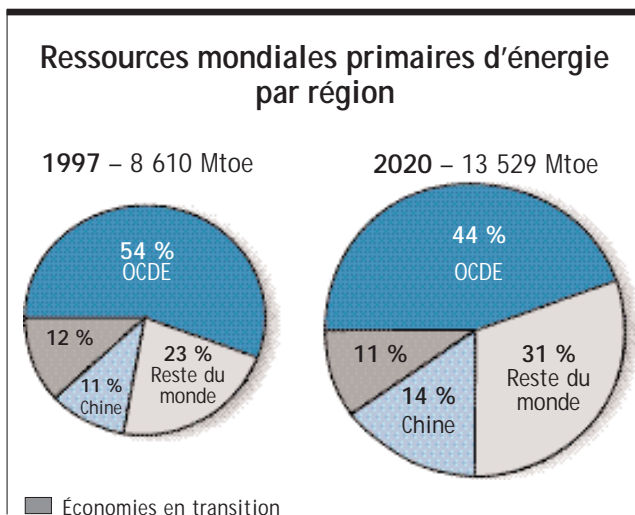
Panorama de la situation énergétique mondiale

La recherche du développement durable dans le secteur énergétique se heurte à la prédominance prévue des combustibles fossiles et à la concentration toujours plus forte des producteurs de pétrole et de gaz. Dans le scénario de référence du *World Energy Outlook 2000* établi par l'AIE, il est prévu que la demande primaire totale de combustibles commerciaux augmentera de plus de 57 % entre 1997 et 2020, à un rythme annuel de 2 %.

C'est dans les pays non membres de l'OCDE que la croissance de la demande d'énergie sera la plus forte au cours des 20 prochaines années. Par conséquent, la part de l'OCDE, de 54 % aujourd'hui, devrait, en 2020, être tombée à 44 % tandis que celle des pays en développement passera de 34 % à 46 %.

Suivant la progression de la demande totale d'énergie, de 2 % par an, le pétrole conservera sa position dominante en 2020, avec une part de près de 40 %. La croissance de la demande de pétrole est tirée par celle du secteur des transports, de 2,4 % par an. Par son rythme de progression, 2,7 % par an sur la période considérée, le gaz naturel arrive en deuxième position, derrière les énergies renouvelables hors hydraulique. Sa part de la demande d'énergie primaire passe ainsi de 22 % aujourd'hui à 26 % en 2020. La hausse de la demande prévue soulève, par contre, le problème de la sécurité d'approvisionnement.

Sur la période considérée dans l'étude, avec une croissance de 1,7 % par an seulement, le charbon devrait voir sa part de la fourniture totale d'énergie primaire s'amenuiser. La Chine et l'Inde, deux pays possédant d'importantes réserves de charbon où la demande d'électricité devrait augmenter fortement, devraient représenter plus des deux tiers de la progression de la demande de charbon sur la période analysée.



L'énergie nucléaire, qui assurait 17 % de la production mondiale d'électricité en 1997, devrait reculer vers la fin de la période, après 2010, pour tomber à 9 % en 2020. La production nucléaire n'augmentera que dans les pays en développement. Dans les pays de l'OCDE, bon nombre des réacteurs actuellement en exploitation devraient être déclassés.

L'hydraulique est, avec 18 % de la production, la deuxième source d'électricité après le charbon. Elle assure près de 3 % de la fourniture d'énergie totale, proportion qui devrait se maintenir. Les énergies renouvelables hors hydraulique sont celles qui se développeront le plus vite, à raison de 2,8 % par an jusqu'en 2020. Malgré cela, elles ne représenteront que 3 % du total en 2020. Ces projections soulèvent une question fondamentale. Nous dirigeons-nous vers un futur énergétique durable ? La réponse qui s'impose est non, sauf changement majeur.

Éléments de développement durable dans le secteur énergétique

Qui dit développement durable, dit forte orientation vers le futur. Le rapport Brundtland de 1987 le définit comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Cette prise en compte du long terme s'impose d'autant plus dans ce secteur que les effets de la production et de la consommation d'énergie peuvent se faire sentir très tard, bien des générations après nous.

La mondialisation, la déréglementation, le progrès technique, la prise de conscience des problèmes d'environnement et l'avènement des nouvelles technologies de l'information et des

communications sont autant de sources de transformation permanente du paysage complexe dans lequel s'inscrit le secteur énergétique. Dans certains cas, ces changements structurels bénéficient à la fois aux trois dimensions du développement durable. L'avènement des cycles combinés, par exemple, s'est traduit, pour plusieurs pays de l'OCDE, par des gains d'efficacité accompagnés d'une réduction ou d'une limitation des rejets de gaz à effet de serre.

À court terme, le temps de trouver suffisamment de solutions doublement gagnantes de ce type, il faudra réaliser des compromis entre les différentes dimensions du développement durable, par exemple pour préserver le bien-être individuel des générations futures. Tant qu'il existe des possibilités de substitution entre ces dimensions, tout recul sur une des dimensions, la composante environnementale, par exemple, sera compensé par un progrès équivalent sur un autre plan, disons économique.

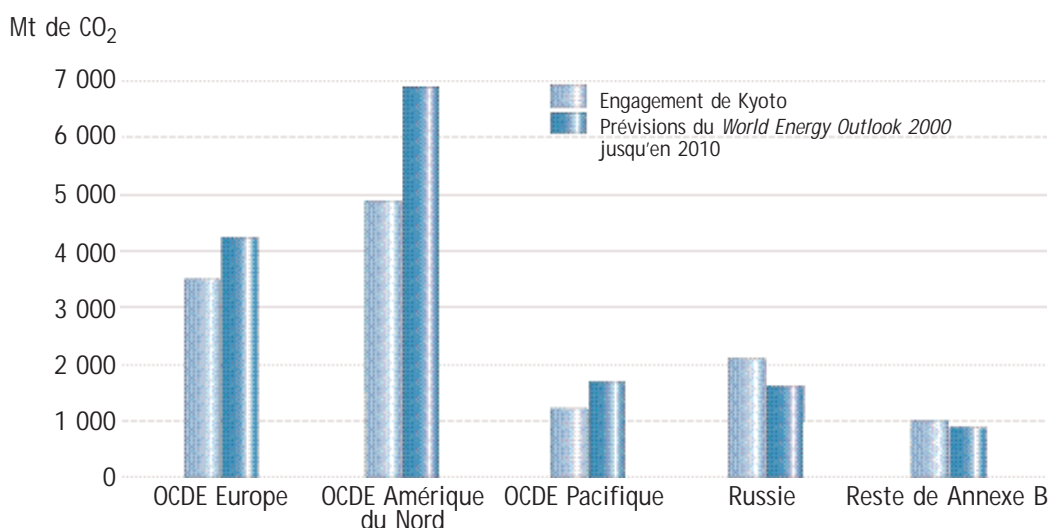
Comme bien souvent il n'y a pas de compromis réalisable, les processus institutionnels doivent servir à établir des seuils quantitatifs. À titre d'illustration, la réglementation environnementale, centrée pour l'essentiel sur les émissions atmosphériques locales et régionales de particules et de dioxyde de soufre (SO₂), a eu des résultats très positifs dans les pays de l'OCDE. Malheureusement, les pays en développement n'ont pas remporté les mêmes succès : l'utilisation de combustibles solides (charbon, fumier et biomasse) provoque près de 2 millions de décès prématurés par an.

Les efforts des pays de l'Annexe B du Protocole de Kyoto pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, dont près des quatre cinquièmes résultent de la combustion des combustibles fossiles, constituent l'une des actions les plus ambitieuses jamais entreprises en faveur du développement durable. Le graphique ci-dessous, qui représente les engagements des pays de l'Annexe B par rapport aux émissions prévues dans le scénario de référence figurant dans le *World Energy Outlook 2000*, donne une indication de l'ampleur de la tâche.

Bien que le débat sur le développement durable ait en grande partie porté sur les interactions entre l'économie et l'environnement, la dimension sociale ne doit pas être oubliée. Dans le cas de l'énergie, cette dernière comporte plusieurs facettes : elle recouvre non seulement la sécurité énergétique mais aussi la question de l'accès aux services énergétiques, les questions d'emploi dans ce secteur, les perturbations sociales que peuvent provoquer des variations de prix dans le secteur énergétique ainsi que des sujets tels que les conséquences sociales de l'exploitation des sols à des fins énergétiques. Aucun de ces facteurs ne doit être considéré isolément. Ils sont tous liés à la dimension économique et peuvent l'être également à la dimension environnementale.

Outre la réalisation d'objectifs d'intérêt public bien définis dans les domaines environnemental et social, par exemple, il revient aux gouvernements de créer des conditions propices au bon fonctionnement de marchés concurrentiels. La réforme de la réglementation promet des améliorations

Émissions de CO₂ produites par les pays signataires de l'Annexe B du Protocole de Kyoto*



*Les pays de l'Annexe B sont les pays qui se sont engagés à quantifier leurs limitations et leurs réductions de gaz à effet de serre.

significatives de l'efficacité économique, des prix payés par les consommateurs, de la répartition des risques et de la croissance et de la compétitivité économiques.

Enfin, le succès sur ces trois dimensions du développement durable dépend de l'absence de bouleversement susceptible de présenter des risques systémiques. On ne pourra en effet préserver différentes options économiques, sociales et environnementales pour les générations futures qu'en évitant toute rupture irréversible. Il importe tout particulièrement de bien gérer le risque dans le secteur énergétique, et cela pour deux raisons. Premièrement, l'électricité et le pétrole peuvent difficilement être remplacés : leur disparition pèserait très lourd sur la société. Deuxièmement, les délais dans le secteur énergétique sont très longs qu'il s'agisse de planifier, d'exploiter ou de déclasser des installations et infrastructures énergétiques. L'inertie et la rigidité que cela suppose rendent les systèmes énergétiques très vulnérables aux perturbations.

Vers des politiques énergétiques durables

Les responsables des politiques énergétiques peuvent encore décider de mener le débat sur le développement durable ou de se contenter de suivre le mouvement, mais ils n'ont plus le choix de participer ou non. On sait désormais que toute approche cohérente du développement durable dans le secteur énergétique passe par l'intégration des différentes dimensions et de la gestion du risque dans une politique inscrite dans la durée. Sachant que des perturbations imprévisibles sont inévitables et que le risque zéro n'existe pas, les politiques énergétiques durables sont aussi celles qui prévoient des solutions pour le cas où ces perturbations risqueraient de compromettre le développement durable.

De la réflexion qui précède on peut dégager plusieurs politiques permettant d'avancer sur la voie du développement durable. Leur mise en œuvre pourra prendre diverses formes suivant les pays, mais leur orientation générale sera la même dans tous les pays qui choisiront d'adopter des politiques énergétiques globales pour atteindre le développement durable :

- assurer la sécurité d'approvisionnement par la diversification des sources et la mise en place de mécanismes souples et coordonnés pour parer à des ruptures d'approvisionnement imprévues ;
- définir des objectifs raisonnables et établir des instruments fondés sur le libre jeu des forces

du marché, économiquement plus intéressants, afin de trouver un juste compromis entre le risque de changement climatique et le risque de freiner la croissance économique ;

- encourager l'internalisation des externalités environnementales de la production et de la consommation d'énergie en définissant clairement les responsabilités et en supprimant certaines subventions qui vont à l'encontre des objectifs d'intérêt public ;
- pour se prémunir contre le risque d'accident, veiller à ce que les équipements, installations et infrastructures énergétiques respectent les normes de sûreté les plus strictes et mettre au point des mécanismes d'intervention en cas d'urgence ;
- encourager les travaux de recherche et développement sur les nouvelles technologies énergétiques, dans des domaines où existent des possibilités clairement identifiées de promouvoir le développement durable ;
- poursuivre la libéralisation des marchés de l'énergie dans des conditions stables et prévisibles eu égard aux performances environnementales et à la compatibilité sociale ;
- créer, par l'investissement et les transferts de technologie, des conditions propices à la participation du secteur privé aux efforts entrepris pour apporter l'électricité aux 2 milliards d'individus qui en sont actuellement privés ;
- financer la recherche, l'éducation et l'information sur le développement durable et reconnaître ainsi la nécessité d'aborder la complexité inhérente au développement durable ;
- mettre en place des mécanismes généraux de décision transparents auxquels puissent participer tous les intéressés et qui tiennent compte des évolutions de la société, afin de faciliter l'intégration des politiques et d'équilibrer les trois dimensions du développement durable.

Ces principes devraient nous permettre d'avancer dans la bonne direction. Le développement durable représente assurément un immense défi que seule une forte détermination politique permettra de relever. ■

Notes et références

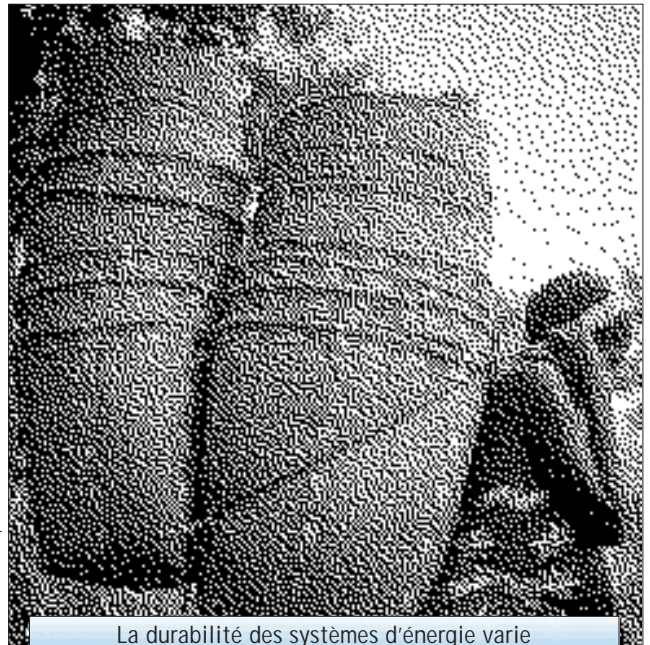
1. Lire par exemple, la publication de l'AIE intitulée *Working Towards a Sustainable Energy Future*, (à paraître en 2001), Paris.
2. AIE (1995), *The History of the International Energy Agency*, Volume III, Paris.
3. PNUD, Département des affaires économiques et sociales de l'ONU et CME (2000), *Perspectives énergétiques mondiales*, Vienne.

Durabilité du système énergétique mondial

Les manifestations antimondialisation organisées contre la Banque mondiale, le FMI et l'Organisation mondiale du commerce semblent fondées sur l'idée que des marchés libéralisés portent préjudice à la prospérité et à l'égalité des chances. Je ne partage pas cette opinion, mais les marchés à eux seuls ne suffisent pas. D'une part, il serait folie de penser qu'un financement complémentaire de quelque 30 milliards de dollars par an visant à éradiquer la pauvreté énergétique partout où elle sévit (somme qui viendrait s'ajouter aux quelque 400 milliards de dollars déjà investis chaque année dans des améliorations ou des extensions des infrastructures actuelles) proviendra de l'État ou des contribuables. D'autre part, il est d'une injustice flagrante de penser que les pauvres ne payent pas, de nos jours, l'énergie non commerciale qu'ils consomment pour la cuisson des aliments ou le chauffage : au contraire, ils la payent à outrance si l'on tient compte des heures passées pour la collecte du bois et des graves effets sur leur santé des systèmes inefficaces et polluants auxquels ils font souvent appel.

A l'occasion de son Congrès mondial tenu à Houston, Texas, en septembre 1998, le Conseil mondial de l'énergie (CME) a conclu que, compte tenu du fait qu'un tiers de la population mondiale n'a pas accès à un approvisionnement en énergie commerciale à un coût abordable, résoudre ce problème relève non seulement d'un devoir social, mais aussi d'une priorité économique. Le CME a également relevé le défi lancé par le PDG d'ABB, Göran Lindahl, qui consiste à collaborer au

* M. Gérard Doucet est Secrétaire général du Conseil mondial de l'énergie (mél : info@worldenergy.org)



Ledru et Martel, UNESCO

La durabilité des systèmes d'énergie varie d'un pays à un autre.

transfert de technologie et à l'investissement pour éliminer de l'atmosphère un milliard de tonnes de CO₂ d'ici à 2005.

C'est dans cette perspective que le CME a publié, en 2000, la Déclaration du Millénaire indiquant comment parvenir à des systèmes énergétiques durables sur un marché mondial ouvert à la concurrence. Le CME a également noué pour la première fois un partenariat avec le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et le Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies (UNDESA) en publiant en septembre 2000 les *Perspectives énergétiques mondiales*, qui serviront de base à la session

de 2001 de la Commission du développement durable, organisée sous l'égide des Nations Unies. Les Perspectives définissent les moyens de parvenir à une trajectoire durable satisfaisante d'ici à 2020, en récoltant les fruits de la réforme des marchés dans les filières énergétiques associée à une régulation appropriée, à la coopération régionale dans le domaine de l'énergie et à un portefeuille énergétique diversifié.

Ces travaux ont été entrepris alors que les prix du pétrole venaient de tripler, ce qui a provoqué des pressions considérables sur les taux de change dans les pays en développement gros importateurs de pétrole ou de gaz naturel. Néanmoins, ce ne sont pas des approvisionnements suffisants ou le prix du pétrole qui constituent l'enjeu fondamental, dans la mesure où les combustibles fossiles continueront à occuper une place très importante dans la palette d'énergies primaires utilisées jusqu'à une date avancée du 21^{ème} siècle. C'est pourquoi il importera au plus haut point, dans les travaux sur le développement durable que mène actuellement le CME, d'accorder la priorité aux technologies plus propres et aux moyens de couvrir les coûts réels des combustibles et des services énergétiques.

Des actes plus éloquents que des paroles

Les programmes régionaux que poursuit actuellement le CME en Asie, en Afrique, en Amérique latine et dans les Caraïbes, ainsi qu'en Europe centrale et orientale, visent essentiellement à offrir aux citoyens du monde entier, d'ici à 2020, la possibilité d'acheter à un prix raisonnable un minimum de 500 kWh d'électricité ou d'approvisionnement énergétique équivalent. Ce ne sera pas nécessairement de l'électricité fournie par le réseau, mais il s'agira bel et bien d'une entreprise commerciale. En effet, l'énergie n'est pas un don du ciel, son prix doit être fixé de manière à couvrir l'intégralité des coûts et il faut que les systèmes de tarification fonctionnent efficacement. Le CME a également créé la seule banque de données mondiale sur les réductions des émissions de gaz à effet de serre imputables à plusieurs sources d'énergie, conçue pour assurer le suivi de plus de 400 *véritables* projets énergétiques visant l'approvisionnement en énergie commerciale d'un nouveau marché dans un pays en développement dans des conditions permettant d'obtenir des réductions mesurables des émissions nocives. Cette base de données est mise à la disposition du public et chacun peut la consulter.

Le Conseil mondial de l'énergie

Le Conseil mondial de l'énergie (CME) est un organisme mondial dont le travail porte sur diverses énergies, soutenu par des intérêts d'État et privés de plus de 90 pays. Depuis 1923, année où le CME a été créé pour aider à reconstruire le réseau électrique après la première guerre mondiale, il intègre les activités de systèmes énergétiques efficaces et rentables – embrassant tous les aspects de l'exploration, de la production, du transport, de la distribution et de l'utilisation de ces systèmes – aux préoccupations des gouvernements en matière de prospérité et de bien-être quotidien des citoyens. Le CME a pour mission d'œuvrer pour une production et une utilisation durables de l'énergie au plus grand bénéfice de tous ; il compte, à cet effet, sur la collaboration de plus de 4 000 ingénieurs, économistes, décideurs et cadres, convaincus qu'une énergie abordable et durable est l'une des solutions clés dans la lutte contre la pauvreté, les inégalités et la dégradation de l'environnement aux quatre coins du monde.

Les marchés doivent s'appuyer sur une réglementation intelligente et impartiale pour traiter les questions liées aux normes de rendement, à la prise en compte du coût complet des combustibles, au pouvoir du marché et aux échanges d'énergie. Depuis le Protocole de Kyoto, les émissions de gaz à effet de serre sont dans le collimateur des responsables politiques, mais les pays en développement ont raison de se concentrer sur la pauvreté énergétique et la pollution locale, avant de se préoccuper de la science imparfaite du réchauffement de la planète. Nous devons néanmoins poursuivre la tâche consistant à établir le lien entre les investissements en faveur de l'accessibilité de l'énergie dans les pays en développement et des réductions quantifiables des émissions à l'aide des technologies les plus modernes. La concurrence et le libre choix du client, assortis d'une régulation appropriée, favoriseront l'accélération du transfert de technologie pour y parvenir. Le temps presse énormément.

Ce message a trouvé un large écho dans la réflexion des dirigeants politiques des pays en développement ainsi que des responsables des entreprises de production et de services énergétiques avec lesquels ils collaborent. La manière dont ceux-ci gèrent le débat public sur la sécurité, la responsabilité et les tarifs est décisive, or ils semblent conscients de la nécessité d'agir dès maintenant au lieu de remettre à plus tard la prise de décisions difficiles. Les entreprises énergétiques ont adopté des stratégies commerciales visant à maîtriser dans une optique durable les émissions nocives et les rejets carboniques, non seulement dans les pays en développement mais aussi sur le pas de leur porte. Favoriser les partenariats financiers entre les pays développés et en développement, sous la forme d'investissements commerciaux sains consacrés aux infrastructures énergétiques ou aux systèmes de production décentralisés pour atteindre des objectifs d'environnement, constitue une pièce maîtresse du casse-tête à résoudre pour parvenir au développement durable.

Il s'agit là de mesures pratiques pour relier l'objectif de l'accessibilité de l'énergie à celui de son acceptabilité à chaque fois que l'occasion s'en présente. Des systèmes énergétiques efficaces ont un grand rôle à jouer pour faire face aux questions de santé et d'environnement, ainsi que pour s'attaquer à des problèmes nouveaux, notamment celui des ressources en eau, lesquelles sont le thème central d'une étude majeure intitulée *Living in One World* que présentera le CME à l'occasion de son 18^{ème} Congrès mondial à Buenos Aires, en octobre 2001. Le Congrès se penchera également sur le problème de l'éthique et de la réglementation des systèmes énergétiques, ainsi que sur les nouvelles technologies et la transition vers la libéralisation.

Un nouveau point de mire s'impose

Le CME a invité la Banque mondiale et les Nations Unies à axer leur attention sur ces questions. Recueillir les avantages de la réforme des marchés accompagnée d'une régulation appropriée ne suffit pas dans les pays souffrant de graves problèmes de pauvreté urbaine ou rurale ; le risque politique lié à l'investissement doit être traité par la Banque Mondiale et les autres institutions financières, par le biais d'un programme global de co-assurance appliqué aux projets énergétiques, pour faire en sorte que la force majeure et d'autres fardeaux particuliers soient traités de

manière équilibrée. Selon les *Perspectives énergétiques mondiales* dont il est question plus haut, des technologies plus propres applicables aux combustibles fossiles, des systèmes hybrides combinant des énergies renouvelables et de l'électricité produite en base, ainsi qu'une énergie nucléaire sûre doivent être favorisés par des politiques et des stratégies commerciales saines tenant compte de la palette des énergies disponibles, afin de répondre à la demande mondiale d'énergie fiable et durable qui ira croissant d'ici à 2020 et dépassera alors de 50 % peut-être son niveau actuel, surtout dans les pays en développement. ■

Référence

1. Pour de plus amples renseignements sur le Conseil mondial de l'énergie, consulter le site www.worldenergy.org.

L'économie de l'énergie nucléaire et le développement durable

Pour apporter une réelle contribution au développement durable, toute option technologique doit réussir l'épreuve de l'efficacité économique, lui donnant le droit d'utiliser un capital rare. Dès que l'on parle de développement durable, cependant, la notion de capital prend une toute autre dimension et inclut le capital naturel, humain et social et les réalisations humaines. La compétitivité ne peut alors être évaluée qu'en comparant les coûts totaux du produit ou service considéré pour la société.

Aujourd'hui, une bonne partie des coûts de la fourniture de biens et de services n'apparaît pas dans le prix de marché. Dans l'exemple de l'électricité, sa production et son utilisation engendrent des coûts non pris en compte par les pratiques comptables traditionnelles, comme les atteintes à la santé et à l'environnement, que les producteurs ou consommateurs ne paient pas. Ces coûts « externes », c'est la société toute entière qui les supporte aujourd'hui, ou qui les supportera demain.

Les économistes cherchent des moyens de calculer ces coûts et de les intégrer aux prix, en d'autres termes, d'internaliser les externalités. Dans l'optique du développement durable, la vérité des prix, condition du bon fonctionnement des mécanismes du marché, passe en fait par la prise en compte des coûts sociaux et environnementaux pour les générations actuelles et futures. C'est pourquoi, l'évaluation comparative des différentes

technologies est amenée à devenir un outil efficace de définition des politiques.

Économie de l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire se distingue par plusieurs propriétés économiques qui déterminent son intérêt du point de vue du développement durable. Les programmes nucléaires exigeant un engagement à long terme des décideurs publics et des investisseurs, les risques financiers et les charges futures résultant de ces activités doivent être examinés avec soin. Les centrales nucléaires supposent des investissements très lourds, mais ont des coûts de production marginaux faibles et stables. L'industrie nucléaire s'appuie sur une infrastructure complète, dont une main d'œuvre hautement qualifiée, qui en fait une activité à fort capital humain. Elle utilise peu de ressources naturelles et garantit la sécurité d'approvisionnement.

Il faut compter au minimum 5 ans pour construire les tranches nucléaires modernes dont la durée de vie technique prévue, jusqu'à 60 ans et plus, peut poser quelques problèmes aux investisseurs privés et propriétaires de centrales lors de la déréglementation des marchés, mais s'inscrit cependant dans la perspective à long terme propre aux décideurs ayant opté pour des politiques de développement durable. Une centrale nucléaire s'amortit sur plus de vingt ans en général. Le fait d'être obligé de l'exploiter longtemps avec un facteur de charge élevé avant d'avoir récupéré son investissement s'assortit de risques financiers liés non seulement aux possibilités de défaillances techniques mais aux incertitudes quant à la stabilité de la réglementation et à la hausse de la demande.

* Mme Evelyne Bertel est membre de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN (mél : bertel@nea.fr).
M. Robert Morrison est ancien président du Comité de direction de l'énergie nucléaire (mél : robertmorrison@home.com).

L'investissement représente normalement 60 % environ du coût total de production de l'électricité nucléaire. Le coût en capital d'un GWe se situe aux alentours de 2 milliards d'USD. Une fois construites, en revanche, les centrales nucléaires ont des coûts de combustible et d'exploitation assez faibles, ce qui compense la nécessité d'amortir l'investissement. Étant donné que l'uranium ne représente que 5 % du coût de l'électricité nucléaire, toute hausse de son prix, même importante, aura peu de répercussions sur le coût total de l'électricité nucléaire.

L'importance des ressources en uranium et leur répartition mondiale équilibrée d'un point de vue géopolitique garantissent la sécurité d'approvisionnement à long terme. L'uranium et le thorium, un autre combustible nucléaire potentiel, n'ont en général pas d'autre application importante. De ce fait, récupérer l'énergie qu'ils contiennent permet d'aplanir la demande d'autres sources d'énergie plus polyvalentes, ce qui va dans le sens du développement durable. Étant donné leur forte densité d'énergie, les flux de matières énergétiques sont très limités, tant en masse qu'en volume, et les prélèvements sur les ressources naturelles et l'environnement peu importants. Cela signifie également que le combustible nucléaire peut être stocké plusieurs années à des coûts raisonnables, réduisant ainsi d'autant la menace sur la sécurité d'approvisionnement à court terme.

Au rythme de consommation actuel, les ressources récupérables à des coûts raisonnables pourront répondre à la demande plusieurs dizaines d'années. De plus, si la demande devait augmenter, la hausse des prix qui s'ensuivrait rendrait rentable l'exploitation de nouvelles ressources. Les cycles du combustible avancés, notamment ceux qui reposent sur le recyclage des matières fissiles, multiplieraient par soixante, voire plus, les ressources utilisables, garantissant l'approvisionnement en combustible nucléaire pendant plusieurs siècles, même dans le cas d'un fort développement du nucléaire.

Le secteur nucléaire exige des infrastructures de R&D et de formation ainsi que des cadres juridiques et institutionnels complets. Le très haut niveau de compétences techniques et managériales exigé crée une demande de personnel extrêmement qualifié, avec les avantages macro-économiques et sociaux que cela représente. L'exploitation de l'énergie nucléaire a ainsi de multiples retombées positives valorisant encore sa contribution aux objectifs économiques et sociaux du développement durable. Les centrales

et les installations du cycle du combustible sont autant de réalisations humaines transmises aux générations futures ; le retour d'expérience sur le cycle du combustible nucléaire vient enrichir le capital humain et intellectuel.

Les charges financières futures découlent de la nécessité de prévoir les coûts du démantèlement des installations nucléaires et du stockage des déchets radioactifs à vie longue. Elles ont été prises en compte à un stade précoce du développement de l'énergie nucléaire. Les mesures adoptées par l'industrie et les pouvoirs publics pour constituer des fonds suffisants répondent à l'impératif de ne pas transmettre aux générations futures des charges indues. En raison de la forte densité d'énergie du combustible et de l'énorme quantité d'électricité qu'il permet de produire, il est possible de mettre de côté les fonds nécessaires moyennant une petite majoration du prix payé par les consommateurs d'électricité.

Compétitivité de l'énergie nucléaire

Comme nous l'avons vu plus haut, les centrales nucléaires actuelles se caractérisent par la faiblesse de leurs coûts d'exploitation et de combustible, ce qui les rend très compétitives en termes de coût marginal. L'expérience récente des États-Unis, du Royaume-Uni, de la Suède et de la Finlande, par exemple, témoigne des bons résultats des centrales nucléaires sur les marchés déréglementés. Les centrales actuelles, peu chères à construire à l'époque ou dont les coûts initiaux sont en grande partie amortis, peuvent être très compétitives et rentables. Elles devraient continuer d'être exploitées longtemps après la fin de leur période d'amortissement.

Ces dix dernières années ont été marquées par une nette progression des performances techniques de la plupart des centrales nucléaires. Le taux de disponibilité des tranches nucléaires dépasse aujourd'hui 80 % dans la plupart des pays Membres de l'OCDE. Dans le même temps, les coûts d'exploitation et de maintenance ont diminué avec le retour d'expérience, comme le montrent les chiffres publiés par les exploitants américains et allemands notamment. Ce qui a entraîné une amélioration spectaculaire de l'ensemble des indicateurs économiques des centrales nucléaires.

De nouveaux progrès des performances techniques des centrales actuelles, l'augmentation de leur puissance et la prolongation de leur durée de vie devraient encore en renforcer la compétitivité au cours des prochaines années, voire décennies. De nombreux pays, y compris ceux qui ont

Coûts de production de l'électricité nucléaire

Pays	Taux d'actualisation	Investissement	Exploitation et maintenance	Combustible	Coût total
	%	%	%	%	cents US/kWh
Canada	5	67	24	9	2,5
	10	79	15	6	4,0
Corée (République de)	5	55	31	14	3,1
	10	71	20	9	4,8
Espagne	5	54	20	26	4,1
	10	70	13	17	6,4
États-Unis	5	55	27	19	3,3
	10	68	19	13	4,6
Finlande	5	59	21	20	3,7
	10	73	14	13	5,6
France	5	54	21	25	3,2
	10	70	14	16	4,9
Japon	5	43	29	27	5,7
	10	60	21	19	8,0
Turquie	5	61	26	14	3,3
	10	75	17	9	5,2

décrété un moratoire sur la construction de centrales, ont modernisé leurs centrales pour augmenter leur puissance installée. Dans la plupart des cas, il est rentable de prolonger leur durée de vie, même si cela demande de mettre les installations en conformité avec les normes de sûreté actuelles.

S'agissant des nouvelles centrales, les données présentées dans l'ouvrage intitulé *Prévisions des coûts de production de l'électricité* (OCDE/AEN, 1998) montrent que l'énergie nucléaire est rarement la solution meilleur marché. Sur un marché déréglementé, avec les taux d'actualisation élevés que cela suppose et compte tenu des prix actuels des hydrocarbures, le gaz naturel constitue un très sérieux concurrent. Ces études ne tiennent pas compte néanmoins des hausses récentes des prix du pétrole et du gaz naturel. En Amérique du Nord, les prix du gaz naturel ont été multipliés par trois ou quatre ces deux dernières années. Or, s'il n'est pas dit qu'ils se maintiendront aux niveaux actuels, on peut aujourd'hui penser qu'ils dépasseront les niveaux prévus à la fin des années 90.

À long terme, les centrales nucléaires se trouveront en concurrence non seulement avec les centrales thermiques modernes, mais avec les technologies renouvelables qui devraient être à la fois plus performantes et moins chères grâce aux progrès scientifiques et techniques et à leur développement commercial. Cela signifie, dans la plupart des cas, qu'il faudra parvenir à réduire les coûts en capital et à raccourcir les délais de planification et de construction. Certains concepteurs et

constructeurs de réacteurs envisagent de réduire de 30 à 40 % les coûts en capital des modèles actuels ou qui verront le jour dans les années qui viennent, et de ramener à cinq ans, voire moins, la durée de la construction. Une réglementation standardisée et prévisible devrait également faciliter la planification.

La compétitivité relative des différents modes de production d'électricité dépend pour beaucoup du taux d'actualisation utilisé pour calculer les coûts. À un taux d'actualisation de 5 %, les centrales nucléaires qui seraient construites aujourd'hui seraient bien placées par rapport à leurs concurrents dans de nombreux pays, mais, si l'on prend un taux d'actualisation de 10 %, les centrales au gaz arrivent en tête presque partout. De forts taux d'actualisation et les objectifs économiques des investisseurs privés sur les marchés déréglementés, rehaussent la compétitivité des technologies peu gourmandes de capitaux comme les turbines à gaz. Inversement, des taux d'actualisation faibles, qui traduisent une préférence pour un avenir conforme aux objectifs du développement durable, favorisent les technologies capitalistiques comme les énergies nucléaire et renouvelables.

Coûts externes

Les normes et la réglementation destinées à réduire les émissions résiduelles et les conséquences des cycles des combustibles ont pour effet de limiter les coûts externes sanitaires et environnementaux de l'électricité. Dans le cas de l'énergie nucléaire, l'industrie doit observer des

règles de sûreté particulièrement contraignantes, respecter des limites de rejets atmosphériques et liquides très strictes et s'engager à confiner les déchets radioactifs. C'est elle qui en supporte les coûts en les internalisant.

Les mesures de sûreté destinées à éviter l'exposition du public et des travailleurs à des doses supérieures aux seuils autorisés, conformément à la réglementation nucléaire et environnementale, représentent une proportion significative du coût de l'énergie nucléaire. L'internalisation des coûts externes s'étend au stockage des déchets radioactifs à vie longue et au démantèlement des installations pour lesquels ont été constitués des fonds. La responsabilité d'un accident grave est aussi internalisée bien que, dans la plupart des cas, l'on ait en fait plafonné le montant total de la responsabilité de l'industrie et que les États assument le risque résiduel qui, lui, constitue une externalité. Certains pays ont opté pour une responsabilité illimitée, mais comme l'industrie a des capacités limitées, l'État devra toujours finalement prendre en charge le risque résiduel. La plupart des autres industries commencent seulement à envisager de se doter de régimes de responsabilité pour couvrir leurs impacts à long terme.

Des études comparatives récentes, réalisées dans le cadre du projet ExternE sous les auspices de la Commission européenne, montrent que les divers modes de production de l'électricité, à savoir les sources fossiles et renouvelables, n'ont pas entièrement internalisé leurs coûts externes respectifs. On ne peut pas en tirer de conclusion générale, étant donné que les répercussions des cycles des combustibles peuvent varier avec les sites. Toutefois, les coûts externes des cycles du combustible nucléaire sont en général inférieurs à ceux des autres modes de production, même si l'on inclut l'éventualité d'un rejet accidentel.

L'adoption d'une réglementation environnementale a favorisé l'avènement de technologies

propres. Les centrales à combustibles fossiles modernes utilisent des systèmes de dépollution qui permettent, à condition d'y mettre le prix, d'abaisser les émissions atmosphériques à des niveaux jugés inoffensifs. Le dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre ont échappé à cette réglementation et pourtant sont responsables du changement climatique mondial.

Bien qu'il soit impossible de calculer, avec suffisamment de certitude, la valeur des dégâts provoqués à long terme par le changement climatique, il s'agit d'un risque majeur qu'il faudra éviter par des mesures en faveur du développement durable. Transmettre aux générations futures le fardeau du changement climatique résultant d'activités dont bénéficie la génération actuelle n'est assurément pas compatible avec les objectifs du développement durable.

Conclusion

Avec de faibles coûts marginaux comparés à ceux des autres options, les centrales nucléaires exploitées aujourd'hui, y compris sur des marchés déréglementés, sont en général compétitives. En outre, le retour d'expérience révèle une amélioration continue du fonctionnement mais aussi des performances économiques des réacteurs actuels.

Les recherches, travaux de développement et de conception entrepris par les concepteurs pourraient se traduire par d'importantes réductions des coûts en capital et des délais de construction de la prochaine génération de réacteurs. Pour diminuer les risques financiers propres à l'énergie nucléaire et attirer les investisseurs, il importe de poursuivre dans cette direction.

Les objectifs économiques du développement durable exigent que l'on intègre la totalité des coûts d'une technologie aux prix de ses produits. Le secteur de l'énergie nucléaire a bien avancé sur cette voie de sorte que ses coûts actuels intègrent largement les répercussions sociales et environnementales de la production d'électricité. C'est pourquoi, l'extension à toutes les technologies et sources d'énergie de l'internalisation des coûts externes devrait rehausser la compétitivité de l'énergie nucléaire, mais il faudra pour cela attendre quelque temps. D'ici là, l'industrie nucléaire doit s'employer à réduire ses coûts face à la concurrence et veiller à ce que son impact sur la santé, la sûreté et l'environnement soit toujours aussi limité. Il lui faut convaincre les investisseurs et le public que l'énergie nucléaire est un bon investissement pour l'avenir, sur tous les plans, économique, environnemental ou social. ■



Takahama NPP, Kansai Electric Power Co., Japon

L'énergie nucléaire fournit près de 40 % de l'électricité au Japon.

Gestion des déchets radioactifs et développement durable

Le concept de développement durable, qui a vu le jour à la fin des années 80, répond au besoin de trouver un juste équilibre entre le développement économique et la préservation des écosystèmes. Le rapport Brundtland définit le développement durable en ces termes : « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

L'énergie, ingrédient primordial du développement économique, concourt à la stabilité sociale par l'amélioration de la qualité de vie qu'elle apporte. De fortes augmentations de la production d'énergie seront nécessaires pour que les pays en développement bénéficient de cette qualité de vie et pour que les pays développés la conservent. En outre, de toutes les formes d'énergie, c'est l'électricité qui devrait connaître la plus forte croissance, car elle est pratique, polyvalente et propre. Plus la production et la consommation d'énergie augmenteront et plus il faudra en maîtriser et en atténuer les effets sur la santé et l'environnement et, de cette manière, atteindre les objectifs du développement durable. Dans la perspective d'une réduction des émissions, des sources telles que l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables, qui ne produisent pas de gaz de combustion, peuvent jouer un rôle de premier plan, à condition d'être en mesure de concurrencer les combustibles fossiles particulièrement abondants et relativement bon marché.

Les déchets radioactifs sont le sous-produit inévitable de l'utilisation des rayonnements ionisants dans diverses disciplines telles que la médecine nucléaire, l'industrie et la conservation

des aliments, mais leur forte radioactivité, dans le cas de la production d'électricité, leur confère une importance particulière. Pourtant, les déchets radioactifs résultant de l'utilisation de l'énergie nucléaire représentent des volumes infimes, normalement moins de 1 % de la totalité des déchets toxiques produits dans les pays dotés de parcs nucléaires.

La plupart des pays de l'OCDE/AEN stockent les déchets de faible et moyenne activité à vie courte dans des dépôts conçus de façon à préserver la sécurité des hommes et de l'environnement tant que ces déchets sont radioactifs. Les déchets sont dûment conditionnés et stockés dans des installations isolées de l'environnement par des barrières ouvragées. Les déchets de haute activité, quant à eux, sont d'abord entreposés plusieurs dizaines d'années, dans des conditions de sûreté très rigoureuses. L'entreposage peut s'effectuer en milieu aqueux ou à sec, et les installations peuvent desservir une seule centrale ou, au contraire, une région, voire un pays tout entier. Les résidus d'extraction de l'uranium ainsi que les déchets des usines de concentration de l'uranium, bien que ne faisant pas partie des déchets radioactifs au sens propre, sont conditionnés sur le site même des installations et protégés des intempéries par plusieurs couches de matériaux isolants divers.

Bien qu'il ne soit pas justifié économiquement ni techniquement, ni même écologiquement d'accélérer ou d'avancer la construction des dépôts de déchets radioactifs, l'entreposage n'est pas une

** M. Jorge Lang-Lenton León est Directeur de la communication à ENRESA (mél : JLAL@enresa.es).*

USDOE, États-Unis



Le dépôt géologique de déchets radioactifs WIPP, près de Carlsbad, aux États-Unis.

solution définitive. Les principes du développement durable, qui veulent que l'on ne reporte pas les charges que l'on aurait pu assumer sur les générations futures, exigent que l'on construise des dépôts.

La technologie du stockage géologique profond des déchets de haute activité est aujourd'hui au point. Elle tire parti de la stabilité et de l'imperméabilité de certaines formations géologiques de la croûte terrestre dans lesquelles sont déposés les déchets conditionnés qui restent ainsi isolés de la biosphère, par un ensemble de barrières dont la barrière géologique, le temps que leur radioactivité atteigne des niveaux inoffensifs. Ces déchets peuvent être récupérés au cours de la phase initiale du dépôt, mais aussi au cours des phases ultérieures, mais à un coût plus élevé.

La nature nous a apporté la preuve de la sûreté du stockage géologique. Il y a près de deux milliards d'années, un réacteur naturel a fonctionné, de façon intermittente pendant des millions d'années, dans un gisement de minerai d'uranium au Gabon. Il était modéré par des courants d'eau naturels. Les produits de fission produits au cours de la réaction nucléaire n'ont pratiquement pas quitté leur lieu d'origine. Le premier dépôt géologique de déchets à vie longue construit par l'homme a été mis en service aux États-Unis en mars 1999 et nous permettra d'acquérir une expérience dans des conditions de fonctionnement industrielles.

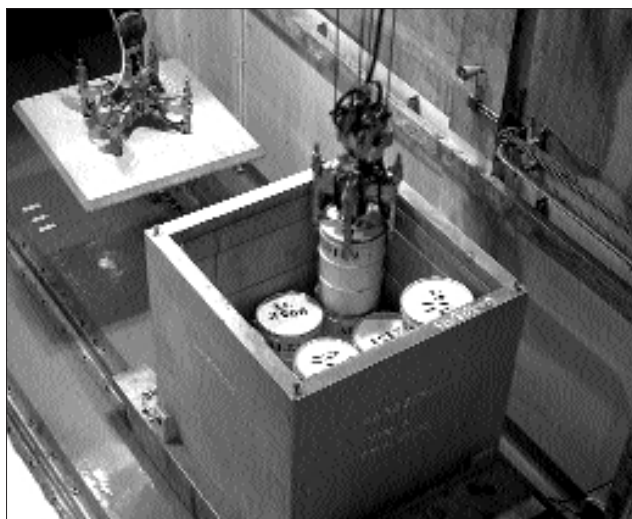
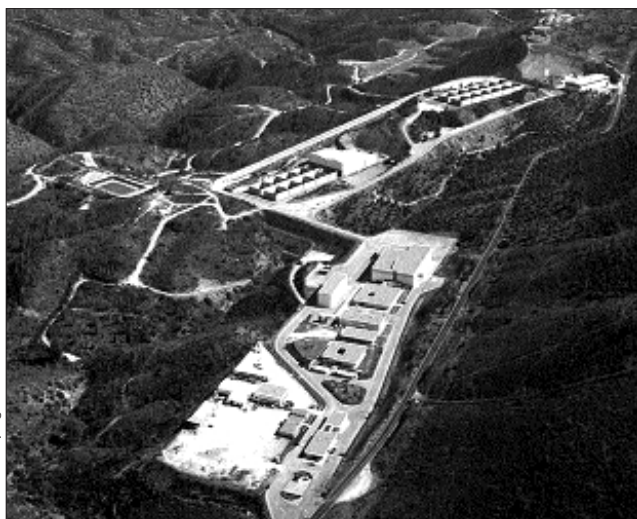
Avec les techniques de séparation et de transmutation, on sera en mesure de réduire dans de fortes proportions tant l'activité des déchets radioactifs

à vie longue que leur période. Ces techniques consistent, dans un premier temps, à isoler les éléments transuraniens et les radionucléides à vie longue présents dans les déchets puis, dans un deuxième, à les transformer par bombardement neutronique en d'autres éléments non radioactifs ou en éléments de période radioactive plus courte que les éléments d'origine. Cette option a été étudiée par certains pays, mais elle n'a pas été encore développée, et l'on ignore si et quand elle pourra être exploitée à l'échelle industrielle.

Comme nous l'avons vu plus haut, le développement durable suppose, et c'est là l'un de ses principaux objectifs, que l'on évite de transmettre aux générations futures des charges trop lourdes. Si l'industrie nucléaire ne parvient pas à mettre de côté les fonds nécessaires au démantèlement des centrales et au stockage des déchets, ce sont les générations futures qui devront assumer cette charge financière. Dans les pays Membres de l'OCDE/AEN, les coûts du démantèlement des centrales nucléaires et de la gestion des déchets à vie longue sont inclus dans les coûts de la production de l'électricité et répercutés sur les consommateurs finals ou, en d'autres termes internalisés. Bien qu'assez élevé, en termes absolus, le coût de la gestion des déchets radioactifs ne représente pas une composante significative de celui de la production électronucléaire.

Une bonne gestion des déchets radioactifs suppose le recours à des technologies avancées, et par voie de conséquence, des formations professionnelles adaptées et des programmes de R&D. De ce point de vue, la gestion des déchets est

ENRESA, Espagne



Le site d'El Cabril, en Espagne : les fûts sont déposés dans des structures en béton avant d'être stockés.

source d'emplois et de transfert de connaissances aux générations futures. En raison du contrôle strict auquel est soumis le développement scientifique et industriel, les pays ayant des activités dans le domaine nucléaire ont à peu près tous établi des normes garantissant la santé du grand public, des employés concernés et de l'environnement. De même, ils se sont dotés d'institutions responsables de la sûreté nucléaire et radiologique possédant les moyens humains, matériels et l'autorité juridique nécessaires pour veiller efficacement à la sûreté.

Si la gestion des déchets radioactifs s'appuie d'abord sur la rigueur scientifique et technologique, la solution doit aussi être socialement et politiquement acceptée. Dans la notion de développement durable, l'égalité et la façon dont la société est représentée comptent autant que la science et la technologie.

La diffusion d'informations satisfaisantes est essentielle mais ne suffit pas. Communiquer est un processus réciproque. La confiance qu'il inspire se révèle souvent plus importante que l'information technique spécifique donnée. Déverser des avalanches d'informations peut être mal perçu si le public est censé les accepter comme parole d'évangile et si le doute est considéré comme une marque d'ignorance.

Pour recueillir une adhésion suffisante, il faut d'abord comprendre les mécanismes par lesquels la société perçoit le risque. Il existe de nombreux facteurs qui interviennent dans cette perception : le sentiment de maîtrise du risque, la connaissance que l'on a de la technologie, le niveau d'incertitude, la crainte des conséquences,

le crédit dont jouissent les institutions, le processus de décision et les concepts et valeurs que partagent les membres d'une communauté donnée.

Il est essentiel de répondre aux préoccupations du public et de négocier des solutions acceptables. Le processus de décision doit s'élaborer pas à pas, avec la participation de tous les groupes concernés. Aux pouvoirs publics revient le rôle crucial de définir le processus et de diffuser des informations objectives, ce qui exige d'engager des ressources suffisantes.

Enfin, il ne faut pas oublier que la collaboration internationale, à travers la coordination et les directives d'organisations telles que l'OCDE/AEN et l'AIEA, favorise le développement, à l'échelle mondiale, des travaux sur la sûreté nucléaire, de la normalisation, de la formation, de la R&D et du contrôle de l'application des traités de non-prolifération (TNP).

Conclusions

La gestion des déchets radioactifs qui est aujourd'hui pratiquée dans les pays de l'OCDE/AEN respecte pleinement les principes du développement durable. Les générations actuelles peuvent aller de l'avant et ne pas rejeter le fardeau sur les générations ultérieures, tout en leur léguant un capital de connaissances, de normes et des structures internationales qui leur faciliteront la tâche. Le développement durable exige aussi l'adhésion du public. Étant donné son attitude à l'égard du risque nucléaire, le public doit être associé au processus de décision par une démarche volontariste. ■

Mesurer la durabilité des systèmes énergétiques

Les politiques énergétiques actuelles se caractérisent par un paradoxe. En théorie, on observe une volonté manifeste de faire face aux menaces nouvelles telles que le changement climatique d'origine anthropique, l'utilisation irresponsable de ressources limitées, les disparités géopolitiques sources de déséquilibre dans la satisfaction des besoins vitaux. En pratique, les décisions sont fondées essentiellement sur la compétitivité économique et la recherche du profit maximum à court terme. Les combustibles fossiles continuent d'être utilisés et ce, de plus en plus. Le Livre vert récemment publié par la CCE conclut que les pays de l'Union européenne doivent remédier à leurs faiblesses structurelles croissantes, en limitant leur dépendance énergétique externe, et donner la priorité aux systèmes énergétiques qui n'émettent pas de gaz à effet de serre¹.

De fait, il est indispensable d'améliorer la « durabilité » de notre approvisionnement énergétique. Notre principal objectif doit être de mettre un terme aux émissions de carbone et, en fin de compte, de décarboniser le plus possible les systèmes énergétiques mondiaux actuels. Or, une tâche d'une telle ampleur ne pourra être menée à bien que progressivement. Pendant la période de transition, il faut donc définir et appliquer les solutions « les plus durables » offertes par les systèmes utilisant les énergies fossiles. Il est également nécessaire de développer les options non fossiles et de les mettre en œuvre. Mais le recours aux systèmes énergétiques sans carbone (hydro-électricité, nucléaire, nouvelles énergies renouvelables) doit aussi être équilibré de façon à répondre de manière optimale et égale aux critères économiques, écologiques et sociaux qui constituent les composantes de la durabilité. Il faut, par conséquent, disposer d'outils appropriés et de

paramètres adéquats pour évaluer les options technologiques, afin de choisir le dosage optimal des sources d'énergie ainsi que de stimuler, canaliser et maîtriser les progrès technologiques nécessaires.

Une matrice d'évaluation

Pour rendre opérationnel le concept de durabilité et alimenter le processus décisionnel en éléments techniques, il convient de dégager des principes concrets de cette notion quelque peu abstraite. Cela ne peut se faire que pour un domaine d'application ou un secteur précis. L'Institut Paul Scherrer en Suisse a élaboré un ensemble d'indicateurs spécifiques par secteur permettant d'évaluer les différents modes de production d'électricité. Ces indicateurs s'appliquent à la fois aux technologies et aux différents stades de développement (actuel – avancé – potentiel) d'une même technologie. Ils doivent être calculés pour la totalité de la chaîne énergétique. L'analyse du cycle de vie (ACV), l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) et l'évaluation des risques constituent le cadre méthodologique. Les indicateurs proposés (voir tableau 1) correspondent à un nombre restreint de critères dérivés des principes de la durabilité. Ils sont essentiellement indépendants et non agrégés, et donc suffisamment transparents. De surcroît, ils doivent pouvoir être quantifiés, même si un petit nombre d'entre eux resteront probablement semi-qualitatifs. En même temps, ils sont représentatifs du nombre beaucoup plus important de paramètres utilisés pour les évaluations actuelles de la durabilité.

** Prof. Wolfgang Kröger est Directeur du Département de l'énergie nucléaire et de la sûreté à l'Institut Paul Scherrer (mél : wolfgang.kroeger@psi.ch).*

Le premier principe, à savoir le « non-épuisement des ressources », englobe les ressources naturelles comme les combustibles mais aussi d'autres matières. Interprété au sens large, il recouvre non seulement l'environnement, mais aussi des ressources telles que la santé publique ou la paix sociale et le bien-être économique. À un niveau plus détaillé, la sécurité est prise en compte dans le « risque collectif » (exprimé en nombre de décès

causés par des événements indésirables, assorti de la fréquence correspondante) et dans les pertes maximales dues au pire accident envisageable. La compétitivité économique est représentée par les coûts internes (production) et externes (dommages environnementaux).

Le deuxième principe, à savoir la « non-production de déchets non dégradables », est défini par la quantité de déchets et la durée de confinement

Tableau 1. Matrice d'évaluation de différents systèmes énergétiques, à niveau de développement égal

Principes	Critères	Indicateurs	Unités de mesure
« non »-épuisement des ressources	utilisation de l'énergie/ ----- autre matières (exemple : minerai de cuivre)	réserves disponibles ¹⁾	années
	occupation des sols	consommation	tonnes *
	effets sur les ressources en eau (exemple : pollution par le zinc)	exploitation des centrales	km ² *
	impact sur l'environnement par le biais des émissions	pollution ou consommation	tonnes *
		gaz ayant un effet sur le climat	kilotonnes d'équivalent CO ₂ *
	impact sur la santé humaine	gaz qui appauvrissent la couche d'ozone	tonnes d'équivalent CFC *
		fonctionnement normal	années de vies perdues *
	impact sur les aspects sociétaux	accidents/risque collectif	décès *
		aversion pour le risque	pertes de terres (km ²)/ décès par accident ²⁾
		possibilités d'emploi	Δ personnes/an *
efficacité économique	menace de prolifération	qualitative	
« non »-production de déchets non dégradables	coûts externes et internes	unité monétaire/kWh	
	quantité de substances dangereuses produites		m ³ *
« faible » sensibilité aux facteurs sociaux et environnementaux	sécurité d'approvisionnement et d'élimination	durée de confinement nécessaire ³⁾	années
		dépendance à l'égard de l'étranger	qualitative
	robustesse, c'est-à-dire qu'il ne s'impose pas ...	disponibilité des technologies ⁴⁾	unité monétaire *
		... d'interventions extérieures rapides ⁵⁾	heures
	... de stabilité socio-politique /financière	qualitative	

* par GWh_e ou GWh_e.

1) Dans l'hypothèse d'une stabilisation au niveau de production actuel. 2) Valeur maximum calculée au moyen de l'analyse de risque pour une centrale de 1 GW(e). 3) Nécessaire pour parvenir à des « niveaux naturels ». 4) Coûts prévus de la R&D jusqu'à la phase de commercialisation. 5) Laps de temps consécutif à un événement anormal, avant que des mesures correctrices ne deviennent nécessaires.

nécessaire (en fonction de l'évolution de la toxicité ou de la radiotoxicité des déchets dans le temps). Le degré d'acceptation publique n'est pas traité en tant que critère spécifique ; en revanche, d'autres aspects susceptibles d'influer sur la perception sociale des technologies (aversion pour le risque, emploi, menaces, etc.) sont explicitement pris en compte.

Le principe de la « faible sensibilité aux facteurs sociaux et environnementaux » est difficile à définir ; la sécurité d'approvisionnement et la robustesse des systèmes techniques ont été retenues comme critères.

Comparaison des systèmes

Des analyses approfondies font apparaître que la plupart des indicateurs proposés peuvent déjà être quantifiés. Les résultats correspondants révèlent les points forts et les points faibles des différentes filières énergétiques (voir au tableau 2 le sous-ensemble d'indicateurs quantifiés).

Les systèmes qui utilisent des combustibles fossiles sont tributaires de ressources énergétiques limitées. Ils posent des problèmes écologiques bien connus et comportent un facteur de risque relativement important. Selon ces critères, le gaz

naturel est le plus performant de tous. L'hydro-électricité affiche d'excellents résultats mais un large éventail de coûts car les nouvelles centrales hydrauliques sont coûteuses. Les « nouvelles » énergies renouvelables (soleil et vent) sont supérieures aux énergies fossiles d'un point de vue écologique. Elles offrent aussi le meilleur potentiel d'amélioration technique. Toutefois, elles nécessitent de grandes quantités de ressources non énergétiques (matériels) et, à court ou moyen terme, les possibilités de les utiliser pour produire d'importantes quantités d'électricité à des prix compétitifs sont très limitées.

Les défis pour le nucléaire

L'énergie nucléaire se caractérise non seulement par de faibles émissions, mais aussi, dans le monde occidental, par un excellent bilan en matière de sûreté. En témoigne le niveau assez faible des risques collectifs estimés tant en fonctionnement normal qu'en cas d'accident grave. Aucun événement catastrophique provoquant un rejet de substances radioactives ne s'est produit dans une centrale nucléaire de conception occidentale ; les études démontrent la très faible probabilité d'accidents susceptibles d'avoir des conséquences graves.

Tableau 2. Exemples d'indicateurs pour les systèmes énergétiques actuels

Valable pour toutes les options : la ligne supérieure présente une série de valeurs pour les systèmes actuels ; la ligne inférieure indique les valeurs correspondantes pour les systèmes optimaux de l'avenir dans le contexte suisse (horizon temporel de 20 ans environ).
Toutes les données sont fondées sur des analyses du cycle de vie ¹.

	Réserves énergétiques	Consommation de matières (minerai de cuivre)	Gas à effet de serre	Dioxyde de soufre	Déchets inorganiques mis en dépôt	Déchets de haute et moyenne activité	Coûts de production	Coûts externes (environnementaux)
	Années	kg/GWh _e	t(éq.CO ₂)/GWh _e	kg(SO _x)/GWh _e	kg/GWh _e	m ³ /GWh _e	Rp*/kWh _e	Rp*/kWh _e
Houille	160-2 300	14-19 59	950-1 200 770	920-25 000 520	5 800-54 000 4 000	0,13-0,20 0,04	5,7-7,4 6,3	3,1-15,8 5,1-8,6
Gaz naturel	70-170	16 8	530 390	260 150	1 500 1 100	0,04 0,004	4,7-5,8 4,7-8,2	0,8-5,5 2,5-4,2
Nucléaire	120-400	7-9 4	8-29 6	56-150 33	650-1 200 600	9,0-11,0 2,4	5,1-7,5 5,7-7,2	0,2-1,3 0,3-0,4
Hydraulique stockage	∞	< 1 < 1	4 4	8-10 7	30 30	0,006 0,002	4-21 12-16	0-1,2 0,1
Photovoltaïque	∞	270-1 600 350	110-260 44	700-3 600 160	4 900-10 000 1 600	0,6-1,2 0,06	70-140 45	0,1-1,5 0,5-0,7

* Rp : centimes suisses.

1. PSI/ETH Zurich : *Energie-Spiegel* n° 3, septembre 2000.

Pour ce qui est des centrales à combustibles fossiles et hydrauliques, les statistiques font apparaître de nombreux accidents graves, dont quelques uns ont causé plus de 1 000 décès immédiats (dus à des feux d'hydrocarbure et à des ruptures de barrage dans des pays non membres de l'OCDE). L'évaluation des données statistiques relatives aux pays de l'OCDE donne un risque moyen de l'ordre de 7×10^{-2} (gaz) à 4×10^{-1} (fioul) décès par GW•a. S'agissant de l'énergie nucléaire, le principal risque vient des effets latents consécutifs à un rejet important de substances radioactives au cours d'un accident entraînant la fusion du cœur et la rupture précoce de l'enceinte de confinement. D'après les évaluations probabilistes de la sûreté (EPS de niveau 3), il faut prendre en compte plusieurs dizaines de milliers de décès différés, même si la fréquence de telles catastrophes est extrêmement faible ($<< 10^{-7}$ par année-réacteur). La multiplication de ces deux paramètres donne un risque calculé de l'ordre de 10^{-1} à 10^{-3} décès différés par GW•a pour les centrales occidentales de conceptions différentes et situées sur des sites variés. Pour que l'énergie nucléaire puisse jouer un rôle majeur dans de futurs systèmes énergétiques plus durables, ces chiffres devront (et pourront) être encore abaissés par des solutions techniques.

La perspective d'événements ayant des conséquences graves est ressentie comme une véritable épée de Damoclès : même si leur fréquence est pour ainsi dire négligeable, une grande partie du public réagit négativement et refuse de courir ce risque². Par conséquent, la protection contre les accidents graves constitue l'un des principaux défis que les centrales nucléaires doivent relever sans que le coût n'en devienne prohibitif. Des mesures intégrées au stade de la conception devraient permettre la possibilité d'éviter les événements catastrophiques et d'éliminer la nécessité d'élaborer des plans d'intervention hors site. Outre le renforcement de l'enceinte de confinement (du *European pressurised water reactor* – EPR, par exemple), il convient d'étudier d'autres solutions pour développer le recours à des dispositifs de sécurité intégrés et/ou à des systèmes passifs, à la fois pour le contrôle de la réactivité et l'évacuation de la chaleur résiduelle (petits réacteurs modulaires à haute température refroidis au gaz, ou réacteurs avancés refroidis par eau dotés de systèmes de sûreté passive, par exemple). En plus de leur potentiel considérable d'innovation, ils offrent des possibilités de simplification des centrales et d'amélioration de la disponibilité et peuvent donc

jouer un rôle décisif dans la stratégie de réduction des coûts.

Par ailleurs, l'utilisation durable de l'énergie nucléaire passe par la fermeture du cycle du combustible et la définition de stratégies de réduction des volumes de déchets. Des technologies innovantes doivent continuer à être mises au point afin de ramener à des périodes gérables à l'échelle historique la durée de confinement sans compromettre la sûreté, et d'atténuer les risques d'intrusion humaine. Parmi les solutions prometteuses figurent la séparation et la transmutation des actinides et des produits de fission à vie longue, notamment dans des systèmes dédiés innovants. Pour ce faire, l'option du retraitement doit rester ouverte. Les installations concernées doivent, dans l'idéal, faire partie d'un système intégré, surtout pour éviter ou maîtriser des risques inutiles touchant au transport ou à la prolifération ; leurs normes de sûreté doivent être équivalentes à celles appliquées antérieurement.

De nouvelles formes de débat

Pour faire du développement durable le principe directeur du processus décisionnel, toutes les parties prenantes doivent parvenir à un consensus sur les critères et indicateurs à appliquer et, de surcroît, sur la façon de les agréger ou de les pondérer.

L'énergie nucléaire ne pourra jouer un rôle majeur que si l'on réussit à la faire mieux accepter par la société. Solutions techniques et innovations ne permettront d'y parvenir que partiellement ; il importera tout autant de convaincre le corps social des avantages de l'énergie nucléaire et de regagner sa confiance². Cela signifie qu'il faut trouver de nouvelles formes de débat axé sur la participation de tous les acteurs et alimenté par une information technique fiable et transparente. ■

Références

- 1 . Livre vert de la Commission des Communautés européennes « Vers une stratégie européenne de sécurité d'approvisionnement énergétique », COM(2000)769.
- 2 . The TRUSTNET Framework, EUR 19139, 2000.
- 3 . PSI/ETH Zurich : *Energie-Spiegel* n° 3, septembre 2000.

Développement durable et responsabilité nucléaire

Le régime de responsabilité civile applicable à l'énergie nucléaire est unique à bien des égards et répond à un certain nombre de problèmes qui relèvent du développement durable. Bien que les normes élevées de sûreté de l'industrie nucléaire impliquent que le risque d'accident est faible, l'ampleur des dommages qui pourraient être causés à des tiers par un tel accident est considérable. Il a ainsi été reconnu dès le tout début de l'industrie électronucléaire qu'il était nécessaire d'instaurer un régime juridique spécial pour l'indemnisation des victimes d'un accident nucléaire.

Les règles ordinaires du droit de la responsabilité délictuelle et des contrats ne sont simplement pas adaptées pour traiter ce type de situation de façon efficace et rationnelle. Si le droit commun devait s'appliquer, les victimes auraient probablement de grandes difficultés à déterminer laquelle parmi les nombreuses entités impliquées dans l'accident nucléaire est réellement responsable des dommages causés. De même, sans une limite au montant de responsabilité encouru par l'entité responsable, cette entité n'aurait pas été à même d'obtenir une garantie financière (telle qu'une assurance) pour couvrir ce risque, laissant de ce fait les victimes avec des demandes en réparation qui ne pourraient pas être satisfaites. En outre, les principes de comptabilité empêcheraient les exploitants d'installations nucléaires et les fournisseurs de biens et services de faire figurer dans leurs comptes de tels passifs, qui peuvent être considérables, quel que soit le caractère improbable d'un accident grave.

Des régimes spéciaux de responsabilité nucléaire ont donc été établis pour surmonter ces inconvénients et offrent désormais les avantages suivants : ils assurent une protection adéquate du public contre des dommages éventuels ; ils ont permis que l'expansion de l'industrie nucléaire, dont profite ce même public, soit à l'abri de charges financières excessives ; ils ont mobilisé les ressources du marché international de l'assurance de manière à permettre de disposer d'une garantie financière suffisante pour satisfaire des demandes en réparation potentiellement importantes ; et ils ont fait en sorte que les mécanismes de responsabilité et d'indemnisation prennent en compte la nature transfrontière des dommages nucléaires. Pour permettre d'accéder à ces avantages, ces régimes devaient être fondés sur les principes suivants : responsabilité objective et exclusive d'un exploitant, limitation quant à la durée et au montant de la responsabilité d'un exploitant nucléaire, et obligation faite à l'exploitant nucléaire de couvrir sa responsabilité par une garantie financière.

Des régimes nationaux s'inspirant de ces principes sont mis en œuvre par l'intermédiaire de la législation dans la plupart des pays Membres de l'OCDE, et progressivement dans des pays non-membres. Les régimes internationaux en vigueur, qui s'inspirent de ces mêmes principes, sont établis par les Conventions suivantes : la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire de 1960 établie sous les auspices de l'OCDE et dont les Parties contractantes sont 14 pays d'Europe occidentale Membres de l'OCDE, et la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires de 1963 établie sous les auspices de l'Agence internationale de l'énergie atomique, qui revêt un caractère mondial et qui compte parmi

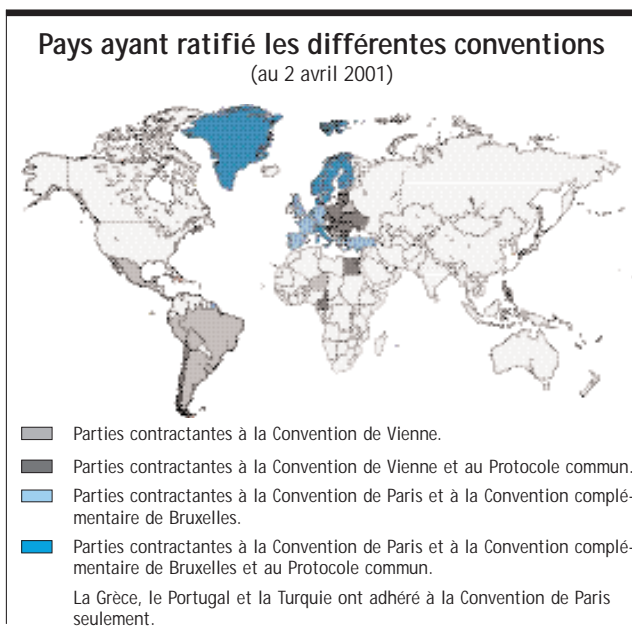
* Mme Julia Schwartz est administrateur à la Section des affaires juridiques de l'AEN (mél : julia.schwartz@oecd.org).

ses Parties contractantes quatre pays Membres de l'OCDE¹. Ces deux Conventions sont elles-mêmes liées par le Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris de 1988.

Depuis l'accident de Tchernobyl, la communauté nucléaire internationale a reconnu la nécessité d'une révision complète des régimes internationaux afin d'en améliorer les dispositions relatives à la protection des victimes et de favoriser l'instauration d'un régime mondial qui recueille l'adhésion de tous les pays. Ces efforts ont abouti à l'adoption, en 1997, de deux nouveaux instruments : le Protocole d'amendement de la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires et la Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires. Chacun de ces instruments est conçu pour accorder une meilleure protection aux victimes d'accident nucléaire dans tous les pays touchés sur une base plus équitable. En outre, les négociations qui se poursuivent en vue de réviser la Convention de Paris et la Convention complémentaire de Bruxelles, avec là encore pour objectif d'offrir une meilleure protection aux victimes d'un accident nucléaire, devraient s'achever en 2001.

La limite de responsabilité imposée aux exploitants nucléaires en vertu de la législation nationale varie considérablement d'un pays Membre de l'OCDE à un autre. Ces variations résultent des limites différentes imposées aux termes des divers instruments internationaux en matière de responsabilité nucléaire, de la mesure dans laquelle ces pays utilisent l'électronucléaire pour la production d'énergie, ainsi que d'autres facteurs politiques et économiques.

Quelques pays ont adopté une législation nationale instaurant la responsabilité illimitée de leurs exploitants nucléaires en cas de dommage nucléaire. Bien entendu, le montant de la garantie financière correspondante est nécessairement limité, car aucune source publique ou privée n'est capable ni désireuse de garantir un montant de responsabilité entièrement illimité. Les adversaires de la limitation de la responsabilité de l'exploitant soutiennent que ce dernier bénéficie en quelque sorte d'une subvention du fait qu'il n'a pas à supporter la totalité du coût d'un accident et sera moins incité à veiller à la sûreté, ce qui accroît la probabilité d'accident. Cependant, sur cette question spécifique de la sûreté, la plupart des pays Membres de l'OCDE ont considéré que tant l'exploitant que le personnel d'exploitation ont un fort intérêt personnel à assurer la sûreté de l'installation



et que les exploitants sont strictement contrôlés par des organismes compétents indépendants.

Conclusion

Il importe de ne pas oublier que l'industrie nucléaire est l'un des secteurs d'activité les plus réglementés dans la société moderne. Dans la plupart des pays de l'OCDE dotés de programmes électronucléaires développés, et même dans ceux qui ne possèdent que de petits réacteurs de recherche, il existe des prescriptions législatives strictes qui ont été mises en place en vue de garantir la santé, la sûreté et la sécurité du public, y compris des travailleurs de l'industrie, de même que la protection de l'environnement. Alors que cela n'implique pas automatiquement que les objectifs du développement durable sont explicitement intégrés dans les régimes réglementaires nucléaires de tous ces pays, on peut estimer que ces objectifs ont été pris en compte pour une large part. Dans la mesure où l'organisme de réglementation nucléaire d'un pays applique une telle interprétation, ce pays est en bonne voie de réaliser ses objectifs de développement durable eu égard à la production et à l'utilisation de l'énergie nucléaire. Si un tel pays adhère à un régime national ou international de responsabilité civile conçu pour assurer une indemnisation équitable, appropriée et réalisable des victimes d'un accident nucléaire, il aura franchi une étape supplémentaire dans cette voie. ■

Note

1. La Hongrie, le Mexique, la Pologne et la République tchèque ont tous adhéré à la Convention de Vienne avant de devenir des pays Membres de l'OCDE.

Nouvelles publications

Développement nucléaire



Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation

Anglais seulement

Sixth Information Exchange Meeting, Madrid, Spain, 11-13 December 2000

ISBN 92-64-18466-X – 132 pages – Gratuit : versions papier ou web.

The objective of the OECD/NEA Information Exchange Programme on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation (P&T), established in 1989, is to enhance the value of basic research in this area by facilitating the exchange of information and discussions of programmes, experimental procedures and results. The Information Exchange Meetings form an integral part of the Programme and are intended to provide a biennial review of the state of the art in P&T. This book and its enclosed CD-ROM contain the proceedings of the 6th Information Exchange Meeting held in Madrid (Spain) on 11-13 December 2000. Recent developments and achievements and the new challenges in P&T are reported in four overview papers. Details are provided in the 79 papers that were presented during the meeting. The conclusions highlight some of the main aspects to take into consideration when planning future research and development on P&T.

Réglementation nucléaire



Améliorer l'efficacité des autorités de sûreté nucléaire

ISBN 92-64-28465-6 – 50 pages – Gratuit : versions papier ou web.

Faire en sorte que les installations nucléaires soient exploitées et entretenues de façon à réduire au minimum réalisable leur impact sur la santé humaine et la sûreté, tel a toujours été l'objectif premier de la réglementation nucléaire. Dans le passé, les incidents nucléaires ont été à la base des améliorations de la réglementation. Aujourd'hui, les facteurs économiques, la déréglementation des marchés, les progrès technologiques, le contrôle de l'État et, en général, les impératifs d'ouverture et de responsabilité, ont conduit les autorités de sûreté à réfléchir à leur efficacité. De plus, les efforts pour relever le niveau actuel de sûreté sont perçus comme l'un des moyens de renforcer la confiance du public dans les systèmes de réglementation. Ce rapport passe en revue les concepts de base de l'efficacité de l'autorité de sûreté, les progrès réalisés et les besoins futurs. Il s'adresse essentiellement aux autorités de sûreté nucléaire, mais pourrait également intéresser des représentants des instances gouvernementales, des exploitants de centrales nucléaires et le grand public.



Investing in Trust: Nuclear Regulators and the Public

Anglais seulement

Workshop Proceedings, Paris, France, 29 November-1 December 2000

ISBN 92-64-19314-6 – 324 pages – Prix : € 60, US\$ 54, £ 37, ¥ 6 050.

Good governance and efficiency in decision making by government authorities are increasingly dependent upon mutual trust and confidence between those authorities and the public. This workshop provided an opportunity to exchange information and views on how national nuclear regulatory organisations can improve their interface with the public.



La réglementation de l'énergie nucléaire face à la concurrence sur les marchés de l'électricité

Bilingue – ISBN 92-64-08460-6 – 34 pages – Gratuit : versions papier ou web.

On assiste depuis quelques années au développement de la concurrence dans les marchés de l'électricité à l'échelle mondiale. Au fur et à mesure que cette concurrence se développe, elle entraîne une grande variété de défis de sûreté pour les exploitants de centrales nucléaires et les autorités réglementaires. Les autorités de sûreté doivent être conscientes des défis de sûreté potentiels et examiner le besoin éventuel de nouvelles stratégies de réponse réglementaire. Ce rapport décrit plusieurs de ces défis, leurs implications et les stratégies de réponse réglementaire éventuelle. Le public visé est avant tout les autorités de sûreté nucléaire, mais les autorités gouvernementales, les exploitants de centrales nucléaires et le grand public pourront également être intéressés.



Maintenir à l'avenir les compétences de sûreté nucléaire

Mesures spécifiques

ISBN 92-64-28462-1 – 58 pages – Gratuit : versions papier ou web.

Dans plusieurs pays, les experts de sûreté nucléaire qui partent à la retraite ne sont pas remplacés par des équivalents plus jeunes. Ceci risque de provoquer une pénurie d'experts nécessaires pour assurer la régulation effective de l'industrie nucléaire. Ceci pourrait également mener à la perte d'une fraction importante des connaissances actuelles en matière de sûreté nucléaire. Le rapport examine des moyens spécifiques pour maintenir à l'avenir les compétences de sûreté nucléaire des autorités de sûreté et de l'industrie.

Sûreté nucléaire



Nuclear Safety Research in OECD Countries

Anglais seulement

Major Facilities and Programmes at Risk

ISBN 92-64-18463-5 – 64 pages – Gratuit : versions papier ou web.

Major nuclear safety research facilities and programmes are facing increasing budgetary constraints, and in many cases are being closed or terminated. This report identifies major facilities of vital interest to the international nuclear safety community and makes recommendations for their continued operation in an international framework, either as joint projects or centres of excellence.



Deuxième exercice international d'urgence INEX 2

Rapport final sur l'exercice régional hongrois

Bilingue – ISBN 92-64-08640-4 – 82 pages – Prix : € 28, US\$ 24, £ 17, ¥ 2 670.

L'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) a débuté son programme d'exercices internationaux de préparation d'urgence (INEX) par une simulation théorique : INEX 1, qui a permis à 16 pays participants d'évaluer l'efficacité des mécanismes mis en place pour traiter des aspects internationaux d'une urgence nucléaire à grande échelle. À partir des enseignements recueillis, une série d'exercices plus réalistes – INEX 2 – a été organisée par l'AEN. Ces exercices, qui ont pris comme point de départ une situation d'urgence de dimension nationale dans une centrale nucléaire existante, visaient trois objectifs internationaux : l'échange d'informations en temps réel, l'information du public et la prise de décision d'après des informations limitées et une connaissance incertaine des conditions de la centrale. Ce rapport résume les résultats obtenus et les enseignements tirés du troisième exercice régional d'INEX 2 qui a eu lieu en Hongrie.



Enseignements des exercices internationaux d'urgence nucléaire

Exercices de la série INEX 2

ISBN 92-64-28464-8 – 42 pages – Gratuit : versions papier ou web.

De l'état de préparation d'un pays dépend l'issue d'une urgence nucléaire. Pour mieux préparer ses pays Membres à la gestion de crise, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a organisé une série d'exercices internationaux de crise nucléaire du nom d'INEX 2. On trouvera dans ce rapport une synthèse des enseignements des quatre exercices INEX 2, organisés en Suisse (1996), en Finlande (1997), en Hongrie (1998) et au Canada (1999) qui concernent principalement : les décisions fondées sur des informations limitées et sur une connaissance incertaine de l'état de la centrale ; les échanges d'informations en temps réel ; les communications avec le public et les médias ; la préparation et la conduite des exercices de crise à l'échelle internationale. Ce rapport s'adresse aux décideurs et aux responsables techniques de la gestion de crise.



Nuclear Waste Bulletin

Anglais seulement

Update on Waste Management Policies and Programmes – No. 14 – 2000 Edition

ISBN 92-64-18461-9 – 136 pages – Gratuit : versions papier ou web.

The NEA *Nuclear Waste Bulletin* is prepared by the Radiation Protection and Radioactive Waste Management Division of the OECD Nuclear Energy Agency in order to provide a means of communication amongst the various technical and policy groups within the radioactive waste management community. It delivers concise information on current activities, policies and programmes in 18 NEA Member countries and 3 international organisations. It also provides biennial updates of progress in the development of technologies for the management and disposal of radioactive waste.



Confidence in Models of Radionuclide Transport for Site-specific Assessments

Anglais seulement

Workshop Proceedings, Carlsbad, New Mexico, USA, 14-17 June 1999

ISBN 92-64-18620-4 – 312 pages – Prix : € 96, US\$ 84, £ 58, ¥ 9 100.

GEOTRAP is the OECD/NEA Project on Radionuclide Migration in Geologic, Heterogeneous Media carried out in the context of site evaluation and safety assessment of deep repository systems for long-lived radioactive waste. Performance assessment of proposed waste disposal sites requires models of radionuclide transport through the geosphere. To be used in repository planning and development, these models must have the confidence of both national waste management programmes and the wider scientific community. The fourth GEOTRAP workshop, "Confidence in Models of Radionuclide Transport for Site-specific Performance Assessments" held in June 1999, addressed the issue of technical confidence building and provided an overview of current developments in this field. Proposed approaches to confidence building and approaches that have already proven successful were presented and discussed. In addition to the material presented during the workshop, this publication includes a technical synthesis reflecting the discussions that took place as well as the conclusions and recommendations made, notably during the working group sessions.



Gas Generation and Migration of Radioactive Waste Disposal

Anglais seulement

Safety-relevant Issues, Workshop Proceedings, Reims, France, 26-28 June 2000

ISBN 92-64-18672-7 – 190 pages – Prix : € 45, US\$ 39, £ 27, ¥ 4 300.

In underground repositories for radioactive waste, significant quantities of gases may be generated as a result of several processes. The potential impact of gas generation, accumulation and migration on the performances of the various barriers and, ultimately, on the long-term safety of a repository, should therefore be assessed in the development of safety cases for underground repositories. It was in this context that the EC and the NEA organised a workshop on "Gas Generation, Accumulation and Migration in Underground Repository Systems for Radioactive Waste: Safety-relevant Issues" in Reims, France on 26-28 June 2000. This book includes the texts of the invited presentations, the reports of the deliberations held in the five working groups, as well as the main conclusions of the workshop.



Using Thermodynamic Sorption Models for Guiding Radioelement Distribution Coefficient (K_d) Investigations

Anglais seulement

A Status Report

ISBN 92-64-18679-4 – 190 pages – Prix : € 50, US\$ 45, £ 31, ¥ 5 050.

A general consensus has been reached among technical experts that high-level radioactive waste can safely be disposed of in deep geological repositories. Safety studies are carried out to evaluate the overall capacity of a particular disposal site to confine waste and minimise radioactive releases. Since the principal way in which radioactive elements might eventually reach the biosphere is by transport of dissolved radionuclides in groundwater, the safety study calculations must be able to estimate their rate of transfer through each of the barriers surrounding the repository. It is well known that, for many radioelements, sorption reactions can lead to a reduction of the amount of radionuclides present in the solution phase. How best to take radionuclide sorption reactions into account in repository performance assessment models is the subject of this book.



Pressurised Water Reactor Main Steam Line Break (MSLB) Benchmark

Anglais seulement

Volume II: Results of Phase I on Point Kinetics

ISBN 92-64-18280-2 – 136 pages – Gratuit : versions papier ou web.

The benchmark is based on a well-defined problem concerning a PWR main steam line break, which may occur as a consequence of the rupture of one steam line upstream of the main steam isolation valves. This event is characterised by significant space-time effects in the core caused by asymmetric cooling and an assumed stuck-out control rod during reactor trip. It is based on reference design and data from the Three Mile Island Unit 1 Nuclear Power Plant (TMI-1). It includes a description of the event sequence with set points of all activated system functions and typical plant conditions during the transient. This report summarises the results contributed by international participants concerning Phase I of the exercise: point kinetics simulation to test the primary and secondary system model responses.



Pyrochemical Separations

Anglais seulement

Workshop Proceedings, Avignon, France, 14-16 March 2000

ISBN 92-64-18443-0 – 332 pages – Prix : € 77, US\$ 66, £ 46, ¥ 7 230.

The industrial treatment of spent nuclear fuel is presently performed using different wet chemical processes. Alternative dry processes, using pyrochemical methods, have received some attention due to their potential advantages in terms of plant design and criticality safety, as well as radiation dose. Recent progress in the transmutation of long-lived fission products and minor actinides has brought renewed interest in pyrochemical methods, as effective transmutation will be based on multi-recycling of the fuel with very high burn-up and short cooling times, conditions under which pyrochemical methods offer various advantages over wet processes. Studies of pyrochemical processes have so far been carried out at laboratory level. Considerable R&D work is still required in order to upgrade these processes to the current level of industrial aqueous processing.



Evaluation of Speciation Technology

Anglais seulement

Workshop Proceedings, Tokai-mura, Ibaraki, Japan, 26-28 October 1999

ISBN 92-64-18667-0 – 436 pages – Prix : € 80, US\$ 70, £ 49, ¥ 7 600.

It has been widely recognised among researchers that speciation data are essential for proper and reliable modelling of radionuclide behaviour, which is studied *inter alia* in the context of radioactive waste management. Participants at the OECD/NEA workshop on "Evaluation of Speciation Technology" reviewed the various techniques used to identify different species of actinide and fission product elements present in nuclear waste and nuclear reprocessing streams. The review takes into account the advantages, disadvantages and limitations of the various methods in relation to their field of application. Recommendations for future R&D are also provided. These proceedings will primarily be of interest to chemists specialised in separation techniques and radioactive waste management experts.



CD-CINDA 2000

Anglais seulement

Index to Literature and Computer Files on Microscopic Neutron Data

CD-ROM – Gratuit sur demande.

Published on behalf of the USA National Nuclear Data Center, the Russian Nuclear Data Center, the NEA Data Bank and the IAEA Nuclear Data Section.



Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities – SATIF 5

Anglais seulement

Workshop Proceedings, Paris, France, 18-21 July 2000

ISBN 92-64-18691-3 – 426 pages – Prix : € 84, US\$ 75, £ 52, ¥ 8 450.

Over the last 50 years particle accelerators have evolved from simple devices to powerful machines, and will continue to have an important impact on research, technology and lifestyle. Today, they cover a wide range of applications, from television and computer displays in households to investigating the origin and structure of matter. It has become common practice to use particle accelerators for material science and medical applications. In recent years, requirements from new technological and research applications have emerged, giving rise to new radiation shielding aspects and problems. These workshop proceedings review recent progress in radiation shielding of accelerator facilities, evaluating advancements and discussing further developments needed with respect to international co-operation in this field.



Nuclear Production of Hydrogen

Anglais seulement

First Information Exchange Meeting, Paris, France, 2-3 October 2000

ISBN 92-64-18696-4 – 244 pages – Prix : € 55, US\$ 49, £ 34, ¥ 5 550.

Hydrogen has the potential to play an important role as a sustainable and environmentally acceptable energy source in the 21st century. However, hydrogen does not exist as a gas on earth and thus has to be produced from, for example, water or natural gas by different separation techniques. One way to do so would be to use nuclear-produced energy or heat in this separation process. The present publication gives an overview of the advancements in the scientific and technological fields related to the nuclear production of hydrogen.

Où acheter les publications de l'AEN

Centre OCDE de Paris

2, rue André-Pascal, F-75775 Paris Cedex 16, France
Tél. : +33 [0(1)] 45 24 81 67 – Fax : +33 [0(1)] 45 24 19 50
Mél : sales@oecd.org

Commandes en ligne : www.oecd.org/bookshop

Paiement sécurisé par carte bancaire.

Où commander nos publications gratuites

Publications AEN

12, boulevard des Îles, F-92130 Issy-les-Moulineaux, France
Tél. : +33 [0(1)] 45 24 10 15 – Fax : +33 [0(1)] 45 24 11 10
Mél : neapub@nea.fr – Internet : www.nea.fr

Par téléchargement : www.nea.fr

Offre d'emplois

Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire



L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire cherche régulièrement des candidats pour des postes dans les domaines suivants :

Économie de l'énergie
Sûreté nucléaire
Gestion des déchets radioactifs
Radioprotection
Sciences nucléaires
Droit nucléaire
Ingénierie nucléaire
Informatique



Qualifications :

Diplôme universitaire pertinent ; expérience professionnelle de deux ou trois ans minimum ; excellente connaissance d'une des deux langues officielles de l'Organisation (anglais et français) et aptitude à bien rédiger dans cette langue ; bonne connaissance de l'autre langue.

Les postes sont ouverts aux candidats ressortissants des pays Membres de l'OCDE. Dans le cadre de sa politique d'égalité des chances, l'OCDE encourage les femmes à faire acte de candidature.

Engagement initial :

Deux ou trois ans.

Traitement annuel de base :

De FF 332 000 (administrateur) et de FF 476 000 (administrateur principal), à quoi s'ajoutent des allocations selon la situation de famille et le lieu de recrutement.

Adresser les candidatures en anglais ou en français
(indiquer le domaine de spécialisation et joindre un *curriculum vitae*)
avec la mention « NEA/NL » et l'envoyer à :

Division de la gestion des ressources humaines
OCDE
2, rue André-Pascal
F-75775 Paris cedex 16, France

Radwaste Solutions

THE MAGAZINE OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT AND FACILITY REMEDIATION

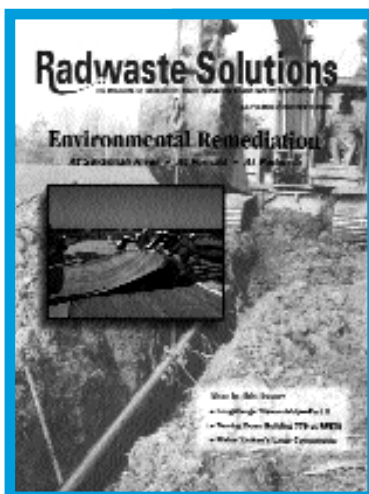
– Don't miss an issue!

Don't miss an issue of *Radwaste Solutions*, formerly *Radwaste Magazine*, which focuses on practical solutions to everyday problems and issues in radioactive waste management.

Published by the American Nuclear Society, the magazine covers all sectors – government, utility, private – that deal with radioactive waste. Also, it covers all elements of this work, including processing, packaging, storing, decommissioning, reutilization, transporting, and final disposal.

With each issue of *Radwaste Solutions* you get progress reports on cleanup/remediation/decommissioning projects; news and views from industry leaders and professionals; coverage of industry conferences you can't find elsewhere; and technical information that can help your project.

Look at some of the articles that the magazine's recent issues have presented to our readers:



- Low- and intermediate-level waste management in Spain
- Everything you ever wanted to know about the Hanford waste tanks
- The end of an era: Decommissioning four German fuel cycle facilities
- Bringing new technologies to the D&D toolbox
- Radwaste management at U.S. nuclear power plants: Where we are today (and how we got there)

On top of great content, we make it easy to subscribe. Take your choice: Give us a phone call (708/579-8208); send us a fax (708/579-8314); or zip us an e-mail (accounting@ans.org). We'll get the process moving so that you start receiving your own copy of *Radwaste Solutions*.

Please enter a 2001 subscription to *Radwaste Solutions* for:

Name _____

Company _____

Street Address _____

City _____ State/Province _____

Postal Code _____ Country _____

Tel. _____ Fax _____ E-mail _____

Add \$25 for each overseas subscription
Add \$30 for funds drawn on non-U.S. banks
(All orders must be prepaid in U.S. dollars.)

Payment method:

- Check (payable to ANS)
 Money order
 MasterCard
 Visa
 AMEX
 Diners Club

Acct. no. _____ Exp. date _____

Signature _____

Check one:

- Yes! I want to subscribe to *Radwaste Solutions* at \$35.00 per year. (I am a member of the American Nuclear Society.) ANS Membership ID no. _____
 Enter my library subscription at \$355.

Send to:

Radwaste Solutions
American Nuclear Society
P.O. Box 97781
Chicago, IL 60678-7781
USA

(Make check payable to American Nuclear Society)

Credit card orders:

Facsimile 708/579-8314
ANS members call 708/579-8266
Nonmembers call 708/579-8208

PUBLICATIONS DE L'OCDE, 2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(68 2001 01 2 P) ISBN 92-64-29107-5 – N° 51902 2001
ISSN 1605-959X