

Moins de dioxyde de carbone grâce à l'énergie nucléaire

Les études faites montrent que le recours à l'énergie nucléaire contribue à réduire les émissions de CO₂ des centrales thermiques

par
J.F. van de Vate
et L.L. Bennett

Près de 80% du dioxyde de carbone, un des principaux gaz responsables de ce que l'on appelle l'effet de serre, résultent de la production et de la consommation d'énergie. Ce gaz à l'état de trace dans l'atmosphère est aujourd'hui la cause de plus de 60% de la perturbation dite «effet de serre».

La nécessité de limiter les émissions de ce gaz dues à la production d'énergie et autres activités industrielles retient l'attention internationale depuis plusieurs années, de même que le rôle potentiel de l'énergie nucléaire, qui permet de produire de l'électricité sans rejet de CO₂ et s'impose de plus en plus aux systèmes de production d'énergie du monde entier. L'énergie nucléaire est en effet l'une des sources d'énergie qui a contribué notablement, et pourrait contribuer plus encore dans l'avenir, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

En juin 1992, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (UNCED), communément dénommée le «Sommet mondial», s'est réunie à Rio de Janeiro. Nombreux sont ceux qui la considèrent comme la réunion la plus importante du siècle. L'ordre du jour 21, un des principaux éléments des programmes d'action issus de la Conférence, propose une stratégie qui associe l'environnement et le développement afin d'améliorer les conditions de la continuité compromise de cette planète et de ses habitants. Faisant suite à la Conférence de Stockholm de 1972 sur l'environnement, quoique dans un contexte de menaces et de possibilités nouvelles, le Sommet mondial s'est surtout penché sur un problème écologique qui hante de plus en plus les esprits, à savoir le changement climatique. Des deux phénomènes en cause — la raréfaction de l'ozone stratosphérique et l'effet de serre — c'est le dernier qui est le plus intimement lié à un besoin fondamental de l'humanité, l'énergie.

Or, il est surprenant qu'il soit fait si peu de cas de l'énergie nucléaire dans la plupart des documents de cette conférence. L'ordre du jour 21, par exem-

ple, ne parle pas de l'énergie nucléaire dans sa définition des systèmes énergétiques écologiquement sûrs, sains et rentables, notamment les sources d'énergie nouvelles et renouvelables, dont on souhaite une contribution accrue. Le rapport présenté au Sommet mondial par la Commission mondiale des Nations Unies sur l'environnement et le développement est assez critique à l'égard de l'énergie nucléaire et c'est sur lui que l'ordre du jour 21 se fonde en grande partie.

En revanche, le Club de Rome, conscient des problèmes écologiques, a adopté récemment une attitude plus positive dans une de ses publications intitulée «Deuxième rapport au Club de Rome» où il est dit que l'énergie nucléaire doit être nécessairement incluse dans toute politique énergétique limitative de l'effet de serre. La Convention cadre des Nations Unies sur l'évolution climatique — document du Sommet mondial adopté à l'unanimité et signé par 154 pays — ne se prononce pas au sujet des diverses sources d'énergie. Ce document est largement accepté comme base des stratégies énergétiques nationales qui tendent à stabiliser les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre à un niveau qui exclut toute interférence dangereuse d'origine humaine avec le régime climatique. Il s'ensuit que la réduction du taux d'émission de ces gaz est devenue un des principaux facteurs de la planification de l'énergie, au même titre que d'autres facteurs plus traditionnels comme la rentabilité et la sûreté de l'approvisionnement.

De nos jours, des politiques tenant compte de l'environnement et du changement climatique orientent la production de l'énergie dans de nombreuses régions du monde. Le programme de l'AIEA concernant l'évaluation comparative de l'énergie nucléaire et des autres sources d'énergie vise à fournir les moyens et l'information nécessaires à une comparaison exhaustive et objective dans le contexte de la planification énergétique. Par ailleurs, il est difficile, sinon impossible, d'exprimer tous les impacts environnementaux des différentes sources d'énergie en unités communes. Aussi nous bornerons-nous dans cet article à examiner l'effet de serre. Dans ce contexte, nous parlerons du rôle de

M. Bennett est chef de la Section de la planification et des études économiques, Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'AIEA, et M. van de Vate est membre de cette division.

l'énergie nucléaire dans la réduction des émissions de CO₂, comparé à celui d'autres sources d'énergie, ainsi que des besoins futurs en sources d'énergie à faible émission de CO₂.

La leçon du passé

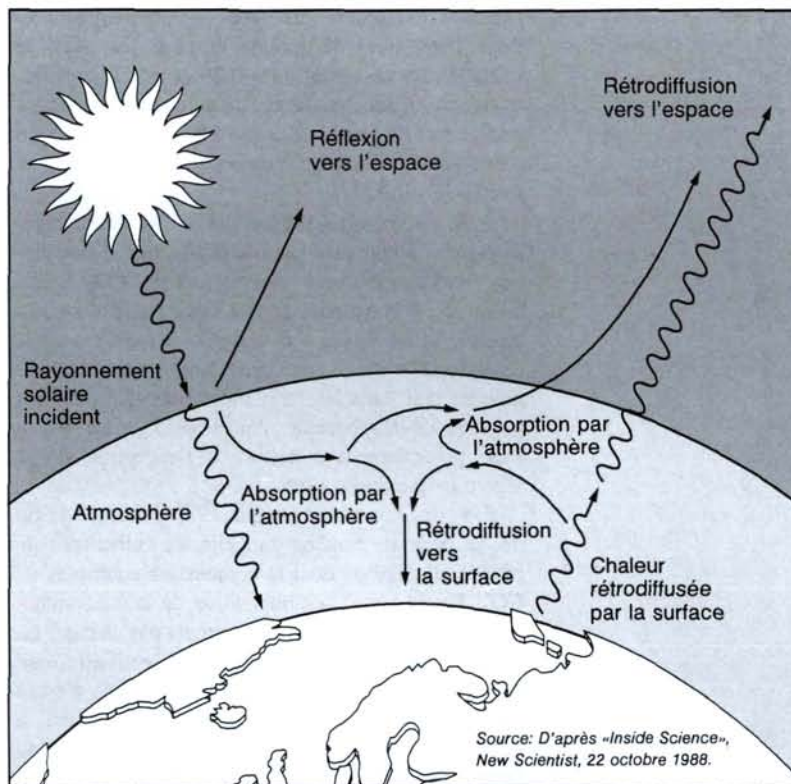
La concentration de CO₂ dans l'atmosphère augmente à raison d'environ 0,4% par an. Cela résulte principalement de l'emploi des combustibles fossiles dont les émissions de CO₂ sont actuellement évaluées, pour le monde entier, à 24 000 mégatonnes par an. L'accroissement annuel dû au secteur de l'énergie est pratiquement constant et de l'ordre de 250 mégatonnes, essentiellement imputables à la croissance de la consommation d'énergie dans les pays en développement. Les pays industriels et les pays en phase de transition ont stabilisé leur taux d'émission dès le milieu des années 70.

Comprendre ce processus de stabilisation peut aider à mettre au point une stratégie énergétique plus douce pour l'environnement. Pour ce faire, il n'est pas inutile de regarder de plus près les émissions de CO₂ par habitant, ce qui élimine le facteur démographique (la croissance démographique des pays en développement est supérieure à celle de l'ensemble du monde). Mis à part les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) où l'on constate une légère diminution des émissions par habitant après 1973, celles-ci ont en général tendance à augmenter (voir les graphiques). Dans l'ex-Union soviétique, l'augmentation est plutôt faible après 1980. En ce qui concerne les pays en développement, on constate une augmentation régulière d'environ 3,5% par an. Remarquer la différence d'un ordre de grandeur de l'émission de CO₂ par habitant entre les pays industriels et les pays en développement, qui s'explique par la différence des niveaux et des modes de vie.

On peut supposer que la stabilisation de l'émission par habitant dans les pays industriels est due à l'adoption de sources d'énergie impliquant des émissions nulles ou faibles. On en trouve l'indice dans la forte augmentation de la part de l'électricité dans la production énergétique des pays industriels depuis le milieu des années 70, associée à l'adoption de l'énergie nucléaire dans plusieurs pays.

On peut aller plus loin dans l'analyse en se fondant sur les variations du facteur d'émission de CO₂, c'est-à-dire la quantité émise par exajoule (EJ, 10¹⁸ joules), lequel permet de comparer différents combustibles fossiles. Pour un pays ou une région déterminée, ce facteur est un indicateur technique de sa contribution à l'effet de serre.

En général, les facteurs d'émission de CO₂ à l'échelle mondiale et régionale diminuent de façon continue et assez régulièrement. Ce sont les pays en développement dont le taux de décroissance annuelle est le plus faible (-0,24 mégatonne de CO₂ par EJ) et c'est dans les pays de l'ancien bloc soviétique que



L'effet de serre

L'atmosphère se comporte comme le vitrage d'une serre et empêche la Terre de se refroidir jusqu'à des températures très inférieures au point de congélation. Les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre augmentent sur l'ensemble de la planète depuis plus d'un siècle, de sorte que l'équilibre entre le rayonnement solaire incident et le rayonnement thermique vers l'espace se trouve perturbé.

La charge radiative imposée à l'atmosphère par les gaz à effet de serre d'origine anthropique n'aurait rien de tragique s'il n'y avait pas en retour un fort effet d'intensification. Ce phénomène est dû à la présence naturelle dans l'atmosphère terrestre d'un gaz à effet de serre très important, la vapeur d'eau. L'humidité de l'air augmente lorsque l'atmosphère s'échauffe, ce qui accroît encore la charge radiative.

Ce processus apparaît comme une sérieuse menace pour l'humanité et l'environnement, non seulement à cause de l'échauffement du globe qui en résulte (certains pensent qu'il sera même bénéfique), mais aussi du fait qu'il pourrait provoquer des inondations, des périodes de sécheresse et des cyclones plus fréquents et plus sérieux que ceux que notre expérience quotidienne nous a fait connaître et comprendre. Depuis peu, les milieux scientifiques du programme sur le climat mondial s'intéressent davantage à ces manifestations météorologiques extrêmes. En résumé, la plupart des spécialistes jugent les raisons suffisantes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier celles que produisent les sources d'énergie.

Nécessité d'un train de mesure. Quelle action faudrait-il envisager pour éviter une aggravation de l'effet de serre et faire cesser l'évolution du climat dont l'homme est la cause? Un intéressant article de Bert Bolin, président du Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat depuis sa création, répond à la question. Dans son intervention de mai 1989 au Groupe de travail III de cet organe chargé des stratégies envisagées, Bolin a montré que seul un train de mesures énergiques est capable de nous épargner une fraction importante des deux degrés d'échauffement de l'atmosphère terrestre prévus pour 2030. Bolin précise dans son étude que, pour éviter ces deux degrés d'échauffement, il faut abolir complètement les rejets de chlorofluorocarbure d'ici l'an 2000, reboiser au moins la moitié des superficies déboisées depuis 1900, réduire la consommation de combustibles fossiles de 0,5% par an et améliorer très sensiblement les rendements au niveau de l'usage final de l'énergie.

l'on note les taux les plus élevés (-0,43 mégatonne). Pour l'ensemble du monde et pour les pays de l'OCDE, les taux sont de -0,29 et -0,33, respectivement. Cette tendance mondiale relativement stable d'amélioration des systèmes de production d'énergie est encourageante en ce qui concerne l'effet de serre.

Pour mieux faire comprendre le rôle des changements de combustible pour la production d'énergie, un facteur spécifique d'émission de CO₂ a été défini: c'est la quantité de CO₂ émis par EJ de combustible brûlé. Jusqu'à la crise du pétrole de 1973, ce facteur s'était amélioré dans l'ensemble du monde, tant dans les pays industriels que dans les pays en développement. Après 1973, toutefois, il s'est pratiquement stabilisé, à l'exception d'une légère baisse après 1985.

Une des raisons en est que 1973 a marqué la fin de la période pendant laquelle on substituait le pétrole au charbon dont la combustion émet plus de CO₂. Par la suite, la composition de la consommation de combustible n'a pratiquement pas changé. La baisse continue du facteur moyen d'émission était due à d'autres causes. A partir de 1973, c'est à l'énergie nucléaire et, dans une moindre mesure, à l'énergie hydraulique que l'on doit l'amélioration du facteur moyen d'émission dans le monde entier. La réduction des émissions de CO₂ grâce à l'énergie nucléaire est passée d'environ 1% en 1973 à près de 7% en 1990, tandis que le recours à l'énergie hydraulique l'a amenée de 6,5% à 8%. Il n'est pas surprenant que ce soit dans les pays bien équipés en nucléaire que l'on constate une nette amélioration des facteurs d'émission, car leur politique énergétique influe peu sur l'effet de serre. Les pays comme la Belgique, la France et la Suède, qui ont mis en œuvre de grands programmes d'équipement nucléaire entre 1965 et 1990, ont appliqué des politiques énergétiques très favorables à cet égard en réduisant leur facteur d'émission de CO₂ d'au moins 1 mégatonne par EJ et par an.

Au cours des dernières décennies, le facteur moyen d'émission pour le monde et pour les Etats-Unis s'est maintenu au niveau de celui correspondant au pétrole, à savoir 75 mégatonnes de CO₂ par EJ. Voilà un témoignage de plus de l'effet réducteur bénéfique de l'énergie nucléaire sur les émissions de CO₂ dans les pays comme la Suède ou la France depuis qu'ils lancèrent leurs programmes nucléaires vers le milieu des années 70. A noter également le rôle important de l'énergie hydraulique en Suède et en Norvège. En outre, les chiffres montrent la stabilité relative des facteurs d'émission de CO₂ dans les pays qui possèdent de vastes ressources énergétiques, tels la Chine (charbon), les Etats-Unis (charbon et pétrole) et la Norvège (énergie hydraulique). Cela est l'indice de la haute priorité accordée à la continuité des approvisionnements, en rapport avec la préservation de l'environnement, par les politiques énergétiques de ces pays au cours des dernières décennies.

La leçon de l'avenir

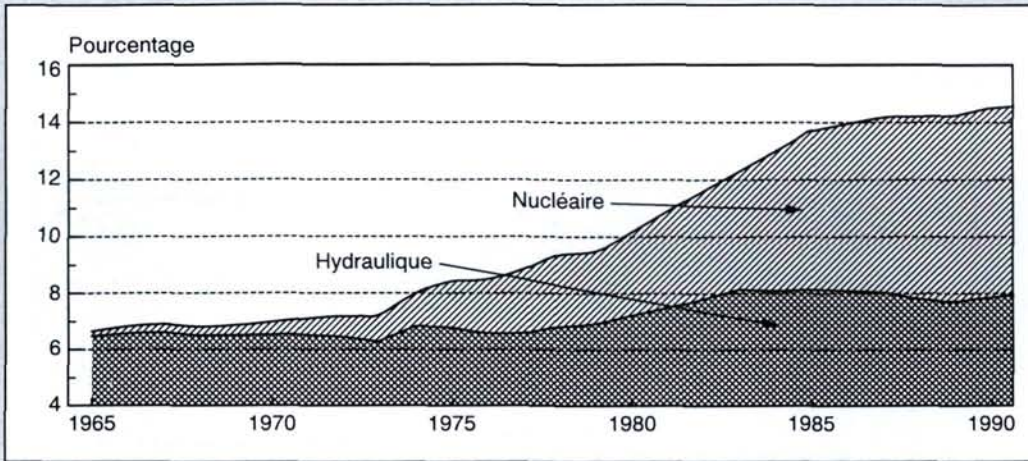
Nombre de scénarios ont été élaborés pour prévoir à long terme les émissions de CO₂ associées à la production d'énergie, dont certains font explicitement état de l'énergie nucléaire. A titre documentaire, nous examinerons ci-après les scénarios mis au point par le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC), l'Institut international d'analyse appliquée de systèmes (IIASA) et le Conseil mondial de l'énergie (CME) (voir les graphiques). Nous parlerons aussi de trois autres cas qui retiennent diverses hypothèses sur la croissance démographique et un développement mondial équitable.

Scénarios IPCC. Le scénario de référence (1a) suppose une population mondiale qui atteindra environ 11 milliards d'habitants en 2100 et une croissance économique moyenne et raisonnable de 2,9% par an jusqu'à 2025 et de 2,3% par la suite. Le gaz naturel et les sources d'énergie renouvelables, notamment l'énergie solaire et la biomasse, qui devraient devenir compétitives, voient augmenter sensiblement leur part de l'énergie totale disponible. Dans ce scénario, les émissions de CO₂ dues à la production d'énergie augmentent modérément.

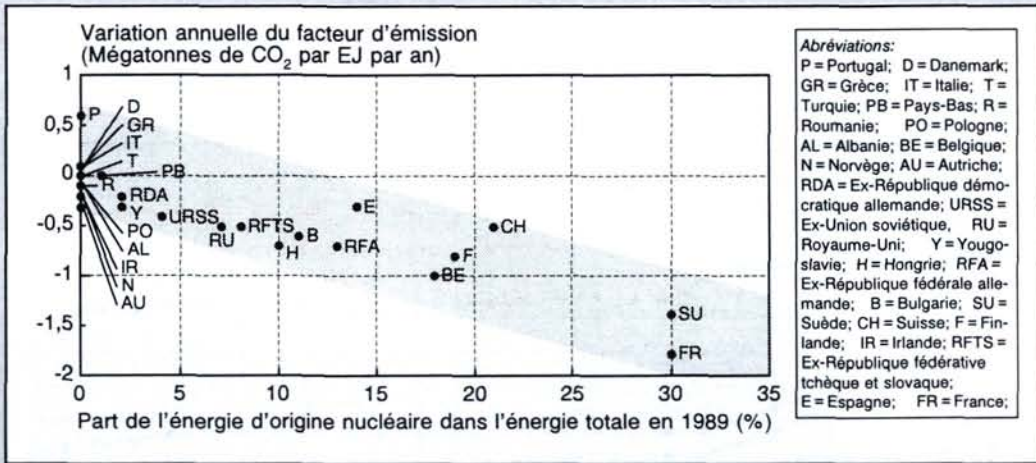
Trois autres scénarios, également de l'IPCC, font d'autres hypothèses. Le scénario 1e suppose la même croissance démographique que le scénario de référence, mais avec une croissance économique plus rapide — 3,5% par an jusqu'à 2025 et 3% par la suite. Il suppose aussi que le gaz naturel évolue de la même façon que dans le scénario de référence et que l'énergie nucléaire aura été progressivement abandonnée pour 2075. De ce fait, les émissions de CO₂ augmentent de façon spectaculaire d'un facteur de plus de quatre entre 1990 et 2100. Les scénarios 1c et 1d supposent une moindre croissance démographique qui mène à 6,4 milliards d'habitants en 2100, de même qu'une croissance économique inférieure à celle du scénario de référence. Le scénario 1c qui postule la plus faible croissance économique et un important développement du nucléaire aboutit à des émissions de CO₂ bien inférieures à long terme; celles-ci commencent même à diminuer à partir de 2025. Le scénario 1d prévoit une stabilisation des émissions au cours du prochain siècle, car il postule une croissance économique et démographique modérée ainsi qu'un recours assez important aux sources d'énergie renouvelables et, dans une moindre mesure, à l'énergie nucléaire. Les scénarios 1e et 1d font une corrélation entre de faibles émissions de CO₂ et une forte proportion de nucléaire parmi les combustibles, montrant ainsi l'intérêt de l'option nucléaire dans les stratégies énergétiques à long terme.

Scénario CME. La Commission du CME a fait des projections de la demande d'énergie jusqu'à l'horizon 2020, supposant une croissance démographique plutôt faible, de 1,4% par an — jusqu'à cette année-là. Le cas de référence CME-89 suppose la

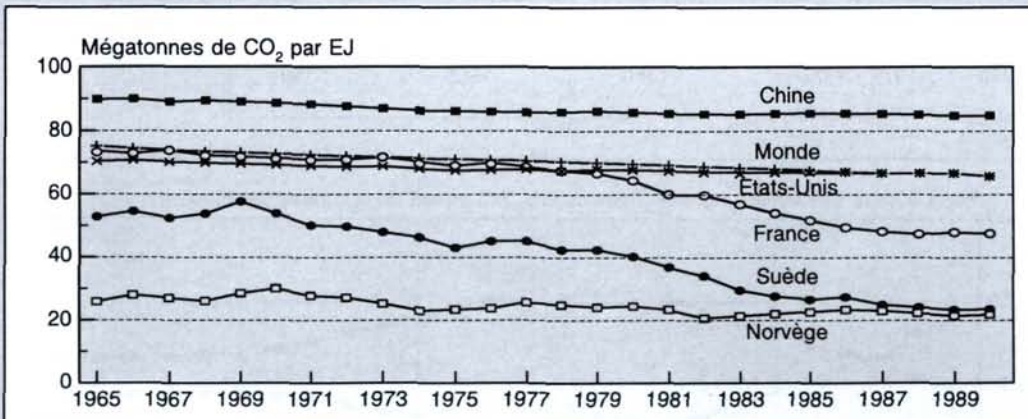
Pourcentage de CO₂ évité grâce à l'énergie nucléaire et à l'énergie hydraulique



L'énergie nucléaire et les émissions de CO₂

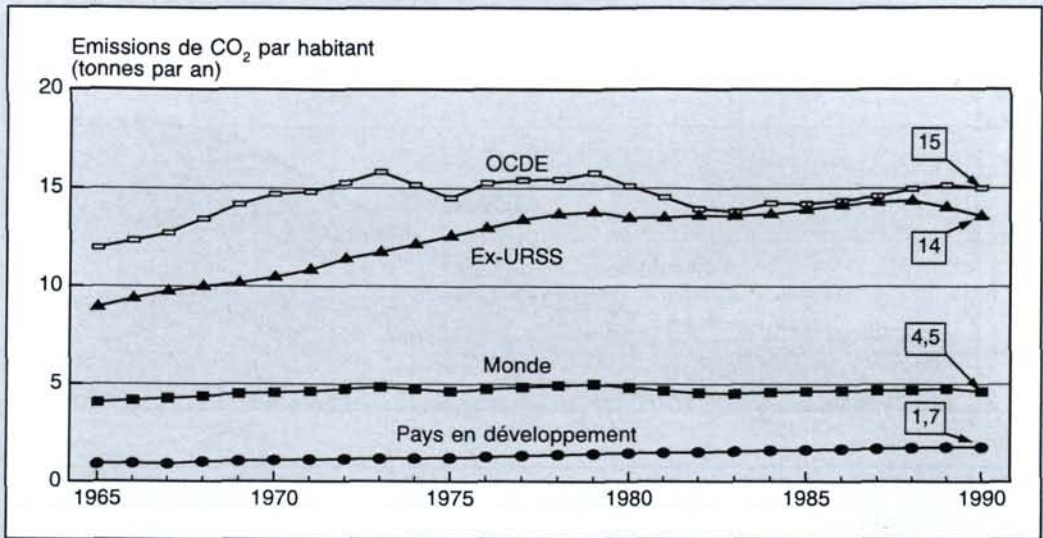


Emissions de CO₂ dans quelques pays et part des combustibles fossiles dans l'énergie

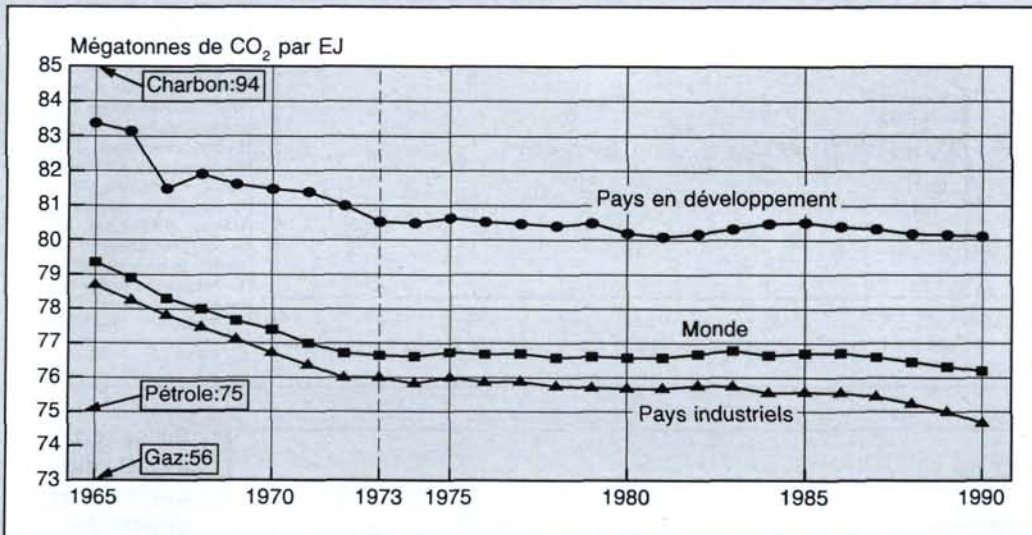


	Combustible fossile (%)	Autres sources d'énergie (%)		
		Nucléaire	Hydraulique	Total
Chine	95	0	5	5
Etats-Unis	88	8	4	12
France	65	30	5	35
Norvège	29	0	71	71
Suède	34	31	35	66
Monde	87	6	7	13

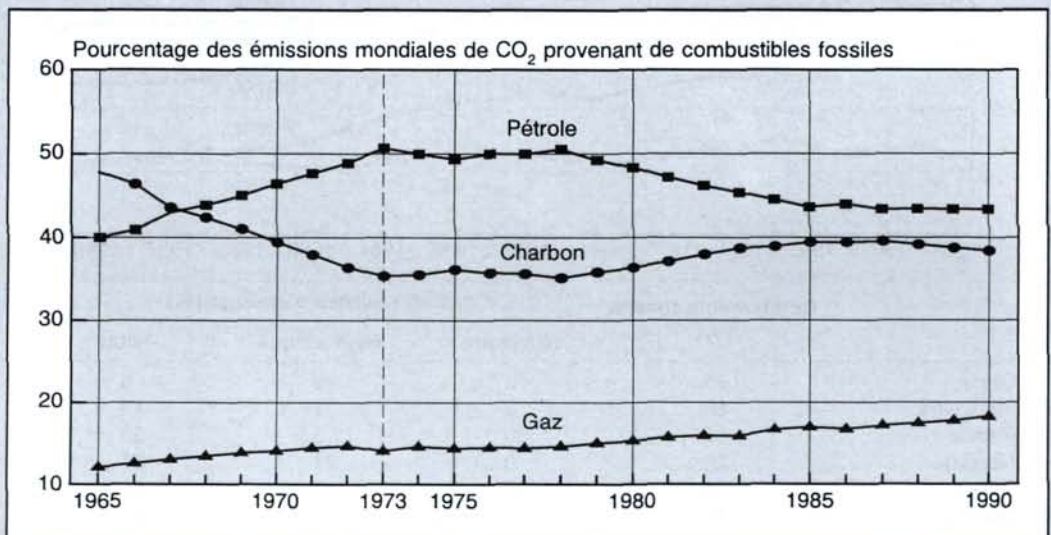
Emissions de CO₂ par habitant et par groupes de pays



Variation des émissions de CO₂, 1965-1990



Pourcentage des émissions de CO₂ provenant des combustibles fossiles

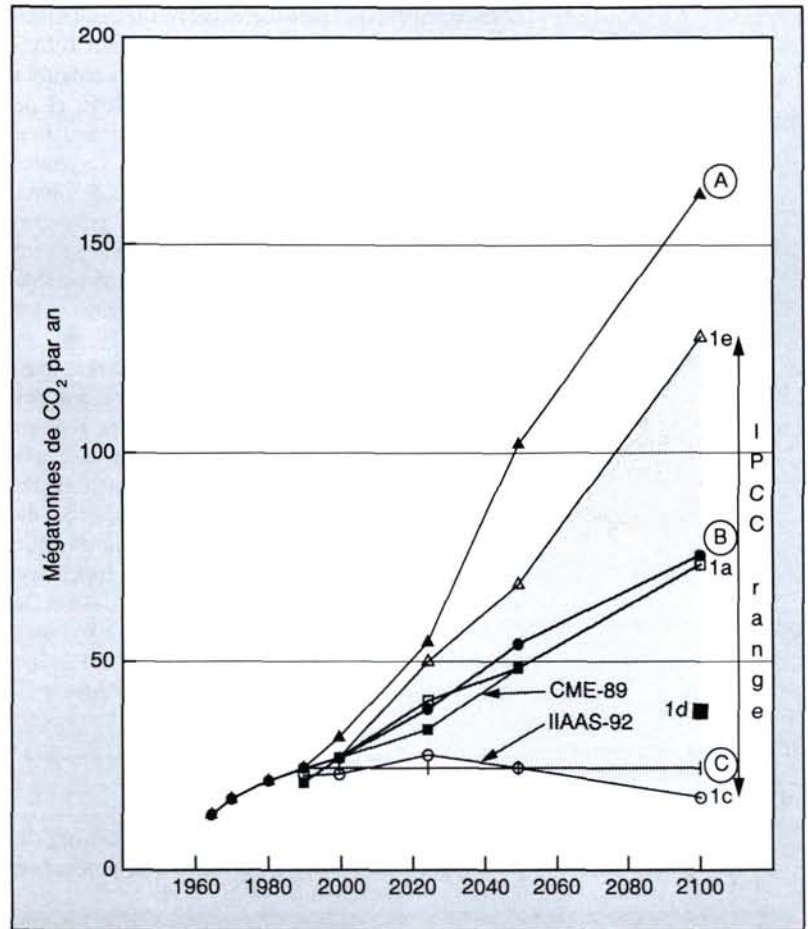


continuation de la croissance économique aux taux atteints pendant la seconde moitié des années 80 et une réduction de la concentration d'énergie plus rapide que dans le passé. L'énergie nucléaire augmenterait d'environ 50% sa part de l'énergie primaire mondiale entre 1990 et 2020. Cette hypothèse a son origine dans l'opinion de la Commission du CME selon laquelle, dans l'optique de la durabilité, l'option nucléaire doit être réévaluée compte tenu des problèmes écologiques et de la sécurité des approvisionnements.

Scénario IIASA. Le scénario IIASA-92, qui suppose qu'une part importante des ressources énergétiques revient au nucléaire, vient à l'appui de la théorie selon laquelle les technologies sans émission de CO₂ doivent contribuer substantiellement à l'offre d'énergie lorsque la politique suivie vise à ménager l'effet de serre.

Autres possibilités. Trois autres cas ont été étudiés par l'AIEA à partir des idées énoncées dans la Convention cadre sur l'évolution du climat qui insiste sur la nécessité d'un équilibre mondial entre pays industriels et pays en développement en tant que concept de base d'un développement durable. En d'autres termes, la résorption de l'écart économique entre les pays riches et les pays pauvres devrait être un des piliers d'une politique climatologique mondiale. Cela suppose aussi dans l'avenir un meilleur équilibrage, sur le plan régional, de la consommation d'énergie par habitant et des émissions de CO₂. C'est également là la condition *sine qua non* d'une collaboration pleine et entière entre pays en développement pour une politique mondiale de préservation durable de l'environnement. Actuellement, la consommation moyenne d'énergie par habitant et les émissions associées de gaz à effet de serre par habitant sont, dans les pays industriels, d'un ordre de grandeur supérieur à ce qu'ils sont dans les pays en développement. En conséquence, il se peut que la demande mondiale d'énergie augmente considérablement au cours du prochain siècle du fait de l'égalisation et si, comme on s'y attend, la population mondiale doit pratiquement tripler par rapport à aujourd'hui.

Dans les trois cas étudiés, on analyse différents niveaux d'équilibre censés d'être atteints au cours du siècle prochain, afin d'explicitier les contraintes qu'implique une politique énergétique mondiale durable visant à réduire l'écart économique dû aux modes de vie différents entre pays en développement et pays industriels. Dans les trois cas, on suppose que l'équilibre mondial des émissions de CO₂ par habitant est atteint à raison d'une variation annuelle de trois pour cent du rapport de ces émissions entre pays industriels et pays en développement, et que la population mondiale atteindra 12 milliards d'habitants en 2075, ce qui est conforme aux prévisions du Fonds des Nations Unies pour la population. Par souci de clarté, il n'est postulé aucune modification de proportion des différents combustibles ni aucune amélioration des rendements.



Voici les trois cas envisagés :

Cas A. Il suppose que les pays industriels stabilisent leur consommation d'énergie et leur émission de CO₂ par habitant au niveau de 1990 et que les pays en développement les rattrapent en 50 ans. Le résultat n'est pas pour surprendre : un énorme rejet mondial de CO₂ atteignant 150 mégatonnes par an, soit près de six fois le taux annuel actuel de 24 mégatonnes.

Cas B. Il suppose que la consommation égalisée d'énergie par habitant dans le monde en 2050 sera quatre fois supérieure à ce qu'elle est actuellement dans les pays en développement et 2,5 fois inférieure à celles des pays industriels aujourd'hui. Cela sous-entendrait le taux d'investissement maximal réalisable en faveur du développement. Le taux final d'émissions de CO₂ qui en résulterait — environ 75 mégatonnes par an — est encore très élevé, quoique comparable à celui que prévoient les scénarios de l'IPCC.

Cas C. Il s'agit d'un cas normatif restrictif car on suppose un taux mondial d'émissions de CO₂ stabilisé au niveau de 1990. L'équilibre n'est atteint qu'à la fin du siècle prochain. Cela signifie en fait que l'objectif mondial fixé à Toronto (réduction de 20% des niveaux de 1988 d'ici à 2005) n'est même pas atteint. Ce cas est néanmoins plus ou moins analogue au scénario 1c de l'IPCC qui suppose un large

Scénarios des émissions de CO₂ dues à la production d'énergie

développement du nucléaire et prévoit les émissions de CO₂ les plus faibles de tous les scénarios IPCC. Ici, il est implicite que les pays industriels réduiront leurs émissions de CO₂ de 70% pour 2050 et de 80% pour 2100, afin de compenser l'augmentation des émissions des pays en développement. La réduction à réaliser serait d'environ 100 millions de tonnes de CO₂ par an. L'expansion de la puissance installée nucléaire que cela sous-entend est nettement réalisable, car elle représente un rythme comparable à celui de l'équipement nucléaire pendant les premières années 80.

Dans leur ensemble, les trois cas montrent que, sans intervention énergétique, les taux d'émission des gaz à effet de serre tel CO₂ atteindront des niveaux exceptionnellement élevés, principalement à cause de la croissance démographique et de l'amélioration des modes de vie dans les pays en développement du fait de l'égalisation. En outre, ils impliquent que l'énergie nucléaire est nécessaire pour mettre en œuvre une stratégie mondiale visant à freiner le changement climatique, ce qui imposera à son tour aux pays en développement de s'engager davantage dans la voie de l'équipement nucléo-électrique.

Des engagements plus fermes

Les scénarios qui prévoient explicitement la participation de l'énergie nucléaire à la production

d'énergie montrent clairement que les émissions mondiales de CO₂ peuvent être très sensiblement réduites si le nucléaire peut pénétrer davantage le marché de l'électricité. Il faut donc prendre une série de mesures, dont la promotion du nucléaire et l'amélioration générale des rendements énergétiques, pour ramener les émissions de gaz à effet de serre à un niveau auquel il ne peut y avoir aucune nouvelle perturbation anthropique de l'atmosphère par effet de serre, avec son corollaire, le changement climatique. Cela exige un effort considérable à l'échelle mondiale de la part tant des pays industriels que des pays en développement, ces derniers nécessitant une aide substantielle sous forme de capitaux, de compétences et de matériel, le tout visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Pour commencer, il faudrait toutefois que tous les pays industriels montrent qu'ils prennent au sérieux le problème de l'effet de serre et réduisent leur part, actuellement la plus importante, des émissions mondiales des gaz qui en sont responsables. A ce propos, les pays enclins à réduire progressivement leur recours à l'énergie nucléaire devront se convaincre qu'il leur sera de ce fait difficile, sinon impossible, de respecter l'engagement qu'ils ont pris de s'efforcer au moins de stabiliser les émissions de CO₂, sans même parler d'atteindre l'objectif mondial de Toronto.

L'électricité consommée par Chicago et d'autres villes du monde est en grande partie d'origine nucléaire.
(Photo: ENEL)

