

# Juger le nucléaire

*L'électronucléaire est une technologie qui est disponible aujourd'hui, émet très peu de gaz à effet de serre et pourrait être considérablement développée pour réduire les émissions futures.*

L'électronucléaire émet très peu de gaz à effet de serre et, d'après l'analyse du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il a le potentiel d'atténuation le plus grand au coût moyen le plus bas dans le secteur de l'approvisionnement énergétique.

Voilà les mérites sur lesquels l'électronucléaire devrait être jugé dans le cadre du débat sur les changements climatiques.

Pourtant, l'électronucléaire est actuellement exclu du mécanisme pour un développement propre et de la mise en œuvre conjointe pour des raisons qui n'ont rien à voir avec le climat.

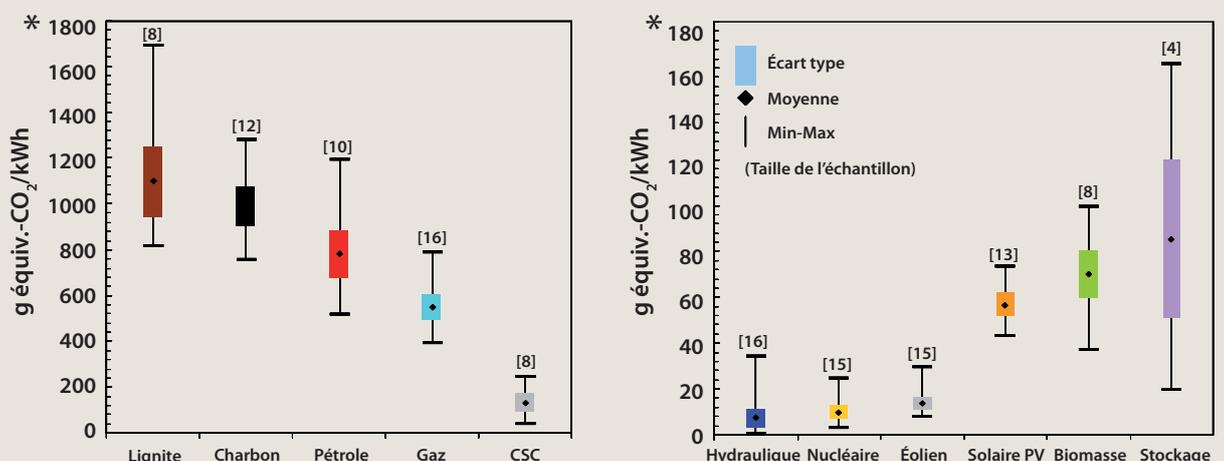
Le mécanisme pour un développement propre (MDP) et la mise en œuvre conjointe sont deux « mécanismes souples » inclus dans le Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques pour aider les pays à atteindre les objectifs de limitation ou de réduction des émissions de gaz à effet de serre fixés par la convention. Au titre du MDP, un pays qui a un objectif fixé par la convention (la plupart des pays développés) peut

atteindre en partie cet objectif en investissant dans un projet qui réduit ou élimine les gaz à effet de serre dans un pays sans objectif fixé par la convention (la plupart des pays en développement). La mise en œuvre conjointe est un mécanisme similaire, mais qui s'applique entre deux pays ayant un objectif fixé par la convention. Les projets électronucléaires sont expressément exclus de ces deux mécanismes.

Les préoccupations que soulève l'électronucléaire sont qu'il pourrait être non sûr, non économique ou associé à la production d'armes. Or, les négociations sur l'évolution du climat ne sont pas l'instance appropriée pour examiner ces préoccupations.

S'agissant de la sûreté, la Convention sur la sûreté nucléaire prévoit un mécanisme international efficace d'examen. Pour estimer les coûts, ce sont les investisseurs qui sont le mieux à même de prédire ce qui est économiquement intéressant maintenant et à l'avenir. S'agissant de la prolifération, le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) a été prorogé indéfiniment, et de plus en plus de pays adhèrent au protocole additionnel, qui renforce encore les accords de garanties conclus dans le cadre de ce traité.

**Fig. 1 : Emissions de GES pour l'ensemble du cycle de quelques technologies de production d'électricité**



\*NB : Les échelles verticales dans les deux cadres diffèrent d'un facteur dix.

Note : [WEISSER, D., A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies, Energy 32 (2007) 1543–1559]. Cadre gauche : combustibles fossiles. Cadre droit : énergies non fossiles.

# sur ses mérites

par Hans-Holger Rogner, Ferenc L. Toth et Alan McDonald

La Commission du développement durable de l'ONU a conclu que bien que les pays ne soient pas d'accord sur le rôle de l'électronucléaire dans le développement durable, le choix de l'énergie nucléaire appartient aux pays. Les accords sur les changements climatiques n'ont pas à éliminer cette option.

Le mieux pour le développement durable — pour répondre aux besoins d'aujourd'hui sans compromettre la capacité des générations futures de répondre à leurs propres besoins — est de laisser ces générations futures prendre leurs propres décisions en matière d'options énergétiques et de permettre que ces options soient à égalité de chances.

## Très faibles émissions de gaz à effet de serre

La figure 1 compare les émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'ensemble du cycle électronucléaire — extraction de l'uranium; fabrication du combustible; construction, exploitation et déclassement des centrales nucléaires; et prise en charge des déchets — avec celles de l'ensemble du cycle d'autres technologies de production d'électricité. Il est à noter que l'échelle du cadre droit (énergies non fossiles) est plus limitée. Elle ne s'étend que de zéro à 180 grammes d'équivalent de dioxyde de carbone par kilowatt-heure (g équiv.-CO<sub>2</sub>/kWh). L'échelle pour

les combustibles fossiles dans le cadre gauche va de zéro à 1 800 g équiv.-CO<sub>2</sub>/kWh.

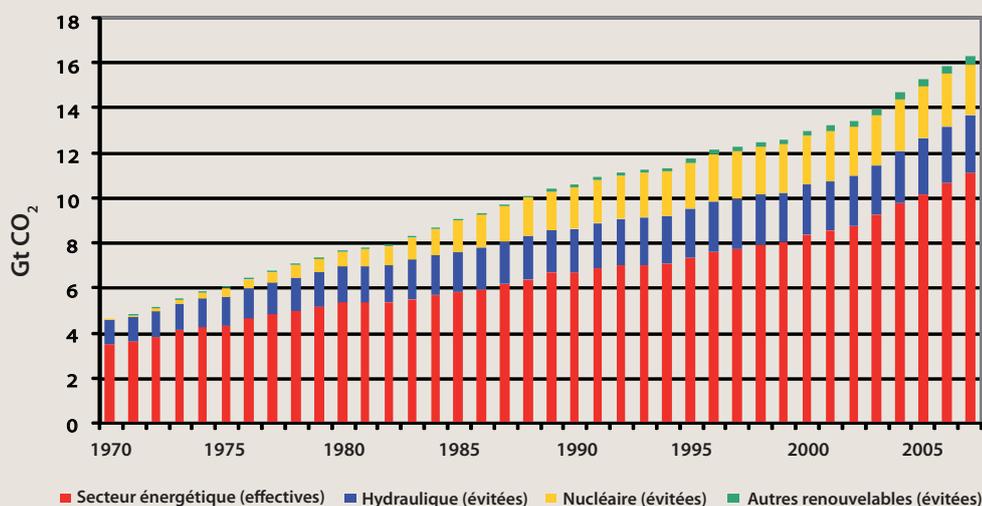
L'hydraulique, l'électronucléaire et l'éolien ont les émissions de GES les plus basses pour l'ensemble du cycle, inférieures de plus d'un ordre de grandeur aux combustibles fossiles et inférieures de deux tiers aux estimations pour le solaire photovoltaïque et la biomasse. Pour l'électronucléaire, la moyenne est d'environ 10 grammes d'équivalent de dioxyde de carbone par kilowatt-heure (g équiv.-CO<sub>2</sub>/kWh), valeur dérivée de 15 estimations allant de 2,8 à 24 g équiv.-CO<sub>2</sub>/kWh. Toutefois, du fait de leur caractère intermittent, de nombreuses sources renouvelables ne peuvent pas produire de manière fiable en charge de base.

Ainsi, si l'éolien et le solaire peuvent compléter la production en charge de base, ils ne peuvent pas se substituer pleinement à l'hydraulique et à l'électronucléaire.

La plupart des émissions de GES proviennent des activités du cycle du combustible qui sont « en amont » de la centrale, dont l'extraction et la préparation du minerai d'uranium, l'enrichissement et la fabrication de combustible.

La plupart des variations dans les estimations concernant l'électronucléaire s'expliquent par la diversité des hypothèses quant à la technologie d'enrichissement

Fig. 2 : Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> du secteur de l'électricité et émissions évitées par trois technologies à faible émission de carbone.



Source : calculs de l'AIEA sur la base de *Statistiques énergétiques mondiales : Statistiques de l'énergie des pays non membres de l'OCDE*, Agence internationale de l'énergie de l'OCDE, Paris (2008).

de l'uranium (diffusion gazeuse ou centrifugation) et quant à la source d'électricité utilisée pour alimenter l'usine d'enrichissement. La centrifugation ne consomme que 2% de l'électricité nécessaire pour la diffusion gazeuse, et si l'on suppose que l'usine d'enrichissement est alimentée par des centrales au charbon, les émissions de GES sont élevées ; si l'on suppose qu'elle est alimentée par l'électronucléaire, l'hydraulique ou l'éolien, les émissions estimées sont faibles.

Les usines de centrifugation continuant de remplacer les usines de diffusion gazeuse arrivées en fin de vie et les usines d'enrichissement étant de plus en plus alimentées par de l'électricité à faible émission de carbone, les émissions de GES provenant de l'ensemble du cycle électronucléaire tendront à se situer dans la partie basse de la fourchette indiquée à la figure 1.

### Émissions de GES que l'électronucléaire permet déjà d'éviter

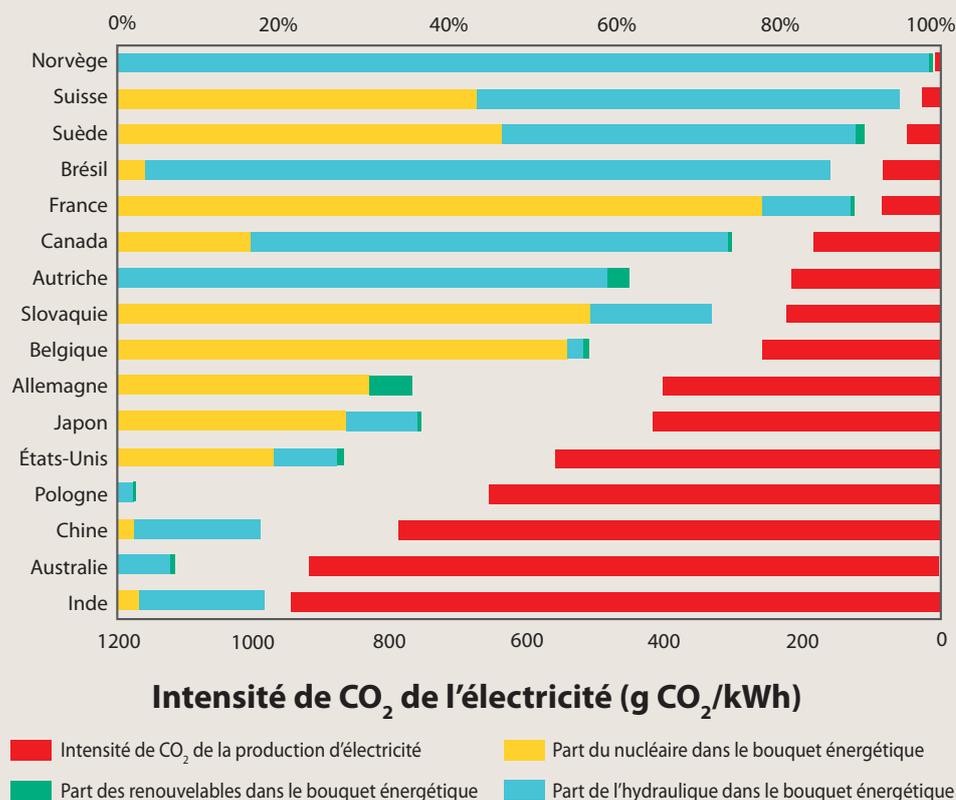
Le nucléaire contribue à l'approvisionnement mondial en électricité depuis plus de 50 ans. Aujourd'hui,

437 réacteurs de puissance sont en service dans le monde et depuis le milieu des années 80 la part du nucléaire dans la production mondiale d'électricité se situe entre 14 et 16%. Ainsi, l'électronucléaire a déjà permis d'éviter d'importantes émissions de GES, environ autant que l'hydraulique.

Les barres rouges de la figure 2 font apparaître l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la production mondiale d'électricité. En 2007, par exemple, les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> dues à la production d'électricité ont été d'environ 11 gigatonnes (Gt). Mais sans les sources renouvelables, l'hydraulique et l'électronucléaire, elles auraient été de 16,4 Gt selon les estimations.

Ces estimations d'émissions évitées dépendent beaucoup de l'hypothèse formulée quant à la source utilisée pour produire l'électricité de remplacement en l'absence de sources renouvelables, d'hydraulique et d'électronucléaire. Pour les estimations de la figure 2, on a supposé que l'électricité produite par ces trois sources l'aurait été en augmentant la production par des centrales au charbon, au pétrole et au gaz naturel en proportion de leurs parts respectives dans le bouquet énergétique. Il est probable que cette approche sous-estime les émissions évitées par l'électronucléaire dans les années 70 et au début des années 80. Nombre des centrales nucléaires construites après les crises pétrolières des années 70 avaient pour objectif de réduire la dépendance par rapport au pétrole et au gaz, et il est plus probable qu'en leur absence on aurait construit des centrales au charbon plutôt qu'un mélange proportionnel de centrales au charbon, au pétrole et au gaz.

**Fig. 3 : Parts des sources non fossiles dans le secteur de l'électricité et intensités de CO<sub>2</sub> pour quelques pays en 2006**



La figure 3 fait apparaître, au niveau national, la corrélation entre le faible niveau des émissions de CO<sub>2</sub> et les parts élevées de l'hydraulique ou de l'électronucléaire. Le graphique montre que les pays ayant des intensités de CO<sub>2</sub> inférieures à 20% de la moyenne mondiale, c'est-à-dire inférieures à 100 g CO<sub>2</sub>/kWh, produisent 80% ou plus de leur électricité grâce soit à l'hydraulique (p. ex. Norvège et Brésil), soit au nucléaire (p. ex. France) soit à une combinaison des deux (p. ex. Suisse et Suède).

À l'autre extrémité de l'échelle, les pays ayant des intensités de CO<sub>2</sub> élevées de 800 g CO<sub>2</sub>/kWh ou plus n'ont ni nucléaire ni hydraulique dans leur bouquet énergétique (p. ex. Australie) ou seulement en faible proportion (p. ex. Chine et Inde).

Source : calculs de l'AIEA sur la base de Émissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie, Édition 2008, Agence internationale de l'énergie de l'OCDE, Paris.

## Fort potentiel d'évitement de GES pour l'avenir

Le quatrième rapport d'évaluation du GIEC donne des estimations du futur potentiel d'atténuation des émissions de GES des diverses options de production d'électricité, à savoir substitution de combustibles fossiles les uns par les autres, nucléaire, hydraulique, éolien, bioénergie, géothermie, solaire photovoltaïque, solaire thermique, ainsi que charbon et gaz avec capture et stockage de CO<sub>2</sub>. L'analyse du GIEC part du scénario de référence des Perspectives énergétiques mondiales 2004, publiées par l'Agence internationale de l'énergie de l'OCDE. Elle estime ensuite les émissions de GES qui pourraient être évitées d'ici à 2030 en adoptant diverses technologies de production d'électricité au-delà de leurs parts dans le scénario de référence.

L'analyse suppose que chaque technologie sera utilisée autant qu'économiquement et techniquement possible, en tenant compte des contraintes pratiques comme le renouvellement des stocks, la capacité de fabrication, la formation de personnel et l'acceptation par le public. Les estimations indiquent la part supplémentaire de chaque technologie à faible émission de carbone qui pourrait être mise en œuvre à différents niveaux de coûts (par rapport au scénario de référence).

Les coûts sont la différence entre le coût de la technologie à faible émission de carbone et le coût de ce qu'elle remplace. Les estimations sont données dans la figure 4 pour les technologies dont le potentiel d'atténuation est supérieur à 0,5 Gt équiv.-CO<sub>2</sub>. La largeur de chaque rectangle dans la figure 4 correspond au potentiel d'atténuation de la technologie pour la fourchette de coût de carbone indiquée sur l'axe vertical. La largeur de chaque rectangle est indiquée par le nombre qui se trouve directement dessus ou dessous. Ainsi, l'électronucléaire (rectangles jaunes) a un potentiel d'atténuation de 0,94 Gt équiv.-CO<sub>2</sub> pour des coûts de carbone négatifs plus de nouveau 0,94 Gt équiv.-CO<sub>2</sub> pour des coûts de carbone allant jusqu'à 20 \$/t équiv.-CO<sub>2</sub> (Dans le rapport du GIEC, les possibilités à coûts négatifs sont définies comme les solutions dont les avantages (coûts énergétiques réduits, diminution des rejets de polluants à l'échelle locale ou régionale, etc.) sont égaux ou supérieurs aux dépenses qu'elles entraînent pour la société, sans tenir compte des avantages liés à la prévention des changements climatiques). Le total pour l'électronucléaire est donc de 1,88 Gt équiv.-CO<sub>2</sub>.

La figure montre que c'est l'électronucléaire qui a le plus grand potentiel d'atténuation au coût moyen le plus bas dans le secteur énergétique. L'hydraulique arrive en deuxième position pour le coût du potentiel d'atténuation, mais sa taille est la plus faible parmi les cinq possibilités examinées ici.

Le potentiel d'atténuation de l'éolien s'étend sur trois fourchettes de coûts, mais plus du tiers peut être utilisé à un coût négatif. La bioénergie a aussi un important potentiel d'atténuation total, mais moins de la moitié serait disponible à des coûts inférieurs à 20 \$/t équiv.-CO<sub>2</sub> d'ici à 2030.

## Conclusion

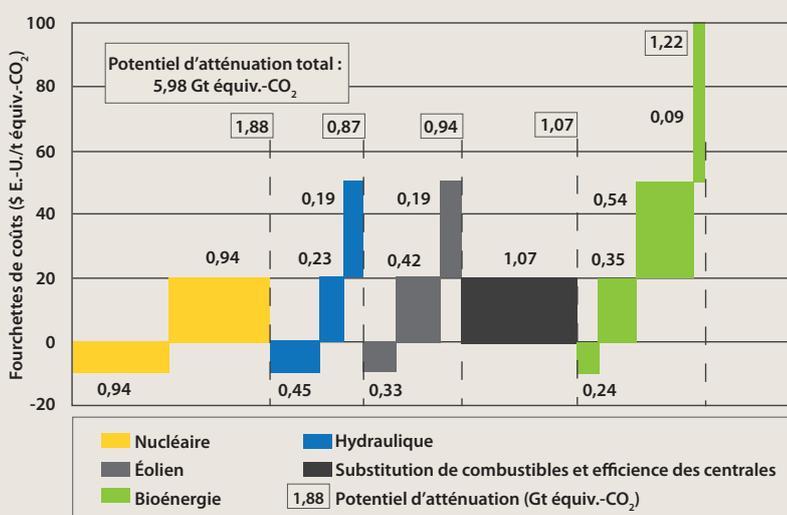
Soixante pays envisageant d'introduire l'électronucléaire dans leur bouquet énergétique, son rôle sur la scène mondiale va grandir. Il est important que dans les accords post-Kyoto le nucléaire soit jugé sur ses mérites par rapport aux changements climatiques, et que les projets électronucléaires soient pris en compte dans le mécanisme pour un développement propre et dans la mise en œuvre conjointe. ☼

Hans-Holger Rogner est chef de la Section de la planification et des études économiques de l'AIEA. Courriel : [h.h.rogner@iaea.org](mailto:h.h.rogner@iaea.org)

Ferenc L. Toth est spécialiste de l'économie de l'énergie à la Section de la planification et des études économiques de l'AIEA. Courriel : [f.l.toth@iaea.org](mailto:f.l.toth@iaea.org)

Alan McDonald est chef du Groupe de coordination du programme du Département de l'énergie nucléaire de l'AIEA. Courriel : [a.mcdonald@iaea.org](mailto:a.mcdonald@iaea.org)

**Fig. 4 : Potentiel d'atténuation en 2030 de quelques technologies de production d'électricité dans diverses fourchettes de coûts**



Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A., Eds), Cambridge University Press, Cambridge (2007).