

ÉVALUATION COMPARATIVE DES ÉMISSIONS PROVENANT DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

ANDRZEJ STRUPCZEWSKI

Les applications de l'électricité aident les individus à satisfaire divers besoins allant de l'amélioration de la production et de la distribution des aliments aux soins de santé et à l'éducation. Au point où les consommateurs l'utilisent effectivement, l'électricité est généralement considérée comme un processus propre et bénéfique.

Or, lors de la production d'électricité, diverses substances sont libérées dans l'environnement. Certaines d'entre elles sont nocives pour la santé humaine. Au cours de la dernière décennie, on a noté une sensibilisation accrue aux questions liées à l'environnement, y compris à la pollution de l'air par les différents systèmes énergétiques.

Pour étudier ces effets, les analystes recourent à l'évaluation comparative des risques, méthode qui s'est considérablement améliorée.

Au début des années 90, la Commission européenne a lancé et mis en œuvre avec succès un projet spécial appelé ExternE. Ce projet avait pour but de déterminer les coûts externes (principalement les coûts sanitaires) des différentes systèmes énergétiques supportés par la société.

Pendant la première phase du projet, qui a duré jusqu'en 1995, les coûts externes de chaque système énergétique ont été évalués par des spécialistes de pays ayant la plus grande

expérience de certains systèmes (équipes allemandes et britanniques pour le charbon et équipe norvégienne pour l'hydroélectricité, par exemple).

Pendant la deuxième et dernière phase, des analyses distinctes ont été réalisées par chaque pays pour tous les systèmes énergétiques intéressant le projet. Les résultats de ces études aujourd'hui disponibles auprès de la Commission européenne sous forme de rapports nationaux fournissent les meilleures données d'évaluation comparative des risques liés aux systèmes énergétiques.

POLLUTION DE L'AIR ET ÉMISSION DE RAYONNEMENTS

Les concentrations de polluants classiques de l'air (particules, oxydes de soufre et d'azote) dans les grandes villes et zones industrielles sont maintenant nettement supérieures aux niveaux de fond historiques généralement considérés comme naturels.

Des études ont comparé les concentrations mesurées de dioxyde de soufre – polluant typique provenant de l'utilisation de combustibles fossiles – aux concentrations naturelles des régions très éloignées des centres industriels et aux concentrations définies comme admissibles par l'Organisation mondiale de la santé (voir graphique page 20).

L'Organisation de coopération et de développement

économiques (OCDE) a estimé, dans une étude, que 50% de cette pollution était due à l'utilisation de combustibles fossiles pour la production d'électricité.

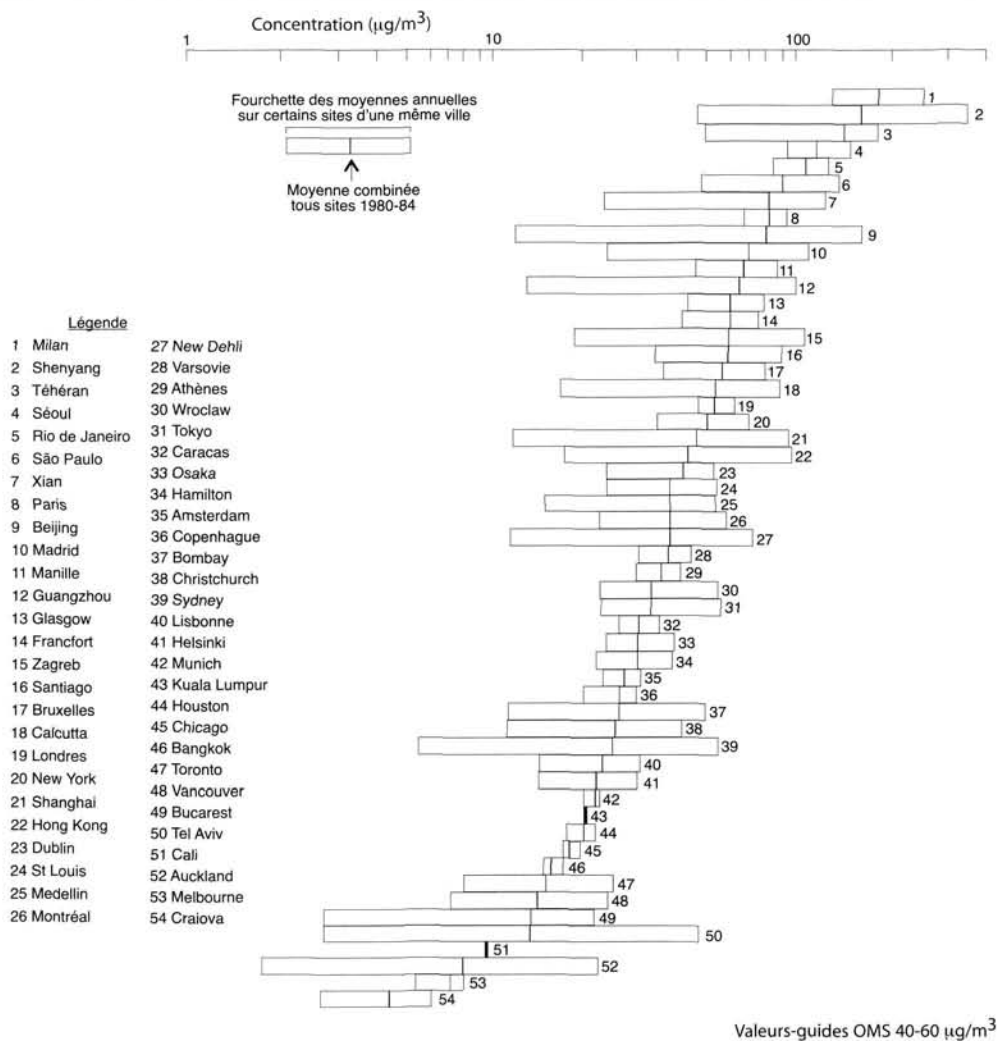
D'autres sources d'énergie ont également été étudiées, y compris la combustion de matières organiques, principalement dans les pays en développement, à des fins domestiques telles que la cuisine ou le chauffage.

D'après l'Agence internationale de l'énergie de l'OCDE, la consommation totale de biomasse s'est élevée, en 1995, à 930 tonnes métriques d'équivalent pétrole (TMEP), au moins un tiers de la population mondiale utilisant la biomasse comme principale source d'énergie. Outre la détérioration de l'environnement due à la combustion sans discernement d'arbres et de broussailles, l'utilisation de biomasse à l'intérieur des locaux produit des niveaux très élevés de pollution de l'air, ce qui se traduit par des infections aiguës des voies respiratoires et par des cancers du poumon. Dans les pays en développement, la mortalité liée à la combustion de biomasse est élevée.

En Chine, par exemple, où des centaines de millions de foyers domestiques produisent des concentrations élevées de polluants de l'air intérieur, on

M. Strupczewski est fonctionnaire à la Division de la sûreté des installations nucléaires de l'AIEA.

NIVEAUX DE DIOXYDE DE SOUFRE DANS CERTAINES VILLES



Source: Organisation mondiale de la santé et programme des Nations Unies pour l'environnement (1987)

estime que l'augmentation correspondante de l'incidence des maladies pulmonaires obstructives chroniques, des cancers du poumon, des maladies cardiovasculaires et des pneumonies infantiles se solde chaque année par plus de 1,4 million de décès prématurés.

En revanche, les doses de rayonnement supplémentaires reçues par la population du fait de l'exploitation normale des centrales nucléaires, ne forment qu'une partie infime des variations du niveau de fond. Les niveaux de rayonnement naturels, dans nombre de grandes régions, varient

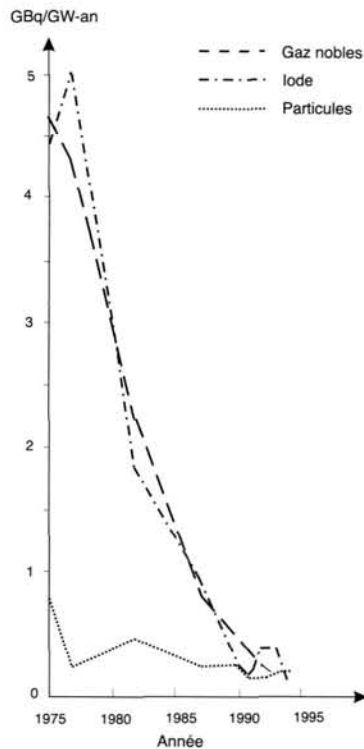
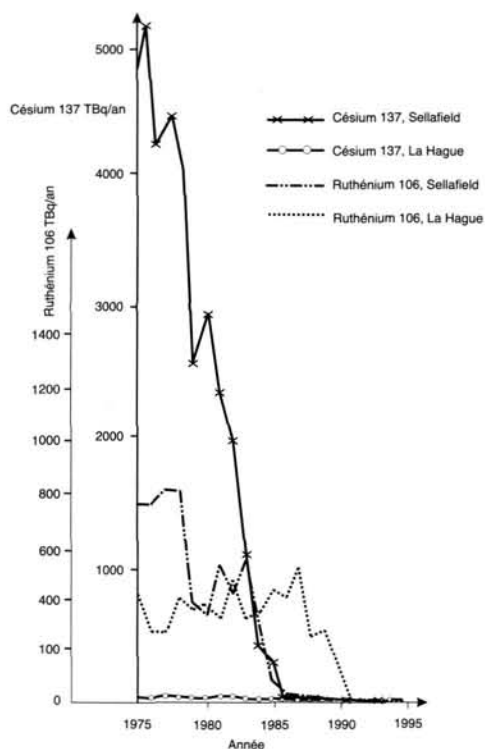
de moins de 2 millisieverts par an (mSv/a) à 5 mSv/a. Les contributions supplémentaires provenant de l'énergie nucléaire sont généralement de 1 à 3 *microsieverts* par an, soit 1/1000 des variations des niveaux de rayonnement naturels.

Des études de grande ampleur portant sur différents groupes de population exposés à de faibles doses de rayonnement ont été réalisées dans plusieurs pays.

Il s'agit notamment d'une grande étude épidémiologique réalisée sur une population chinoise d'environ 80000 habitants de la région à

fort niveau de rayonnement naturel de Yangjiang et sur un groupe témoin équivalent de la région voisine présentant des niveaux de rayonnement naturel nettement inférieurs. L'étude de 1997 a révélé que les taux de mortalité par cancer étaient plus faibles dans la région à niveau élevé de rayonnement que dans la région témoin. La confiance statistique de l'étude a été jugée insuffisante pour quantifier les résultats. Ces derniers montrent, cependant, qu'on a observé aucun effet délétère des faibles niveaux de rayonnement.

RÉDUCTION DES REJETS RADIOACTIFS ANNUELS (RADIONUCLÉIDES SÉLECTIONNÉS) CENTRALES DE RETRAITEMENT CENTRALES NUCLÉAIRES



Source: UNSCEAR, 1993 et 1996.

Une autre étude importante, réalisée aux États-Unis, a porté sur 28000 travailleurs de chantiers navals nucléaires qui avaient reçu dans leur vie des doses supérieures à 5 mSv.

Bien que conçue pour exclure ce qu'on appelle "l'effet travailleur sain", l'étude de 1991 a révélé que les membres du groupe irradié présentaient une mortalité inférieure de 24% à celle du groupe témoin.

D'autres résultats proviennent d'études réalisées par le Centre international de recherche sur le cancer sur 95000 travailleurs du nucléaire aux États-Unis, au Canada et au Royaume-Uni. Les résultats publiés en 1995 ont révélé que le risque relatif supplémentaire tous cancers confondus (leucémie exclue) était de - 0,07. Autrement dit, il n'existait aucun risque supplémentaire. Une étude

portant sur 115000 travailleurs japonais du nucléaire, parue en 1997, a donné des résultats analogues.

Ces résultats ont tous été jugés statistiquement insignifiants. Ces études, cependant, ainsi que de nombreuses autres réalisées au cours de la dernière décennie, n'ont révélé aucune augmentation de l'incidence de la mortalité par cancer du fait de l'exposition à de faibles doses de rayonnement.

La situation est très différente dans le cas de la pollution de l'air, où des conséquences directes ont été observées. La relation entre la concentration de polluants de l'air et une mortalité aiguë a été mise en évidence dans plusieurs cas.

Le cas le mieux documenté est l'épisode de pollution de l'air survenu à Londres en 1952. Cet épisode a entraîné, d'après les estimations, 4000 décès

supplémentaires. D'autres cas survenus en Belgique, aux États-Unis, au Brésil, en Norvège et en Allemagne ont entraîné d'importantes augmentations de la mortalité dues à la pollution de l'air. En Chine, une étude a révélé, en 1994, que les concentrations élevées de SO₂ à Beijing entraînent une augmentation de la mortalité.

Ces études ont évalué les effets de la pollution de l'air sur de brèves périodes. L'absence d'étude épidémiologique à long terme a empêché d'évaluer de façon approfondie la mortalité due aux polluants de l'air.

Vers la fin des années 80, les analyses des effets de la pollution de l'air ne portaient, en règle générale, que sur quelques risques choisis arbitrairement et insuffisamment représentatifs. Au début des années 90, les scientifiques internationaux

estimaient que les résultats disponibles concernant l'exposition chronique à l'air pollué n'étaient pas suffisamment probants pour pouvoir être utilisés dans le cadre d'évaluations comparatives des risques.

Depuis, deux importantes études réalisées aux États-Unis ont acquis une notoriété internationale. L'une, publiée en 1993, a porté sur 6000 habitants originaires de six collectivités ; l'autre, réalisée en 1995, a évalué 552000 adultes résidant dans 151 zones métropolitaines des États-Unis. Les deux études ont montré que les taux de mortalité liés à l'exposition chronique à une pollution durable de l'air sont nettement supérieurs à ceux liés à de brefs épisodes.

En 1997, les résultats de l'étude de 1995 ont été incorporés au projet ExternE de la Commission européenne afin d'évaluer la mortalité et la perte d'espérance de vie liées à la pollution chronique de l'air.

En outre, le projet ExternE a pris en compte, en 1997, l'influence des dioxydes de soufre et des oxydes d'azote. Ces polluants se sont révélés produire des particules secondaires nettement plus dangereuses pour la santé humaine, car leur faible taille facilite leur pénétration dans les poumons, où leurs effets sont particulièrement néfastes.

Les résultats obtenus par la Commission européenne sont conformes aux directives établies par l'AIEA en matière d'évaluation comparative des risques publiées en 1997 (*Directives générales applicables à l'évaluation comparative des effets sur la santé et sur l'environnement des systèmes de production d'électricité*).

Ces directives soulignent en outre la nécessité de réaliser une analyse complète des risques sanitaires liés à toutes les phases de la production d'énergie, et pas seulement à la phase d'exploitation des centrales. Cet

aspect a été pris en compte par le projet ExternE à une importante exception près. Il ne prend pas en compte les systèmes de secours qui seraient nécessaires pour l'énergie éolienne et solaire si ces derniers devaient contribuer de façon importante à l'approvisionnement en énergie. En négligeant ces coûts externes, on améliore considérablement la situation des centrales solaires et éoliennes.

Le projet, néanmoins, a inclus les phases initiales lorsqu'il a évalué le coût des énergies renouvelables, ce qui a marqué un important progrès dans l'évaluation comparative des risques liés aux systèmes énergétiques.

En ce qui concerne l'énergie nucléaire, les analystes ont noté que les émissions de rayonnements au stade de l'exploitation des centrales sont très faibles. Les doses de rayonnement supplémentaires admissibles imputables aux centrales nucléaires sont fixées dans différents pays à des niveaux s'échelonnant entre 0,08 mSv/a aux États-Unis et 0,3 mSv/a en Allemagne. Les doses annuelles réelles sont cependant nettement inférieures, généralement de 0,001 à 0,003 mSv/a, atteignant parfois 0,03 mSv/a.

Les doses attribuées aux autres phases du cycle du combustible nucléaire sont également faibles. Les doses provenant, par exemple, des centrales de retraitement françaises sont inférieures à 0,02 mSv/a. Ces chiffres montrent que l'on a tendance à réduire les rejets de radio-isotopes provenant des centrales nucléaires et du cycle du combustible (voir graphiques page 21).

De même, les émissions de radon provenant des résidus de traitement de l'uranium ont été considérablement réduites – à tel point qu'en 1998, une étude a révélé que leur effet intégré sur la santé était environ 150 fois

inférieur aux niveaux estimés en 1993 par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants.

Les rejets radioactifs provenant des centrales de retraitement sont très faibles, voire non mesurables. Certains isotopes radioactifs libérés ont cependant un temps de décroissance très long, et l'intégration de leurs effets sur de longues périodes (100000 ans) peut se traduire par des doses collectives importantes.

HYPOTHÈSES ET MÉTHODES

Les études d'évaluation comparative des risques doivent utiliser, pour différents systèmes énergétiques, des méthodes comparables. Cela n'a pas été le cas, cependant, et les études se sont appuyées sur différents ensembles d'hypothèses et de méthodes.

Certaines études, par exemple, n'ont pas tenu compte des maladies des mineurs liées aux pneumoconioses (mieux connues sous le nom de "silicoses") ou à l'inhalation de radon, alors que les victimes se comptent par centaines de milliers. Les analystes justifiaient ce choix par le fait qu'ils considéraient que l'amélioration de la sûreté des mines permettrait d'éliminer ces problèmes de santé. Les études tiennent compte, en revanche, de l'exposition au radon des mineurs d'uranium, alors que les doses de rayonnement collectives (par GWe.a) sont plus faibles pour l'uranium que pour le charbon.

On peut également citer d'autres exemples :

■ Différents polluants de l'air sont fréquemment négligés – le dioxyde de soufre ou les oxydes d'azote, par exemple, alors que dans le cas de l'énergie nucléaire, toutes les voies possibles de risque radiologique sont étudiées. Seule la dernière étude ExternE prend en compte tous les polluants importants de l'air.

■ Le calcul des effets sanitaires des polluants de l'air se limite généralement à 80 km ou à un pays, l'étude la plus ample (ExternE) couvrant toute l'Europe. Les effets des rayonnements ionisants, cependant, sont calculés à l'échelle mondiale.

■ La période de temps utilisée dans l'étude des polluants de l'air est limitée à la période actuelle, alors que pour les rayonnements ionisants, elle est de plus en plus longue, atteignant 100000 ans dans la dernière étude ExternE.

On néglige souvent trop facilement le fait que les produits radioactifs décroissent et, finalement, disparaissent tandis que les polluants chimiques demeurent à jamais toxiques. L'une des explications est peut-être qu'il existe de bonnes données concernant la décroissance des substances radioactives et les modes de filtration possibles par la biosphère. On ne dispose, en revanche, que de rares données concernant le comportement à long terme des déchets toxiques provenant des cycles des combustibles non nucléaires.

L'absence de données sur les problèmes de santé d'origine non nucléaire a souvent été utilisée pour justifier l'exclusion de certains coûts sanitaires externes d'autres types de systèmes énergétiques. Un exemple type est celui des coûts initiaux des énergies renouvelables.

Les sources d'énergie renouvelables sont écologiques pendant l'exploitation des centrales, mais leur mise au point nécessite d'énormes dépenses matérielles et énergétiques avant que la centrale soit construite. Des comparaisons récentes montrent que les quantités d'acier et de métaux non ferreux nécessaires par GWe.a sont 30 à 150 fois plus importantes pour les systèmes solaires que pour l'énergie nucléaire, et que même les quantités de béton et de

IMPACTS EXTERNES DES CENTRALES ÉLECTRIQUES À COMBUSTIBLE FOSSILE EN ALLEMAGNE

TYPE DE CENTRALE	CHARBON*	LIGNITE*	PÉTROLE*	GAZ*
Teneur en soufre	0,9%	0,3%	0,2%	0%
ÉMISSIONS (milligrammes par kilowatt-heure)				
Centrale électrique, SO ₂	288	411	1088	0
Cycle total, SO ₂	326	425	1611	3
Centrale électrique, NO _x	516	739	814	208
Cycle total, NO _x	560	790	985	277
Total particules en suspension (TPS)	57	82	18	0
Cycle total, TPS	182	511	67	18
COÛTS EXTERNES DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ (milli-écus par kilowatt-heure)				
Dommages sanitaires liés à la centrale/cycle total				
	11,9/13,4	15,2/16,0	25,7/33,3	2,8/4,3
Accidents non quantifiés				
Réchauffement planétaire	3,0-110,5	3,9-143,1	3,3-120,4	1,3-48,5
Autres impacts	0,16	0,23	0,64	0,04
Réchauffement planétaire cycle total	3,4-125	4,0-149	3,5-132	1,5-56
Autres impacts	0,16	0,23	0,64	0,04
TOTAL COÛTS EXTERNES (par TWh)	17-138	20,2-165	37,5-166	5,8-60
TOTAL ESPÉRANCE DE VIE PERDUE (années de vie perdues par TWh)				
	141,5	165	359	46

**Charbon = charbon pulvérisé, désulfuration des gaz de combustion (DGC), dénitrification, systèmes de dépolluissage; lignite = lignite pulvérisée, DGC, dénitrification, dépolluissage; pétrole = centrale électrique aux heures de pointe; gaz = turbine à gaz, cycle combiné*

Source: Project ExternE, Commission européenne, 1997.

DOSES COLLECTIVES PROVENANT DES DIFFÉRENTS STADES DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

Doses collectives cycle combustible nucléaire fermé (homme-Sv/TWh)

STADE	FRANCE	ALLEMAGNE	ROYAUME-UNI
EXTRACTION & TRAITEMENT			
public	0,177	0,1	0,1
travailleurs	0,112	0,0058	0,7
PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ			
public	1,88	0,63	0,407
travailleurs	0,352	0,39	0,028
ACCIDENT GRAVE (dose par année-réacteur)			
public	0,019 à 2,9*	0,019	
RETRAITEMENT			
public	10,3	3,3	0,448
ÉLIMINATION DES DÉCHETS			
public	0,166	0,14	
Dose collective totale	13,0	4,6	1,7
Espérance de vie perdue (années de vie perdues par TWh)	9,8	3,0	1,3

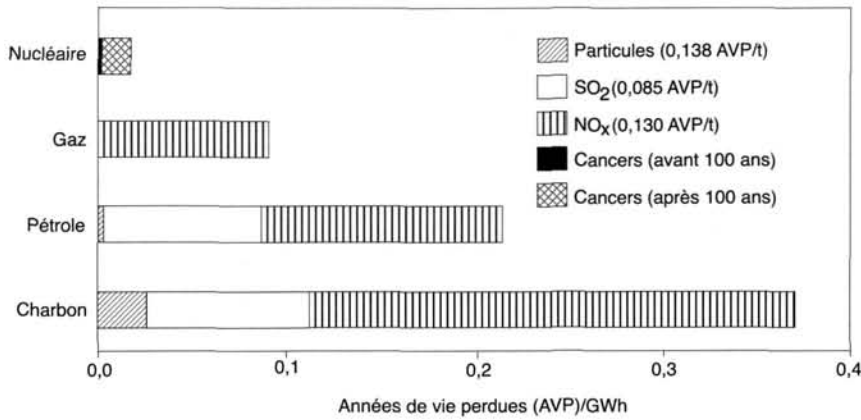
**Valeur supérieure estimative pour les centrales nucléaires (non comprises dans les estimations des pays de l'UE).*

Source: Étude ExternE, Commission européenne, 1997 et SENES (Royaume-Uni) 1998. Données en italiques corrigées à partir de l'étude de la CE sur la base des résultats de l'étude SENES pour l'extraction et le traitement de l'uranium.

ciment sont six fois plus importantes pour le solaire que pour le nucléaire.

De surcroît, la quantité d'électricité nécessaire pour produire ces matériaux et

COMPARAISON DES RISQUES POUR LA SANTÉ ENTRE SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES



Note: comparaisons basés sur les coûts-dommages par tonne de polluant évalués par le projet ExternE de la Commission européenne ; graphique fourni par A. Rabi (France)

construire la centrale solaire est très importante et peut atteindre 30% de l'électricité totale produite sur la durée de vie de la centrale. La production de cette électricité entraîne également des nuisances pour la santé et pour l'environnement, de sorte qu'au total, les centrales solaires polluent l'environnement avant même de commencer à produire de l'électricité. Cet aspect a souvent été mis de côté. La dernière étude ExternE, nous l'avons dit, a la plupart du temps corrigé nombre de ces erreurs.

Dans le but d'améliorer l'évaluation comparative des risques, diverses équipes de spécialistes participant aux réunions de comités techniques de l'AIEA ont formulé plusieurs propositions. L'une d'entre elles consiste à introduire un certain niveau de risque en dessous duquel les risques individuels pourraient être jugés trop faibles pour être intégrés dans la comparaison des risques. Un tel seuil d'effet sanitaire appliqué à tous les systèmes énergétiques offrirait une meilleure cohérence et une meilleure comparabilité que les évaluations actuelles. La pratique actuelle décompose ces effets en différentes distances et

périodes ou néglige certaines phases de la chaîne du combustible.

RÉSULTATS DES ÉTUDES

Si les progrès technologiques permettent d'atténuer considérablement les problèmes environnementaux liés au cycle du charbon, les émissions provenant des centrales existantes et prévues fonctionnant au charbon demeurent importantes. L'étude ExternE de 1995 estime qu'une réduction supplémentaire des émissions est techniquement réalisable. Elle note, cependant, que ces réductions se traduisent par une forte augmentation des coûts de construction et par des pertes d'exploitation. Il est probable, par conséquent, que les compagnies d'électricité continueront de construire des centrales plutôt en fonction des réglementations actuelles qu'en fonction des possibilités techniques.

Dans le cas du cycle du combustible nucléaire, d'importantes contributions aux problèmes radiologiques ont été recensées par des études réalisées en France, en Allemagne, en Suède et au Royaume-Uni (voir tableau page 23).

Dans ces études, tous les risques radiologiques ont été intégrés sur l'ensemble de la population mondiale et sur de très longues périodes pouvant atteindre 10000, voire 100000 ans. D'importantes contributions sont dues à l'extraction et au traitement, à l'exploitation des centrales nucléaires et au retraitement du combustible. Les problèmes radiologiques liés aux autres phases du cycle du combustible nucléaire ont été également calculés, mais sont insignifiants.

Bien que les comparaisons utilisent, pour le nucléaire, des hypothèses bien plus prudentes que pour les systèmes fonctionnant aux combustibles fossiles, il ressort des résultats que les problèmes de santé posés par la production d'électricité sont moindres avec l'énergie nucléaire. On estime qu'ils sont environ 100 fois moindres qu'avec le charbon et le pétrole et plusieurs fois moindres qu'avec le gaz (voir graphique ci-contre).

Pour conclure, les études internationales réalisées pendant la dernière décennie illustrent la nécessité d'évaluer les coûts sanitaires externes du cycle complet des systèmes de production d'énergie. En règle générale, on utilise des méthodes plus prudentes pour l'évaluation des risques radiologiques que pour la pollution de l'air causée par d'autres systèmes énergétiques. Quoi qu'il en soit, les résultats indiquent que dans des conditions d'exploitation normales, l'énergie nucléaire pose moins de problèmes pour la santé et pour l'environnement que les combustibles fossiles. Quant aux estimations relatives aux énergies renouvelables, elles demeurent incomplètes. En fonction des hypothèses retenues par l'étude, les effets estimatifs sont soit légèrement inférieurs, soit légèrement supérieurs à ceux de l'énergie nucléaire. □