

LES FORCES AGISSANTES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

ÉNERGIE NUCLÉAIRE ET LES DERNIERS SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS DU GIEC

VLADIMIR KAGRAMANIAN, SERGUEI KONONOV ET HANS-HOLGER ROGNER

La façon dont le monde évoluera au cours des 100 prochaines années est très incertaine. Néanmoins, les analystes peuvent, pour dresser un tableau de l'avenir – en fait plusieurs tableaux en fonction des hypothèses qu'ils utilisent – analyser différentes voies de développement et divers ensembles de forces agissantes.

Au cours des décennies écoulées, les scientifiques et chercheurs se sont longuement employés à étudier les changements climatiques et à modéliser leur future évolution, leur impact et différentes façons d'atténuer leurs effets potentiels. Ces études sont complexes et nécessitent d'observer les évolutions sociales, économiques et technologiques qui interviennent dans différents domaines.

Au début de 2000, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a approuvé un rapport spécial sur les scénarios d'émissions (*Special Report on Emission Scenarios – SRES*) couvrant la période allant jusqu'en 2100. Ce rapport contient 40 scénarios élaborés à l'aide de six modèles informatiques, couvre le monde et ses principales régions, et est largement centré sur les principaux gaz à effet de serre et le dioxyde de soufre. Les scénarios sont conçus pour permettre l'évaluation des changements climatiques et de leur impact (voir encadrés, pages 32 et 33).

Les nouveaux scénarios sont des scénarios de "non intervention"

face aux changements climatiques – c'est-à-dire qu'ils excluent toute mesure visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, les mesures visant d'autres facteurs environnementaux sont prises en compte, comme par exemple l'amélioration des techniques de réduction des émissions de soufre dans les pays en développement, qui se traduit par une réduction des émissions mondiales de dioxyde de soufre par rapport à celles relevées dans les études précédentes du GIEC.

Le présent article examine brièvement les derniers scénarios d'émissions du GIEC et se penche de près sur le rôle prévu de l'énergie nucléaire, rôle qui peut offrir d'intéressantes perspectives à long terme pour le développement du nucléaire. Cette perspective est particulièrement intéressante car, dans les scénarios, les possibles "futurs nucléaires" ont été modélisés sans tenir compte de considérations spécifiquement liées aux changements climatiques. Au contraire, les scénarios se sont concentrés sur la concurrence technique et économique qui existe entre les options d'approvisionnement énergétique, et qui est la force essentielle qui détermine la part relative des différents combustibles dans le système énergétique.

CARACTÉRISTIQUES DE BASE DES SCÉNARIOS

Les 40 scénarios SRES se répartissent en quatre groupes

(appelés "familles de scénarios") : A1 (17 scénarios); A2 (6 scénarios); B1 (9 scénarios); et B2 (8 scénarios). Chaque famille de scénarios repose sur un ensemble d'orientations qualitatives (appelé "canevas"). Un scénario représentatif (appelé "scénario marqueur" ou "marqueur") a été choisi pour illustrer chaque canevas. Cela ne signifie pas, pour autant, qu'il a une probabilité plus élevée que les autres scénarios (voir encadré, page 32).

PART DU NUCLÉAIRE ET DOSAGE DES DIFFÉRENTES FORMES D'ÉNERGIE

Le SRES adopte une conception dynamique des ressources et des techniques énergétiques – en d'autres termes, l'amélioration des techniques offre de nouvelles perspectives de développement des ressources.

La répartition des différentes formes d'énergie primaire, pour les quatre scénarios marqueurs, fait ressortir les éléments suivants :

- On relève une nette augmentation de l'énergie primaire d'ici à 2100 – de 40% en B1 à un sextuplement en A1;
- Tous les scénarios font apparaître une nette diminution de la part des combustibles fossiles;

MM. Kagramanian et Kononov travaillent à la Section de la planification et des études économiques du Département de l'énergie nucléaire de l'AIEA, section que dirige M. Rogner.

LES SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS DU GIEC

Il y a une dizaine d'années, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) – établi conjointement par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) – a élaboré ses premiers scénarios d'émissions à long terme, utilisés pour analyser la question complexe des changements climatiques. Au début de 2000, le GIEC a publié un nouvel ensemble de scénarios reflétant les avancées scientifiques les plus récentes. Comme l'indique un *Résumé à l'intention des décideurs*, les scénarios permettent différentes interprétations et reposent sur l'étude extensive de publications et d'évolutions.

Les futures émissions de gaz à effet de serre sont le produit de systèmes dynamiques très complexes déterminés par des forces agissantes telles que le développement démographique, le développement socio-économique et le progrès technologique. Leur évolution est très incertaine et les scénarios présentent différents tableaux de la façon dont la situation pourrait évoluer. À ce titre, ils sont utiles pour, d'une part, analyser la façon dont les forces agissantes pourraient influencer sur les futures émissions et, d'autre part, évaluer les incertitudes liées à cette influence. Ils aident aussi à analyser les changements climatiques, notamment à modéliser les climats et à évaluer leurs incidences et les mesures possibles d'adaptation et d'atténuation.

Les derniers scénarios du GIEC couvrent une grande partie des principales forces agissantes des émissions de gaz à effet de serre et de soufre. Chaque scénario représente une interprétation quantitative précise de l'un des quatre canevas. Chaque canevas suppose une direction distincte des futures évolutions sur le plan démographique, social, économique, technologique et environnemental. Tous les scénarios qui reposent sur le même canevas forment une "famille" de scénarios.

Au total, 40 scénarios ont été élaborés en utilisant une approche multimodèles. Treize d'entre eux étudient des variations des hypothèses relatives aux technologies énergétiques. Aucun des 40 scénarios ne suppose expressément l'application de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ou des objectifs du Protocole de Kyoto relatif aux émissions. Cependant, l'influence des politiques non climatiques sur les émissions de gaz à effet de serre est largement reflétée dans les canevas et les scénarios.

■ **Le canevas et la famille de scénarios A1** décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre régions, le renforcement des capacités et des interactions culturelles et sociales accrues, avec une réduction substantielle des différences régionales dans le



Photo : C. Sherburne/PhotoLink

revenu par habitant. La famille de scénarios A1 se scinde en trois groupes qui décrivent des directions possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique. Les trois groupes se distinguent par leur accent technologique : forte intensité de combustibles fossiles, sources d'énergie autres que fossiles et équilibre entre les sources.

■ **Le canevas et la famille de scénarios A2** décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas.

■ **Le canevas et la famille de scénarios B1** décrivent un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite, comme dans le canevas A1, mais avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficace. L'accent est sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

■ **Le canevas et la famille de scénarios B2** décrivent un monde où l'accent est placé sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans les canevas et les familles de scénarios B1 et A1. Les scénarios sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais ils sont axés sur des niveaux locaux et régionaux.

Pour de plus amples renseignements sur le GIEC et sur les scénarios d'émissions, consulter le site Internet du GIEC à l'adresse : <http://www.ipcc.ch>.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES CANEVAS ET FAMILLES DE SCÉNARIOS "MARQUEURS" DU GIEC

Famille de scénarios	Canevas	Population mondiale (milliards)			PIB par habitant (milliers de \$ 1990)			Énergie primaire (Gigajoules par habitant)			CO ₂ (Gigatonnes de carbone) (annuel/cumulé)			Source d'énergie primaire	Parts de l'énergie primaire		
		1990	2050	2100	1990	2050	2100	1990	2050	2100	1990	2050	2100		1996	2050	2100
A1	Forte croissance économique, faible croissance démographique, rapide introduction de nouvelles technologies; convergence vers un "monde homogénéisé" avec atténuation des différences régionales	5.3	8.7	7.1	4.0	20.8	74.9	66	138	295	7.1	16.4	13.5	Combustibles fossiles	83.4%	59.9%	30.7%
													Énergies renouvelables*	14.3%	29.9%	65.5%	
													Nucléaire (1)**	2.3%	10.2%	3.7%	
													Nucléaire (2)	6.5%	25.6%	10.5%	
													Nucléaire, GWe***	351	~5600	~3500	
A2	Évolution vers un "monde hétérogène": non convergence des schémas de fécondité, forte croissance démographique, développement économique toujours fragmenté par régions	5.3	11.3	15.1	3.8	7.2	16.1	59	86	114	7.1	17.4	29.1	Combustibles fossiles	83.4%	82.0%	71.9%
													Énergies renouvelables	14.3%	11.6%	14.4%	
													Nucléaire (1)	2.3%	6.4%	13.6%	
													Nucléaire (2)	6.5%	17.1%	32.4%	
													Nucléaire, GWe	351	~2800	~10600	
B1	"Monde homogène" comme en A1, mais avec "dématérialisation" de l'économie (services et information prédominants); modélisation d'un accent sur la viabilité mondiale	5.3	8.7	7.0	4.0	15.6	46.6	70	93	73	7.1	11.3	4.2	Combustibles fossiles	83.4%	69.8%	47.7%
													Nucléaire + Énergies renouvelables	16.6%	30.2%	52.3%	
													Nucléaire, GWe	351	non estimé		
B2	"Monde hétérogène" comme en A2, mais avec attention accrue portée à la viabilité; recherche de solutions pertinentes mais, contrairement à B1, au niveau régional	5.3	9.4	10.4	4.0	11.7	22.6	67	93	130	7.1	11.0	13.3	Combustibles fossiles	83.4%	70.2%	50.7%
													Énergies renouvelables	14.3%	24.4%	38.8%	
													Nucléaire (1)	2.3%	5.5%	10.5%	
													Nucléaire (2)	6.5%	14.9%	26.1%	
													Nucléaire, GWe	351	~2200	~6400	

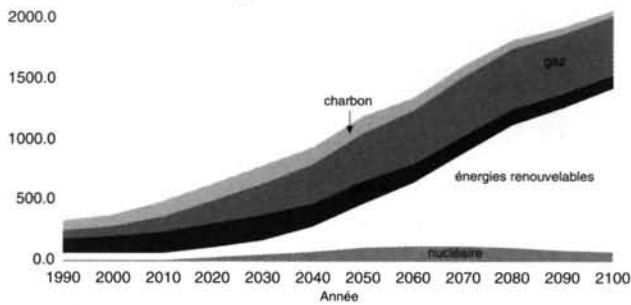
*Les énergies renouvelables incluent l'hydroélectricité, l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie géothermique et l'énergie de la biomasse.

**Deux ensembles de données - nucléaire (1) et nucléaire (2) - reflètent des différences de méthode de calcul. Nucléaire (1) reflète le recalcul SRES de la part du nucléaire dans l'approvisionnement en énergie primaire. Le SRES a converti l'électricité d'origine nucléaire en énergie primaire en convertissant les unités de térawatts/heure en exajoules. Il en résulte, pour le nucléaire, des parts atteignant environ 2% en 1996, ce qui diffère du chiffre plus habituel de 7% obtenu en tenant compte du rendement thermique des centrales nucléaires. Nucléaire (2) applique la méthode utilisée par l'Agence internationale de l'énergie de l'Organisation de coopération et de développement économiques et figure en italiques pour refléter les différences.

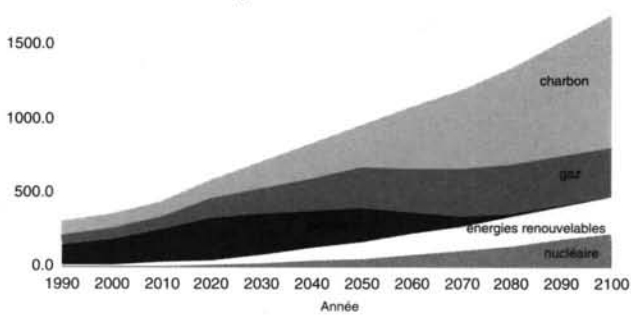
***La capacité est estimée sur la base des résultats SRES en énergie primaire exprimée en E (énergie en EJ) 31,71 (conversion en GW par an) /0,7 (coefficient d'utilisation moyen supposé).

**STRUCTURE DE L'APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE
DANS LES SCÉNARIOS MARQUEURS DU GIEC
(EXAJOULES)**

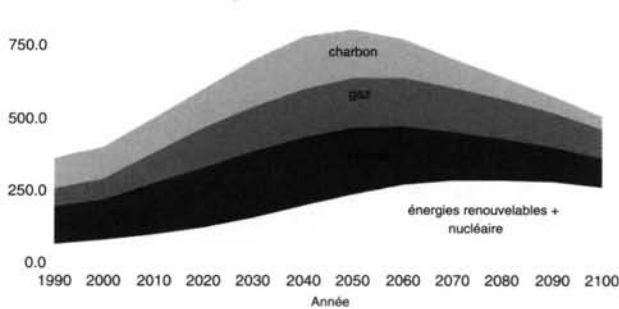
Scénario marqueur A1



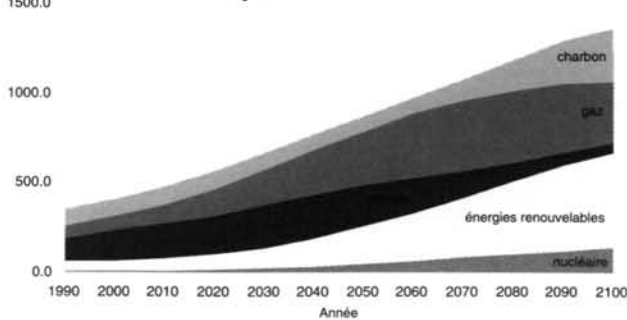
Scénario marqueur A2



Scénario marqueur B1



Scénario marqueur B2



■ La part combinée des énergies renouvelables et de l'énergie nucléaire augmente de deux à trois fois d'ici à 2100;

■ Dans le groupe croissant des sources d'énergie non fossiles, on observe une part variable du nucléaire. Les 6 à 7% de part du nucléaire dans l'énergie primaire pourraient atteindre de 10 à 30% d'ici à 2100. Cela équivaudrait à une capacité nucléaire totale de 3500 à 10600 gigawatts électriques (GWe).

Pour évaluer ce tableau prévisionnel, il importe de se souvenir que les scénarios reposent sur différentes hypothèses de développement technique et économique. Il en résulte les conséquences suivantes :

■ Dans le scénario marqueur A1, les énergies renouvelables devançant tant les combustibles fossiles que l'énergie nucléaire sur le plan de la performance économique. Même si la part du nucléaire augmente considérablement jusqu'en 2050, ce facteur entraîne son déclin ultérieur d'un maximum d'environ 5500 GWe en 2050 à 3500 GWe en 2100.

■ Le scénario marqueur A2 suppose le progrès le plus rapide des technologies liées au charbon, la pénétration des énergies renouvelables étant considérée comme plus progressive. L'énergie nucléaire reste compétitive et sa capacité augmente jusqu'à 10600 GWe.

■ Dans le scénario marqueur B1, la part des sources d'énergie non fossiles atteint environ 50% en 2100. Pour ce marqueur, on n'a pas calculé les parts distinctes du nucléaire et des énergies renouvelables. La fourchette des possibilités est illustrée par deux cas "non marqueurs" extrêmes de la famille B1. Dans ces scénarios, les parts du nucléaire en 2100 sont respectivement de 340 GWe et 4200 GWe, ce qui prouve que l'avenir du nucléaire peut

largement différer selon sa compétitivité par rapport aux énergies renouvelables.

■ Dans le scénario marqueur B2, les capacités du nucléaire atteignent 6400 GWe en 2100. Cela reflète le ralentissement prévu du progrès des énergies renouvelables et un schéma régional de développement qui fait droit à l'énergie nucléaire lorsqu'elle a fait la preuve de sa viabilité.

DIMENSIONS RÉGIONALES DES SCÉNARIOS

Le SRES est structuré suivant quatre régions planétaires. Ces régions sont désignées OECD90 (tous les membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques en 1990), REF (pays d'Europe centrale et orientale plus États nouvellement indépendants de l'ex-Union soviétique), ASIA (tous les pays en développement d'Asie), et ALM (reste du monde).

Les scénarios montrent que le développement du nucléaire peut varier d'une région à l'autre ou dans le monde. Par exemple, la capacité nucléaire prévue en 2100 dans le groupe OECD90 dans les scénarios A1 et A2 est respectivement de 680 GWe et 3300 GWe; dans le groupe ASIA, les projections correspondantes sont de 1400 GWe et 4100 GWe.

Cela indique un transfert important du développement du nucléaire du groupe OECD90 vers le groupe ASIA et, dans une moindre mesure, ALM. Par exemple, dès 2050, les scénarios A1 et A2 projettent tous deux des capacités nucléaires plus importantes dans le groupe ASIA que dans le groupe OECD90.

RÉCAPITULATIF DES TABLEAUX

Pour résumer, les nouveaux scénarios d'émissions du GIEC

font apparaître, pour l'énergie nucléaire, les fourchettes de développement suivantes :

■ La plupart des scénarios supposent que l'énergie nucléaire conserverait son rôle important dans l'approvisionnement énergétique mondial. En 2100, la capacité nucléaire mondiale projetée pour trois des quatre scénarios représentatifs varie entre 3500 GWe et 10600 GWe, en fonction de la mesure dans laquelle l'énergie nucléaire réussit à concurrencer les combustibles fossiles et les énergies renouvelables. On peut comparer ce chiffre aux quelque 350 GWe de capacité nucléaire actuelle.

■ Dans le même temps, certains scénarios montrent qu'une amélioration rapide des énergies renouvelables (par rapport aux techniques nucléaires) peut entraîner une stagnation, voire un déclin du nucléaire.

Dans un tel scénario, la capacité nucléaire totale atteint un maximum de 5500 GWe vers le milieu du siècle pour décliner ensuite à 3500 GWe en 2100. D'autres scénarios indiquent la stagnation des capacités nucléaires au niveau actuel. Ainsi, le SRES confirme que le rôle à long terme de l'énergie nucléaire est très incertain, en particulier du fait de l'incertitude relative à la compétitivité escomptée des différentes techniques énergétiques.

■ Sur le plan régional, les pays d'Asie devraient voir leur consommation d'énergie nucléaire augmenter considérablement; les taux de croissance du nucléaire dans les autres régions sont plus faibles. Contrairement à la situation actuelle, il pourrait exister, en 2050, une capacité nucléaire plus importante en Asie que dans les pays de l'OCDE.

■ Pour que la part du nucléaire dans la production d'électricité soit plus importante, il faudrait

que les centrales nucléaires connaissent des améliorations techniques importantes pour rester compétitives avec les meilleures autres technologies. Une croissance importante exigerait d'améliorer le rendement de l'uranium dans les réacteurs ainsi que les méthodes de gestion des déchets.

Dans la plupart des scénarios, le SRES suppose d'importantes améliorations (variables selon le scénario) des techniques nucléaires par rapport à celles existantes. Cependant, comme pour les techniques non nucléaires, ces changements ont été introduits par le SRES de façon générique sous la forme de réductions des coûts, les solutions spécifiques n'étant pas prises en compte. L'existence de telles solutions serait très importante, de même qu'une attitude positive de la société vis-à-vis de l'énergie nucléaire (ce qui n'a pas été explicitement analysé dans le SRES).

■ Le mandat du SRES lui imposait d'exclure, dans ses scénarios, les politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ces politiques, si elles sont mises en œuvre, pourraient avoir une incidence positive supplémentaire sur les solutions énergétiques non fossiles, y compris l'énergie nucléaire.

Globalement, l'étude du GIEC montre que le futur développement de l'énergie nucléaire ne dépend pas nécessairement de considérations liées aux changements climatiques, et que l'option nucléaire devrait continuer d'occuper une part notable dans le dosage des différentes formes d'énergie quelles que soient les politiques mises en œuvre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit là d'importants messages d'une étude à long terme approfondie couvrant la période allant jusqu'à la fin du XXI^e siècle. □