

EFFETS À LONG TERME DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ

UN Oeil SUR L'AVENIR

ARI RABL ET MONA DREICER

Tous les systèmes de production d'électricité produisent des effets sur la santé et sur l'environnement des populations actuelles, mais également des générations futures. Notre connaissance actuelle montre que plusieurs effets se manifesteront probablement dans un avenir lointain, et qu'ils doivent par conséquent être pris en compte dans l'évaluation des options énergétiques.

Les effets susceptibles de toucher les futures générations, cependant, sont difficiles à évaluer en raison des longs calendriers qu'ils impliquent, et n'ont donc pas toujours été étudiés. Il faudrait cependant le faire. Même avec des informations limitées, il faut analyser les dangers potentiels, en particulier parce que les générations futures ne peuvent participer à la prise de décisions qui pourraient influencer leur vie. On estime actuellement qu'il importe d'évaluer, pour les générations futures, les effets des radionucléides à longue période, du réchauffement planétaire, des catastrophes nucléaires, de l'évacuation des déchets, de l'utilisation des sols et de la raréfaction des ressources.

Pour étudier les futurs effets, il convient de définir plusieurs échelles de temps. Comme il n'existe pas de délimitation précise entre une décision prise par la génération actuelle et une décision prise par les futures générations, on choisit, comme hypothèse, environ 50 ans. L'un des effets à long terme les plus importants, le réchauffement planétaire, se prolongera



probablement sur plusieurs siècles. D'autres, en particulier les effets des radionucléides à longue période, peuvent se prolonger des milliers, voire des millions d'années. Étant donné que l'incertitude des évaluations quantitatives augmente fortement lorsqu'on se projette dans le temps, les résultats devraient être notifiés séparément pour différentes périodes de temps. L'horizon naturel, pour l'avenir lointain proche, peut être fixé par le réchauffement planétaire. Bien que l'échelle de temps ne soit pas précisément définie, un seuil de 100 ou 200 ans est jugé approprié.

EFFETS FUTURS IMPORTANTS: QUELS SONT-ILS ?

Radionucléides dispersés à l'échelle mondiale. Parmi les radionucléides libérés par la production d'énergie nucléaire, deux se dispersent régulièrement à l'échelle mondiale et ont une demi-vie assez longue pour être

pris en compte dans l'évaluation des futurs effets: l'iode 129 et le carbone 14. L'iode 129 a une demi-vie d'environ 16 millions d'années et s'incorpore facilement au cycle mondial de l'iode stable. Le carbone 14 a une demi-vie de 5710 ans et se mélange au cycle du carbone mondial.

Les effets pour les lointaines générations futures sont essentiellement liés à l'augmentation éventuelle des cas de cancers fatals et aux effets génétiques résultant de l'exposition accrue aux rayonnements de faible activité. Si la probabilité individuelle d'exposition et d'effet délétère est extrêmement faible, la probabilité collective d'un grand nombre de personnes exposées sur un grand nombre de

M. Rabl est responsable scientifique au Centre d'énergie de l'École des Mines (Paris) et professeur de recherche en génie civil à l'Université du Colorado (États-Unis). Mme Dreicer est consultante en évaluation environnementale à Washington, DC (États-Unis)

Photo: Centrale au charbon en Allemagne. (Crédit: Siemens)

DOMMAGES ESTIMATIFS RÉSULTANT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE À LONG TERME

Type de dommage	Indicateur de dommage	UE	États-Unis	Ex-URSS	Chine	Non-OCDE	OCDE	Monde
Agriculture	Bien-être perdu (% PNB)	0,21	0,16	0,24	2,10	0,28	0,17	0,23
Sylviculture	Surf. forest. perdue (km ²)	52	282	908	121	334	901	1235
Pêche	Diminution des prises (1000 t)	558	452	814	464	4326	2503	6829
Énergie	Augm. demande d'électricité (TWh)	54,2	92,0	54,6	17,1	142,7	211,2	353,9
Eau	Diminution offre d'eau (km ³)	15,3	32,7	24,7	32,2	168,5	62,2	230,7
Protection côtière	Coût d'invest. annuel (millions de dollars/an)	133	176	51	24	514	493	1007
Terres sèches perdues	Superf. perdue (1000 km ²)	1,6	10,7	23,9	0	99,5	40,4	139,9
Terres humides perdues	Superf. perdue (1000 km ²)	9,9	11,1	9,8	11,9	219,1	33,9	253,0
Écosystèmes perdus	Nombre d'habitats protégés (hypothèse: 2% de perte)	16	8	S/O	4	53	53	106
Santé/mortalité	Nombre de décès (1000)	8,8	6,6	7,7	29,4	114,8	22,9	137,7
Pollution de l'air								
O ₃ tropical	(1000 t NO _x)	566	1073	1584	227	2602	1,943	4545
SO ₂	(1000 t soufre)	285	422	1100	258	1864	873	2737
Migration	Immigrés suppl. (milliers)	229	100	153	583	2279	455	2734
Ouragans								
Victimes	Nombre de décès	0	72	44	779	7687	313	8000
Dommages	millions de dollars	0	115	1	13	124	506	630

Note: Dommages estimatifs dus à un doublement des émissions de dioxyde carbone dans l'avenir lointain (réchauffement: 2,5° C).

Source: S. Fankhauser, "Valuing Climate Change", the Economics of the Greenhouse, Earthscan, Londres (1995). Adaptation de données du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

générations (même à des doses individuelles infimes) représente un nombre total absolu important. Un débat intense fait rage parmi les spécialistes de la radioprotection sur le fait de savoir si ces calculs sont justifiés, le risque réel pouvant être nul.

On estime que les effets génétiques sont considérablement plus faibles que le risque de cancer induit éventuel. Des explications plus détaillées sont présentées dans d'autres études telles que le projet ExternE mis en œuvre par la Commission européenne en 1995.

Réchauffement planétaire. Le réchauffement planétaire est actuellement considéré comme l'un des plus importants effets environnementaux potentiels du gaz à effet de serre CO₂ produit par la combustion de matières fossiles. Un autre gaz à effet de serre lié à l'énergie, le méthane

(CH₄), se libère lors de l'extraction du charbon ou fuit des systèmes de gaz naturel. Le méthane peut également se libérer lors de la mise en eau et de la fermentation anaérobie faisant suite à la construction de projets hydroélectriques. Même si les quantités libérées de méthane sont faibles (les taux de fuite sont inférieurs à 1% dans les systèmes de gaz naturel modernes), leur effet peut être important car le potentiel de réchauffement planétaire du méthane est de 20 à 50 fois supérieur à celui du CO₂.

Bien que notre aptitude à quantifier l'influence humaine sur le climat mondial soit actuellement limitée par la variabilité naturelle et par l'incertitude des données disponibles, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat note que

"l'étude des faits donne à penser que l'homme a une influence certaine sur le climat mondial". On s'accorde à penser qu'une augmentation relative de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre aurait des effets divers et importants sur le climat. Ces effets porteraient sur les mêmes récepteurs humains et environnementaux que ceux touchés par d'autres formes de pollution. Les effets du réchauffement planétaire sont très incertains et se produiront à plus long terme. Ils sont donc plus difficiles à quantifier.

Les dommages causés par le changement climatique à plus long terme peuvent être présentés de manière physique à l'aide d'un ensemble d'indicateurs de dommage (voir tableau).

Catastrophes. Une catastrophe provoquera une contamination

supplémentaire de l'environnement. Des effets potentiels sur la santé humaine peuvent être envisagés dans un avenir lointain (généralement pas avant 10000 ans). L'exposition mondiale supplémentaire des générations futures à des rejets produits par des catastrophes est généralement faible par rapport à celle due aux activités d'exploitation normales. Cela s'explique, en partie, par la répartition plus localisée des radionucléides à longue période et par la faible fréquence escomptée de tels accidents. Les accidents survenant sur des systèmes énergétiques non nucléaires ne devraient pas avoir d'effets importants dans l'avenir lointain. Les effets des marées noires, par exemple, tendent à disparaître après quelques décennies.

Déchets. Les déchets provenant des systèmes énergétiques recèlent des matières ayant des demi-vies très diverses. Lorsqu'ils étudient les effets dans l'avenir lointain, les analystes se préoccupent des radionucléides à longue période, des matières à longue période présentes dans les déchets non nucléaires (matières organiques persistantes) et des matières qui ne disparaissent jamais (métaux toxiques).

Les effets dans un avenir lointain des déchets produits aujourd'hui doivent être examinés à la lumière des solutions de gestion des déchets dont on dispose aujourd'hui. Les effets et coûts potentiels dépendent des méthodes utilisées pour évacuer ces déchets. Les deux questions clés qui auront une influence significative dans un avenir lointain sur le niveau d'effets potentiels liés à l'évacuation des déchets sont le choix du site et de la méthode de dépôt (décharge, structure ouvragée peu profonde ou dépôt géologique) et la gestion des dépôts (surveillés ou non, réversibles ou non).

Les futurs effets dépendront de la façon dont le dépôt est géré aujourd'hui et demain. Toute évaluation doit donc s'accompagner d'un scénario de gestion des déchets. Dans la plupart des études passées d'évaluation comparative des risques, c'est la solution non réversible (ou permanente) qui a été choisie pour les déchets tant dangereux que radioactifs.

Le choix d'une méthode non réversible d'évacuation des déchets présente dans l'avenir lointain un risque d'effets liés à de nombreux types de déchets, par uniquement nucléaires. Divers calculs ont montré que les futurs dommages résultant de rejets provenant de dépôts de déchets hautement radioactifs ne seraient pas importants par rapport au types de risque que les gens sont disposés à accepter au quotidien. Toutefois, la possibilité même de ces rejets a suscité de vives craintes au sein du public et demeure l'un des arguments clés des opposants à l'énergie nucléaire. Les effets potentiels futurs des déchets toxiques non radioactifs n'ont pas été étudiés de façon aussi détaillée, alors qu'ils peuvent avoir une longue période et sont souvent évacués dans le sous-sol.

Vu le risque d'effets dans un avenir lointain, une solution de rechange envisagée pour différents types d'évacuation est l'entreposage réversible, qui donne aux générations futures la possibilité d'améliorer les méthodes actuelles de gestion des déchets. On part du principe que les générations futures disposeront probablement de meilleurs technologies pour faire face au problème des déchets (la transmutation des déchets radioactifs, par exemple, pourrait parfaitement devenir courante).

Utilisation des sols. La production et l'approvisionnement en électricité ont et continueront de nécessiter l'utilisation de terres et, partant, d'avoir un effet sur la

quantité de terres disponibles à d'autres fins. On peut prétendre que ces effets seront probablement réversibles à l'avenir. Néanmoins, l'expérience, par exemple, du Superfonds des États-Unis pour l'assainissement des sols contaminés a montré que même avec les technologies existantes, les ressources et la volonté politique nécessaires pour résoudre ces problèmes font parfois défaut. L'impact sur les sols est probablement l'un des effets les plus litigieux et socialement sensibles à prendre en compte dans l'élaboration de route politique énergétique. Il peut en résulter un coût social important dans un avenir lointain.

Raréfaction des ressources. Les méthodes actuelles de production d'électricité consomment principalement des ressources non renouvelables – combustibles fossiles et uranium. Les combustibles fossiles vont vraisemblablement s'épuiser plus rapidement que l'uranium. Les chiffres donnent à penser que les ressources en pétrole et en gaz actuellement identifiées se raréfieront au siècle prochain. On estime que les réserves de charbon seront épuisées dans plusieurs siècles.

Compte tenu de cette situation, on peut prévoir, dans le futur secteur de la production d'électricité, divers changements:

- variations du prix des ressources disponibles et exploitation croissante de matières de qualité inférieure, avec risque d'effets accrus sur l'environnement;
- rendement accru de la production et de l'utilisation de l'énergie;
- exploitation accrue des énergies renouvelables;
- réorientation vers de nouvelles technologies (surgénérateurs);
- réorientation du pétrole vers des substituts comme matière

première pour la production de plastiques.

Vu le bref délai auquel sont confrontés la plupart des décideurs, certains effets et coûts, dans un avenir lointain, de la raréfaction des ressources ne peuvent pas être pris en compte. Ces effets, cependant, peuvent être plus facilement quantifiés que certains autres évoqués précédemment.

Grâce à la macro-économie, il est possible d'estimer la raréfaction progressive des ressources, et des modèles peuvent simuler l'effet des variations de prix. Il faut garder à l'esprit que les conséquences estimatives dépendront des hypothèses retenues en ce qui concerne les progrès technologiques et les changements sociaux futurs. Les principes régissant le développement durable donnent à penser qu'il faudrait déterminer un taux raisonnable de raréfaction des ressources garantissant à la fois la croissance actuelle des économies et l'offre à long terme de diverses ressources.

PONDÉRATION DES EFFETS

Les effets estimés de l'utilisation de différentes méthodes de production d'électricité ne revêtent pas tous la même gravité ou la même importance pour la société. Le problème clé, en matière d'évaluation comparative des risques, est de trouver une mesure commune d'effet ou de risque qui permette d'établir des comparaisons directes entre différents types d'effet.

La plupart des effets ne sont pas directement comparables (nombre croissant de cancers et augmentation du niveau de la mer, par exemple). L'utilisation d'une mesure unique pour les rendre comparables représente une très grande simplification. Elle peut être instructive, mais aussi trompeuse.

Des mécanismes incorporant la valeur (l'évaluation monétaire est une méthode possible) ou l'importance relative d'un effet (pondération sur plusieurs critères) sont étudiés depuis des décennies par les analystes professionnels. La situation se complique encore lorsqu'on étudie des effets sur les générations d'un avenir lointain. Outre la quantification du niveau de risque qui pourrait intervenir dans un avenir lointain, les analystes doivent s'interroger sur le fait de savoir si les générations futures accepteront les risques produits aujourd'hui. À ce jour, il n'existe pas de solution ou de réponse idéale à ces questions.

Les méthodes d'estimation monétaire commencent par estimer les effets sur la santé, sur l'environnement et sur la société, puis leur attribuent une valeur économique en fonction de leur importance pour la société. Des biens non commerciaux tels que la santé et la vie humaine peuvent être estimés en fonction des préférences individuelles (disposition à payer).

Pour exprimer ces valeurs monétaires futures en valeurs actuelles équivalentes, on a eu recours à l'instrument économique standard de l'actualisation. Pour procéder à une actualisation au sein de la génération actuelle (effets dans un avenir proche), on convient généralement d'utiliser le taux d'actualisation social, dont la valeur est habituellement comprise entre 3% et 8% en fonction du marché. Pour tester la sensibilité du choix d'un taux d'actualisation social, deux études portant sur les coûts externes des systèmes énergétiques (Commission européenne et Laboratoires nationaux d'Oak Ridge) ont choisi 3% comme valeur centrale et ont présenté la gamme des résultats finals pour 0% et 10%.

Lorsqu'on recourt à l'actualisation pour estimer des effets dans un avenir lointain, le choix du taux d'actualisation est particulièrement important. L'actualisation peut réduire les coûts intergénérationnels dans un avenir lointain à des niveaux négligeables, à moins que le taux ne soit très proche de zéro. Une autre question clé réside dans le fait de savoir s'il se produira ou non des progrès technologiques (traitements médicaux) susceptibles d'atténuer considérablement des risques jugés importants aujourd'hui. C'est pourquoi l'actualisation intergénérationnelle est sujette à controverse. La question de savoir si un coût ramené à des niveaux négligeables reflète de façon satisfaisante l'importance perçue par la société doit être résolue avant de pouvoir juger acceptable le calcul des résultats.

Une autre considération essentielle est l'importance du fait de savoir si un risque est volontaire ou involontaire. Les risques imposés aux futures générations peuvent sembler involontaires. Si ces risques, cependant, sont mis en évidence, ils peuvent être évités ou atténués en prenant des mesures appropriées.

Les risques liés, par exemple, à un site d'évacuation de déchets nucléaires bien conçu peuvent être maintenus à des niveaux négligeables si les générations futures continuent de surveiller et d'entretenir le site, évitant ainsi toute dispersion des déchets dans l'environnement.

Malgré les difficultés que pose la quantification des effets et des coûts potentiels de décisions afférentes à des systèmes de production d'électricité, les estimations comparatives sont des instruments précieux. Elles sont un aspect important de l'élaboration de politiques qu'il ne faut pas négliger si l'on veut servir les intérêts des générations actuelles et futures. □