

Traitement des gaz de combustion par faisceaux d'électrons: assainir l'air

L'adoption de normes de protection de l'environnement plus sévères rend nécessaire un système permettant d'éliminer simultanément le SO₂ et les NO_x dans les gaz de combustion

On a beaucoup fait au cours des cinq dernières années pour démontrer la viabilité économique et environnementale d'une technologie d'irradiation qui pourrait se révéler opportune — le traitement des gaz de combustion par faisceaux d'électrons pour en éliminer les polluants.

- Des études ont montré que le transport atmosphérique de polluants tels que le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NO_x) avait beaucoup plus d'ampleur qu'on ne le pensait.
- Etant donné que l'on considère que les émissions de NO_x sont autant responsables des pluies acides que les émissions de SO₂, on a entrepris de mettre au point des systèmes capables d'éliminer simultanément ces deux gaz.
- Comme de nombreux pays ont adopté une réglementation plus sévère sur la qualité de l'air, des méthodes d'élimination plus efficaces seront nécessaires.
- L'utilisation des sous-produits des systèmes d'élimination se développera à l'avenir pour résoudre un autre problème de déchets, celui des boues résultant de l'exploitation de nombreux systèmes.
- Le traitement par faisceaux d'électrons fait l'objet de nombreux essais ces trois dernières années, et de nombreuses améliorations ont été apportées pour ce qui est de sa fiabilité et des besoins en énergie.

Il est aisé de comprendre pourquoi bon nombre de pays, conscients des processus de transport et de transformation pouvant survenir dans l'atmosphère (voir figure, page suivante), commencent à envisager des mesures plus strictes pour faire en sorte que le SO₂ et les NO_x contenus dans les gaz de combustion soient éliminés à la source. Les gaz de combustion émis par une chaudière peuvent être transportés sur des kilomètres. Ils subissent en chemin toute une série de transformations, le SO₂ et les NO_x devenant respectivement de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique

qui se déposent ensuite sous forme humide avec la pluie, la neige fondue et la neige. Actuellement, les polluants d'origine se déposent sous forme sèche à de grandes distances de la source de rejet.

Des réglementations plus sévères en matière de protection de l'environnement sont entrées en vigueur en Europe, au Japon, aux Etats-Unis, en Asie et dans plusieurs pays d'Amérique latine. On espère qu'elles seront renforcées à l'avenir, compte tenu des préoccupations que continue de susciter la pollution par le soufre et l'azote.

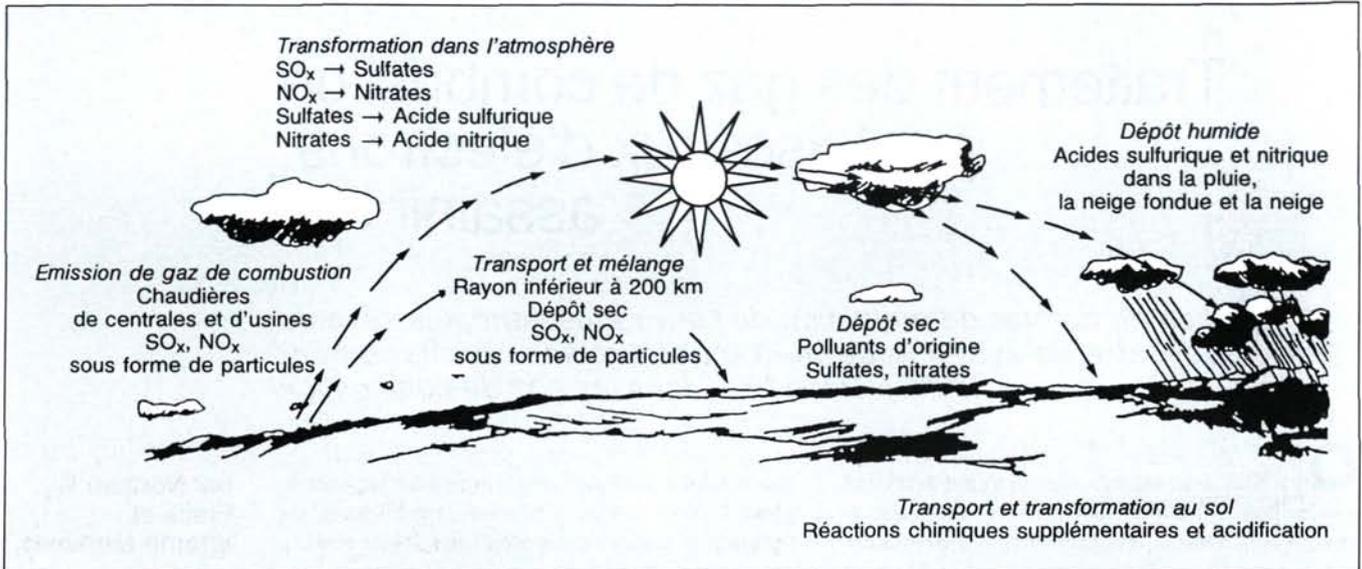
On prévoit également que des normes plus strictes seront requises dans le cas des NO_x pour répondre aux impératifs de «régulation de l'ozone». Certaines des réglementations qui vont être adoptées reflètent déjà cette tendance. Des systèmes extrêmement efficaces d'élimination simultanée du SO₂ et des NO_x seront alors nécessaires.

Actuellement, les techniques classiques permettant de réduire les émissions de SO₂ et NO_x sont utilisées essentiellement pour les charbons à faible teneur en soufre brûlés au Japon et en Europe. Il s'agit des systèmes de désulfuration des gaz de combustion par voie humide (DGC) et de réduction

par Norman W. Frank et Vitomir Markovic



M. Frank est président de l'Ebara Environmental Corporation de Greensburg, Pennsylvanie (Etats-Unis), et M. Markovic est membre de la Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA.



Processus de transport atmosphérique

catalytique sélective (RCS). Ce dernier est le plus employé pour éliminer les NO_x , mais son applicabilité au charbon à forte teneur en soufre reste à démontrer. Les systèmes DGC et RCS font appel à deux technologies différentes, intégrées dans un processus de réduction de la pollution au niveau de la chaudière. Il importe donc que des systèmes faisant appel à une seule technologie soient mis au point pour que le SO_2 et les NO_x contenus dans les charbons et les hydrocarbures à faible teneur en soufre puissent être éliminés de façon simultanée, comme cela sera exigé à l'avenir. Le traitement par faisceaux d'électrons est tout à fait indiqué car ce procédé fait appel à une seule et même technologie de base pour éliminer *simultanément* ces deux polluants (voir diagramme). Des installations de démonstration au Japon, en Allemagne, aux Etats-Unis et en Pologne ont montré que le taux global d'élimination excédait généralement 95% pour le SO_2 et atteignait 80 à 85% pour les NO_x . Ces taux répondent aux normes réglementaires les plus strictes.

L'élimination des NO_x exige plus d'énergie que l'élimination du SO_2 . C'est pourquoi de nombreuses études ont été effectuées sur le recours à une technique dite de l'«irradiation de zone» pour réduire la quantité d'énergie requise, et des essais dans ce sens ont été et continuent d'être menés. Les résultats montrent qu'on peut économiser de 20 à 30% d'énergie en ayant recours à l'irradiation de zone, ce qui rendrait le système extrêmement compétitif par rapport à d'autres technologies combinées. Les travaux en vue de réduire au minimum les besoins en énergie du système vont se poursuivre.

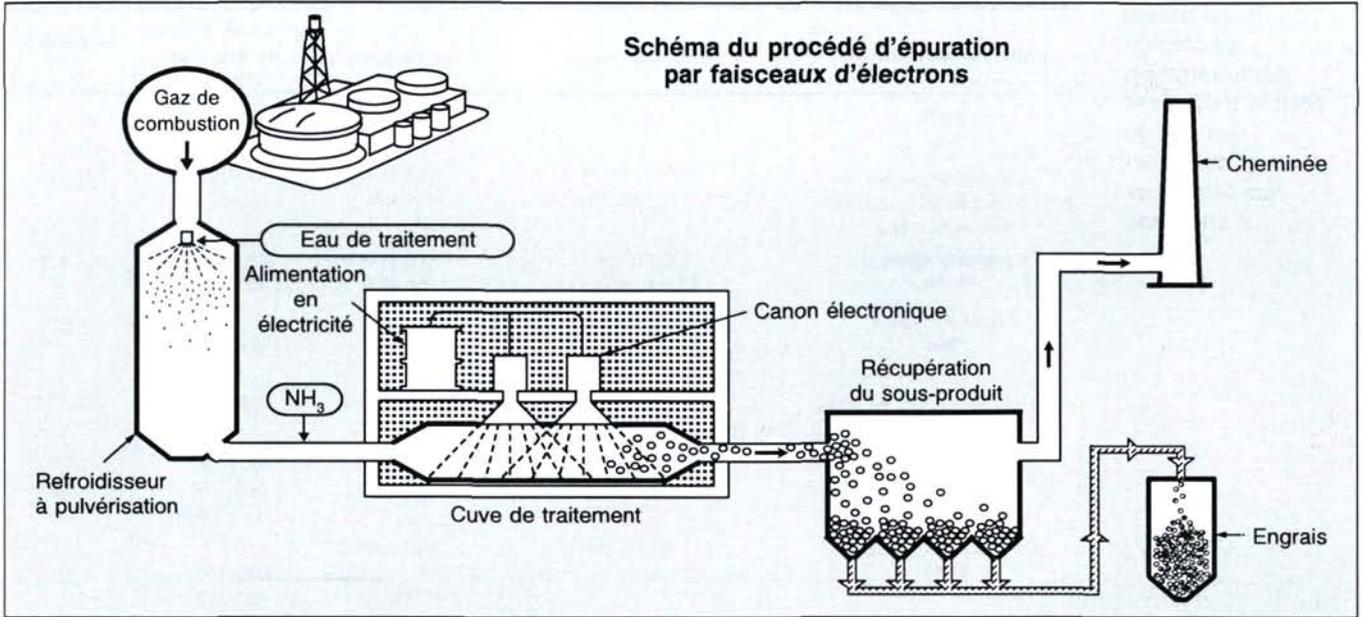
Des installations d'essai ou de démonstration ont été construites dans plusieurs pays, et quatre installations d'essai demeurent en service. Elles sont exploitées par l'Institut de recherches sur l'énergie atomique du Japon (JAERI) de Takasaki (Japon), l'Institut de chimie et de technologie nucléaires de Varsovie, le Centre de recherches nucléaires

de Karlsruhe (Allemagne), et la société Ebara de Fujisawa (Japon). Ces installations d'essais travaillent sur des programmes visant à améliorer le procédé et à en réduire les besoins en énergie.

De nombreux progrès importants ont été accomplis ces dernières années dans les différentes installations de recherche et installations pilotes:

- Les bilans massiques de l'azote et du soufre ont été déterminés et il a été établi qu'environ 22% de l'azote est rejeté sous la forme de N_2O ;
- Différentes configurations de conduites ont été étudiées et essayées, si bien que l'on peut choisir celles qui conviennent à la situation;
- L'irradiation de zone a été essayée et il a été établi que cette technique permet de réduire sensiblement la consommation d'énergie;
- Différentes méthodes pour éviter l'accumulation de sous-produits et l'engorgement des conduites ont été analysées et mises à l'essai afin de permettre l'exploitation de longue durée du procédé;
- La teneur en NO_x des gaz de combustion a été contrôlée et s'est révélée faible;
- Les essais portant sur l'élimination des composés organiques volatils se poursuivent;
- Les essais portant sur les gaz d'incinération se poursuivent; ils fournissent des informations précieuses sur l'élimination d'autres polluants tels que le chlorure d'hydrogène (HCl);
- Selon un rapport récent publié aux Etats-Unis par l'Institut de recherches sur l'énergie électrique (EPRI), le traitement par faisceaux d'électrons est l'un des systèmes qu'il est envisagé d'utiliser à l'avenir pour l'élimination simultanée du SO_2 et des NO_x .
- Les accélérateurs d'électrons actuellement sur le marché sont devenus plus puissants (300 à 400 kilowatts) et sont opérationnels immédiatement avec un degré de fiabilité satisfaisant;
- L'Agence nucléaire du Ministère de la défense des Etats-Unis est en train de mettre au point un

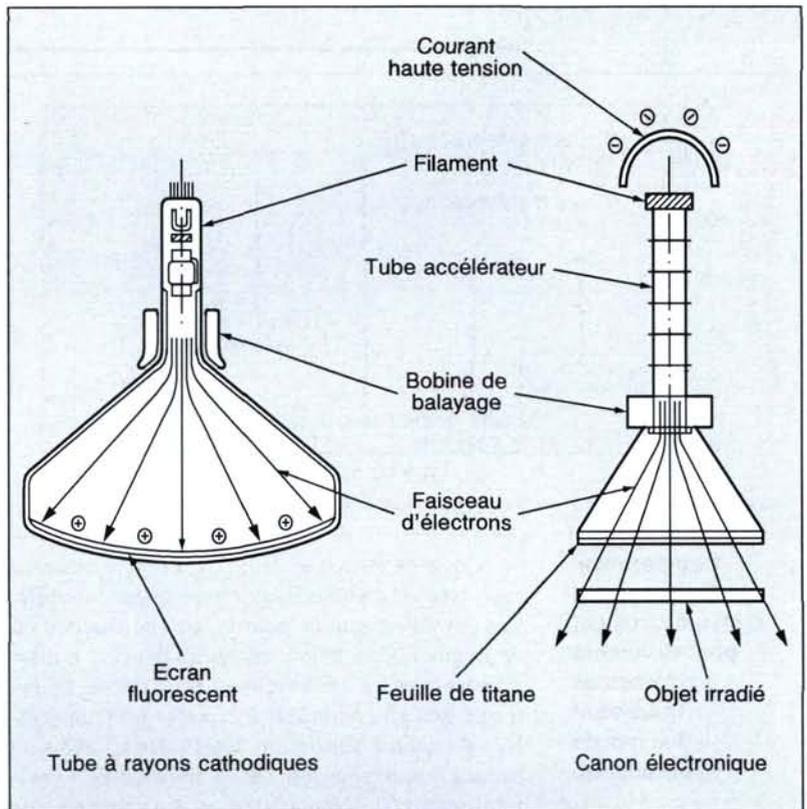
Schéma du procédé d'épuration par faisceaux d'électrons



Procédé d'épuration des gaz de combustion par faisceaux d'électrons

Il s'agit en fait d'un procédé d'épuration à sec permettant d'éliminer simultanément deux polluants — le SO₂ et les NO_x — des gaz de combustion. Avant d'entrer dans le refroidisseur à pulvérisation, le gaz de combustion est débarrassé des cendres volantes par une technique courante. Puis il traverse le refroidisseur à pulvérisation où sa température est abaissée et son hygrométrie est accrue par l'eau de traitement. Il traverse ensuite la cuve de traitement où il est irradié par des faisceaux d'électrons de grande énergie en présence d'une quantité presque stoechiométrique d'ammoniac qui a été ajoutée avant son passage dans la zone d'irradiation. Le SO₂ et les NO_x sont transformés respectivement en acide sulfurique et en acide nitrique, puis en sulfate et en sulfate-nitrate d'ammonium qui sont alors récupérés au moyen d'un précipitateur électrostatique. Le sous-produit, un engrais, peut être employé à des fins agricoles. Les gaz épurés sont ensuite rejetés dans l'atmosphère.

A droite : L'accélérateur qui produit le faisceau d'électrons est un dispositif extrêmement courant dont un modèle — le téléviseur — est utilisé dans le monde entier. L'accélérateur est simplement un tube à rayons cathodiques plus puissants.



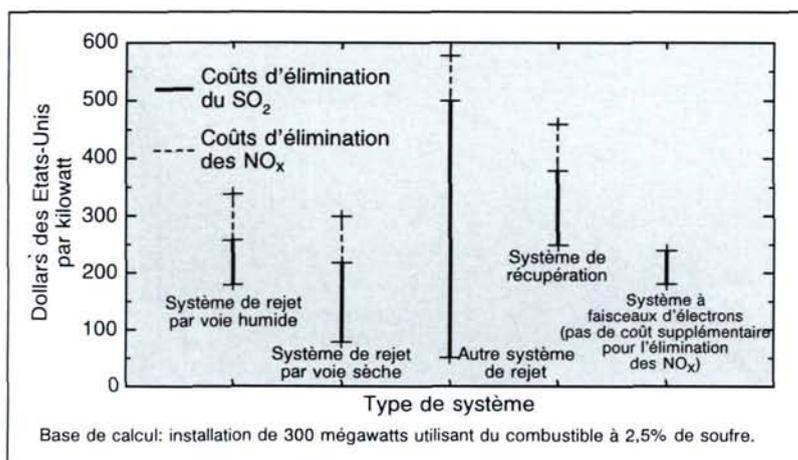
accélérateur d'une puissance comprise entre 0,8 et 1,8 mégawatt qui sera utilisé dans la lutte contre la pollution atmosphérique.

L'aspect économique du procédé a été étudié pour divers types de combustibles ayant différentes teneurs en SO₂ et NO_x. On compte que les coûts d'installation du système seront de l'ordre de 200 dollars des Etats-Unis par kilowatt. Le tableau sur la comparaison des coûts montre que le traitement par faisceaux d'élec-

trons est compétitif par rapport à n'importe lequel des systèmes DGC classiques actuellement utilisés pour éliminer le SO₂. Si l'on prend en compte le coût d'un système RCS d'extraction des NO_x, soit environ 80 dollars par kilowatt, on s'aperçoit que, compte tenu de ses coûts d'installation, le système d'épuration par faisceaux d'électrons est l'un des systèmes les plus économiques à installer et à exploiter dans une centrale électrique (voir graphique, page 10).

Installations pilotes de démonstration pour le traitement des gaz de combustion par faisceaux d'électrons

Etablissement/Année	Débit volumique	Accélérateur	Teneur en SO ₂ /NO _x du gaz brut (ppm)	Température (°C)
JAERI 1981	900 l/h	1,5 MeV 20 MA	1000/5000	80-150
Institut de chimie et de technologie nucléaires, Varsovie, 1989	400 m ³ /h Combustion du mazout	775 keV 5,4 kW	0-1200 0-400	60-150
Karlsruhe Agate II 1989	1000 m ³ /h Pétrole brut	500 keV 50 kW	400-1000 300-1000	60-120
Ebara Fujisawa 1991	1500 m ³ /h Gaz de combustion du mazout et gaz d'incinération	500 keV 15 kW	0-1000 0-200	65
Centrale électrique de CTN Kaweczyn 1992	20 000 m ³ /h Gaz de combustion du charbon	500-700 keV 2-50 kW	200-600 250	60-120
NKK-JAERI Matsudo City 1992	Gaz d'incinération 1000 m ³ /h	900 keV 15 kW	SO ₂ -100 NO _x -100 HCL-1000	150
Ebara-JAERI Chubu 1992	12 000 m ³ /h Gaz de combustion du charbon	800 keV 36 kW x 3 têtes (= 108 kW)	800-1000 150-300	65
Ebara-Tokyo-EPA 1992	Gaz d'échappement d'automobiles 50 000 m ³ /h	500 keV 12,5 kW x 2 têtes (= 25 kW)	NO _x 0-5	ambiante (20)



Comparaison des coûts d'investissement pour différents systèmes de traitement des gaz de combustion

Qui plus est, ce système s'est révélé très efficace avec les combustibles à forte teneur en soufre. Les pays disposant de pétrole brut, de charbon ou de lignite à forte teneur en soufre peuvent utiliser efficacement ce système pour produire de l'électricité tout en continuant à exporter les combustibles de qualité supérieure. Cela pourrait avoir un impact non négligeable sur la situation de l'environnement et de l'économie d'un certain nombre de pays. On sait déjà que plus la teneur en SO₂ est élevée plus le traitement par faisceaux d'électrons devient rentable pour éliminer le SO₂ et les NO_x contenus dans les gaz rejetés dans l'atmosphère.

Les accélérateurs d'électrons dont la fiabilité et le rendement se sont améliorés au fil des ans sont largement utilisés à l'heure actuelle pour maintes autres applications de l'irradiation. La puissance des accélérateurs utilisés pour ces applications peut aller jusqu'à 400 kW. On prévoit qu'un accé-

lérateur de type transformateur classique d'environ 800 kW sera disponible à l'avenir. Parallèlement, on est en train de mettre au point des accélérateurs à impulsions, dont la puissance pourra atteindre environ 2 mégawatts. Ce type d'accélérateur présenterait l'avantage d'être moins volumineux et d'avoir une conception modulaire, ce qui contribuerait à réduire les coûts de construction de l'installation et du dispositif de protection.

Le recours aux accélérateurs pour les techniques de radiotraitement telles que l'épuration des gaz de combustion est fiable et simple. Les systèmes sont faciles à installer, à utiliser et à surveiller, et ne présentent aucun danger pour les opérateurs et l'environnement. Aucune radioactivité n'est engendrée par le traitement et aucune activité résiduelle ne subsiste après l'opération.

En raison de l'intérêt croissant que suscitent la protection et la remise en état de l'environnement, le procédé d'épuration des gaz de combustion par faisceaux d'électrons retient l'attention de la communauté internationale car il présente de nombreux avantages sur les systèmes classiques et constitue une technique d'avenir. De plus, au lieu d'impliquer des déchets qu'il faudrait encore éliminer, les polluants sont transformés en engrais utilisables.

Le procédé est actuellement opérationnel pour l'élimination du SO₂ et des NO_x contenus dans les gaz de combustion. On s'attend à ce que son emploi se généralise dans les années à venir. Les programmes de recherche-développement en cours se traduisent par de nombreuses améliorations et innovations concernant non seulement le traitement des gaz de combustion mais aussi d'autres applications intéressant l'environnement.