

COMPARAISON DE RISQUES ÉNERGÉTIQUES DIFFÉRENTS: MÉTHODOLOGIE ET PROBLÈMES QUELLE VOIE SUIVRE?

YOSHIO MATSUKI ET RUSSELL LEE

L'évaluation comparative des risques liés aux systèmes énergétiques repose sur deux concepts fondamentaux. L'un consiste à décrire des indicateurs d'effets sanitaires, environnementaux ou autres liés à différentes sources de risque de façon soit quantitative, soit qualitative. L'autre consiste à comparer ces effets à certains critères afin d'établir des rapports que les responsables du secteur de l'énergie pourront utiliser efficacement.

Le présent article examine brièvement les principaux facteurs pris en compte dans l'évaluation comparative des risques liés aux systèmes de production d'électricité. Une attention particulière est portée aux grandes questions qui doivent être abordées lors de la prise de décisions.

Méthodes d'étude et destinataires. Nombre d'études d'impact sur l'environnement utilisent des méthodes qualitatives. Elles tentent de décrire de façon précise les effets potentiels. Les méthodes quantitatives, en revanche, peuvent offrir des comparaisons plus transparentes, mais de nombreux problèmes ne sont pas quantifiables. Elles tentent donc de décrire les effets dans toute la mesure possible.

Ces dernières années, l'élaboration de méthodes quantitatives s'est intensifiée. Ces méthodes devraient conférer plus de transparence aux évaluations comparatives des systèmes énergétiques et faciliter ces dernières. À cet égard, elles sont plus utiles pour évaluer les

effets sur la santé et sur l'environnement.

Il faut garder à l'esprit que les destinataires des évaluations comparatives sont des experts qui rendront compte aux décideurs. L'un des moments où des décisions doivent être prises est l'élaboration d'une politique énergétique. Les personnes chargées des questions énergétiques comparent les effets de différentes options lorsqu'ils élaborent une politique nationale ou la politique d'une entreprise en matière de gestion de l'électricité axée sur l'offre et la demande. Dans ce cas, une politique peut avoir pour objet d'ajouter une capacité de production d'électricité à un réseau national existant, d'exploiter de façon systématique les ressources d'une entreprise de service public ou de modifier la politique énergétique de l'État. Les responsables des questions énergétiques peuvent être des fonctionnaires ou des cadres de compagnies publiques d'électricité.

Un autre type de processus de prise de décisions a trait à l'élaboration de normes ou de critères par les organes de réglementation. Ces organes peuvent tirer parti d'estimations quantitatives de l'impact de différentes réglementations lorsqu'ils fixent des normes/critères applicables aux rejets de polluants susceptibles d'avoir des effets sur l'environnement et la santé.

Méthodologie. De nombreuses études d'évaluation comparative des risques suivent une méthodologie comprenant plusieurs étapes. Premièrement, on retrace les événements induits

par les différentes activités de la chaîne du combustible énergétique. Ensuite, on estime les émissions et les variations des concentrations ambiantes de polluants. Enfin, on évalue les effets incrémentiels résultant de ces concentrations.

Nombre d'études estiment également le coût de ces effets. Cette méthode est appelée "méthode de la voie d'impact" ou "méthode de la fonction de dommage". En analysant étape par étape chacune des séries d'estimations ci-dessus, elle confère une transparence au processus d'estimation.

Pour définir une voie d'impact, les analystes doivent opérer une distinction entre différents termes – émissions, concentrations, impacts, dommages et degré d'effet externe (*voir encadré page suivante*).

Les émissions sont les rejets provenant d'une centrale électrique ou d'une autre source de la chaîne du combustible. Au sens large, ce terme recouvre tout effet résiduel tel que le bruit (turbine éoliennes), l'existence d'une centrale électrique là où il n'y en avait aucune, ou une évolution de l'érosion (du fait de l'évolution de l'occupation des sols). Les émissions de nombreux polluants subissent des réactions chimiques ou se dispersent à partir de la source de l'émission

M. Matsuki est fonctionnaire à la Division de la sûreté des installations nucléaires de l'AIEA, et M. Lee est directeur du Center for Energy and Environmental Analysis du Laboratoire national d'Oak Ridge (États-Unis).

ÉTABLIR UNE DISTINCTION ENTRE LES TERMES

Les exemples suivants illustrent les distinctions qu'il convient d'opérer entre rejets, concentrations, impacts, dommages et effets externes.

Émission ou rejet	Changement de concentration	Impact	Dommages	Effets externes
CO ₂	Augmentation de la concentration de CO ₂ dans l'atmosphère	Les estimations d'impact sont imprécises mais sont censées inclure les changements survenant dans les écosystèmes et dans l'environnement construit; les changements survenant dans la production agricole; et d'éventuelles famines imputables à la fréquence accrue des inondations et des sécheresses.	Valeur économique des impacts.	Dans la plupart des pays, aucun dommage n'est pris en charge dans l'installation elle-même; tous les dommages sont donc des "effets externes".
SO ₂	Formation, dispersion et changement de la concentration de sulfates, par exemple.	Risque accru de morbidité et de mortalité liées à des troubles respiratoires dus à l'inhalation de sulfates.	Valeur économique de l'augmentation escomptée de la morbidité et de la mortalité. Cette valeur comprend la baisse ou la perte de qualité de vie et pas seulement les coûts médicaux et les pertes de salaires ou de productivité.	Dans les régions où ces dommages ne sont pas pris en charge dans l'installation elle-même, les effets externes équivalent au dommage. Au États-Unis, avec le commerce des autorisations d'émissions de SO ₂ , une partie indéterminée des dommages est prise en charge en interne.
Radionucléides en cas d'accident d'une centrale nucléaire	Le changement de concentrations de ces radionucléides peut s'observer à des milliers de kilomètres.	Risque accru de morbidité et de mortalité liées à certains cancers.	Valeur économique de l'augmentation escomptée de la prévalence des cancers.	Une partie des dommages peut être prise en charge en interne (aux États-Unis grâce à la loi (assurance) Price-Anderson).
Bruit de turbines éoliennes	Changement des niveaux de bruit à proximité de la ferme éolienne.	Effets néfastes sur l'audition.	Les gens sont disposés à payer pour éviter le bruit, ce qui transparaît par exemple dans le prix des terrains situés à proximité du site.	Ces dommages économiques sont tous des effets externes, car il n'existe pas de mécanisme de marché permettant de les prendre en charge en interne.
Réduction du débit d'une chute d'eau causée par un barrage hydroélectrique	Réduction du débit d'une chute d'eau causée par un barrage hydroélectrique (cf. "rejet").	Réduction de l'esthétique visuelle de la chute d'eau.	Valeur économique de la réduction de l'esthétique, estimée par exemple au moyen d'une évaluation de la disponibilité des individus à payer.	Aucun de ces dommages n'est pris en charge en interne; tous les dommages sont donc des effets externes.

vers des endroits proches ou éloignés. Cette dispersion modifie les concentrations de polluants par rapport à leur niveau en l'absence de production d'électricité. Les populations, les écosystèmes et l'infrastructure (bâtiments et routes) qui sont exposés à ces concentrations changeantes de polluants courent un risque accru de subir certains impacts.

Ces impacts peuvent souvent être exprimés en termes économiques. L'un est "dommage", l'autre "effet externe". Un dommage est le coût économique intégral d'un impact physique.

Parfois, les dommages n'ont pas d'incidence sur le marché de l'électricité ou du combustible. Ils sont alors considérés comme des coûts ou "effets" externes. Une partie du dommage est donc l'effet externe. L'ampleur de ce

dernier dépend de la mesure dans laquelle le marché, les assurances et la réglementation rendent explicitement compte des dommages.

Dans la méthode de la voie d'impact, par exemple, les dommages liés aux émissions de SO₂ incluent le coût économique de l'augmentation escomptée de la morbidité et de la mortalité. Lorsque des permis d'émission de SO₂ peuvent être négociés, une certaine partie des dommages est internalisée, de sorte que la partie qui n'est pas internalisée est l'effet externe. Dans les pays où il n'existe aucune possibilité d'internalisation des dommages, cependant, l'effet externe est égal au dommage.

D'autres approches méthodologiques sont aussi fréquemment utilisées. L'analyse du cycle de vie, l'estimation du

coût du cycle de vie et l'analyse du risque écologique, par exemple, sont d'autres méthodes couramment utilisées qui confèrent également une transparence au processus d'estimation. Dans ces méthodes, l'accent porte sur des points différents.

Il est également possible d'établir des méthodes simplifiées utiles pour des analyses "de dépistage" plus générales, lorsque le détail revêt moins d'importance et lorsque les données et les ressources sont très limitées.

Indicateurs. On peut utiliser, à des fins de comparaison, divers indicateurs d'impact sur la santé et sur l'environnement. En règle générale, il peut exister plusieurs voies et points limites résultant d'une quelconque émission. Ces points limites sont des indicateurs d'impact. À cet égard, les

indicateurs retenus peuvent dépendre de la méthodologie choisie. Lorsqu'on choisit plusieurs indicateurs d'impact, la procédure de comparaison devient complexe. Il est donc préférable de choisir des impacts prioritaires sur lesquels on axera les comparaisons.

Les indicateurs primaires d'impact sont des estimations des effets eux-mêmes – augmentation du taux de mortalité, dommages causés aux arbres ou augmentation de la prévalence des maladies respiratoires, par exemple. D'autres indicateurs sont souvent des substituts qui nous informent sur ces effets, en particulier lorsque ces derniers sont difficiles à estimer directement. L'ampleur des émissions de polluants (et d'autres types de problèmes) est un type d'indicateur indirect (tonnes de dioxyde de soufre émises, par exemple). Il faut reconnaître, cependant, que les indicateurs indirects ne sont un bon substitut que dans certaines situations et ne peuvent pas être utilisés de façon générale.

Les spécialistes de l'énergie s'interrogent sur les indicateurs sanitaires agrégés. S'il n'existe pas de consensus sur lequel utiliser, le "nombre d'années de vie perdues" est de plus en plus fréquemment utilisé pour l'impact de mortalité et le "nombre de jours-personnes de travail perdus" pour l'impact de morbidité.

Certains analystes préconisent des indicateurs plus agrégés, tel un indice sanitaire intégré. D'autres s'opposent à cette méthode car des informations détaillées se perdraient dans le processus d'agrégation.

Une discussion a également lieu sur la validité d'un indicateur calculé par évaluation monétaire. Selon un point de vue, seuls les choses qui peuvent être achetées ou vendues ont une valeur économique. Selon un autre, l'évaluation monétaire est comparable à l'utilisation de facteurs de pondération

(compromis). Quoi qu'il en soit, on peut recourir à l'évaluation monétaire lorsque le processus de prise de décisions dans le cadre duquel l'étude est réalisée l'exige (internalisation des coûts, par exemple) et lorsque des valeurs monétaires valables peuvent être définies comme indicateurs d'impact.

L'un des problèmes de l'évaluation monétaire est qu'il est difficile d'attribuer une valeur monétaire à chaque chose. On peut citer, par exemple, la question de biodiversité (perturbation de l'habitat d'un oiseau rare, par exemple) ou celle de l'utilisation de valeurs monétaires pour caractériser des impacts dans des pays aux situations économiques et aux valeurs sociales différentes.

Problèmes. Lorsque des analystes entreprennent une évaluation comparative des risques, il doivent prendre en compte et résoudre plusieurs problèmes (*voir encadré page 13*). Ils doivent notamment fixer des limites temporelles et spatiales à l'évaluation, évaluer les futurs impacts, inclure le réchauffement planétaire dans leur comparaison, résoudre les incertitudes et tenir compte des considérations éthiques.

Des limites doivent être fixées en fonction des objectifs de l'évaluation. Plusieurs théories s'affrontent, à cet égard. Souvent, par exemple, les stades de la chaîne du combustible non situés à l'intérieur des frontières du pays évaluateur ne sont pas inclus dans le champ d'application de l'évaluation. Lorsque des émissions provenant d'un pays étranger, cependant, peuvent avoir un impact mondial (CO₂, par exemple), cet impact doit généralement être pris en compte. Les émissions produites à l'intérieur des frontières nationales qui ont un impact dans d'autres pays doivent aussi, en règle générale, être prises en compte. Les difficultés posées par ces

estimations sont liées au calcul de la dispersion des polluants, de l'exposition aux matières dangereuses, des niveaux de fond, des relations dose-effet dans d'autres pays et des valeurs d'impact dans différents pays lorsqu'on effectue une évaluation monétaire.

Il importe de comparer les effets à long terme sur la santé des émissions tant radioactives que non radioactives provenant des chaînes des combustibles nucléaire et fossiles. Les effets à long terme des émissions et des déchets toxiques provenant des chaînes des combustibles fossiles n'ont cependant pas encore été estimés de façon rigoureuse.

Un autre problème à prendre en compte est l'actualisation des futurs effets sur la santé. Des taux d'actualisation sont souvent utilisés pour ajuster les futurs dommages et avantages à leur valeur actuelle, puis pour les exprimer de façon "nivelée". Certains analystes utilisent des taux d'actualisation compris entre 0% et 10% pour montrer la sensibilité des résultats au taux choisi.

De nombreuses discussions ont lieu sur la façon de prendre en compte le réchauffement planétaire dans l'évaluation comparative des risques. Les évaluations les plus poussées peuvent justifier l'estimation des émissions de gaz à effet de serre liées à différentes chaînes de combustible. Il est nettement plus difficile, toutefois, d'estimer sur le plan quantitatif les effets sur la santé et sur l'environnement susceptibles de résulter du réchauffement planétaire causé par ces émissions. Le consensus adopté par les organismes internationaux, en particulier le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC), permet d'obtenir des estimations raisonnablement fiables des effets du changement climatique.

Plusieurs analystes ont décrit comment les incertitudes ont été

RÉSUMÉ DES PRINCIPAUX ASPECTS DE L'ÉVALUATION COMPARATIVE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Aspects	Méthodes proposées
Utilisateurs cibles	Les utilisateurs visés sont les experts qui rendent compte aux décideurs.
Processus de prise de décisions	Élaboration de politiques énergétiques et fixation de normes et/ou de critères, notamment.
Objet de l'élaboration d'une politique	Ajout marginal de capacité de production d'électricité à un réseau national existant; exploitation systématique des ressources d'une installation; ou changement de politique énergétique.
Fixation de limites	Détermination de la dispersion dans l'environnement; exposition à des matières dangereuses; niveau de fond ; relation dose-effet dans d'autres pays; et valeur des impacts dans différents pays.
Indicateurs sanitaires agrégés	Aucun consensus trouvé. Indicateurs possibles: "années de vie perdues" pour l'impact de mortalité et "jours-personnes de travail perdus" pour l'impact de morbidité. Aucun consensus trouvé pour les indicateurs d'impact environnemental, bien que plusieurs soient utilisés.
Évaluation monétaire	Aucun consensus trouvé. Selon un avis, l'évaluation monétaire ne devrait être utilisée qu'en présence de coûts financiers. Selon un autre, on peut l'utiliser chaque fois que des compromis sont possibles entre plusieurs choix.
Questions éthiques posées par l'évaluation monétaire	Il est difficile de donner une valeur monétaire à tout (à la diversité biologique, par exemple) et de chiffrer en termes monétaires l'impact dans différents pays.
Effets à long terme sur la santé	Il faut évaluer l'impact à long terme sur la santé des émissions toxiques de déchets provenant des chaînes du combustible fossile. On utilise des taux d'actualisation compris entre 0% et 10%.
Réchauffement planétaire	On préfère l'avis d'organismes internationaux tels que le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).
Méthode de prise en compte des incertitudes	Évaluation subjective de l'analyste (précision faible, moyenne ou élevée); calcul (Monte Carlo) de fonctions de probabilité cumulée pour les estimations; et systèmes permettant aux analystes de décrire systématiquement l'incertitude des données.

analysées et présentées dans les études. Il reste à savoir, cependant, si cette question est traitée de façon appropriée.

Les questions éthiques sont également importantes et diverses. Elles interviennent en particulier lorsqu'on estime la valeur monétaire des impacts environnementaux par rapport à celle des effets sanitaires.

D'aucuns affirmeront qu'il est éthiquement plus facile d'attribuer une valeur monétaire aux impacts environnementaux qu'aux effets

sanitaires. De nombreux écologistes, cependant, affirment qu'il est tout aussi difficile d'attribuer une valeur monétaire aux écosystèmes. Il est donc difficile, lorsqu'on estime la valeur de différents types d'effets, de résoudre de façon satisfaisante les questions éthiques en raison de la grande diversité des contextes et des effets possibles.

Pour résumer, les analystes se heurtent à de nombreux problèmes lorsqu'ils effectuent une évaluation comparative des risques

liés aux systèmes de production d'électricité.

Pour les aider dans cette tâche, l'AIEA a élaboré, dans le cadre de ses activités interorganisations consacrées à ces questions, un rapport technique intitulé *Health and Environmental Impacts of Electricity Generation Systems: Procedures for Comparative Assessment*.

Ce rapport décrit plus en détail les méthodes et problèmes évoqués dans le présent article. □