

Traitement des gaz de combustion par faisceau d'électrons

Les rayonnements contribuent à la protection de l'environnement

par Vitomir Markovic

La consommation croissante de charbon par les centrales électriques et l'industrie en général crée de sérieux problèmes pour l'environnement, car elle produit des gaz toxiques, notamment de l'anhydride sulfureux (SO_2) et des oxydes d'azote (NO_x), qui sont rejetés dans l'atmosphère. Les effets immédiats et différés des «pluies acides» sur le milieu ambiant se font sentir sur de vastes étendues de territoire et sont la cause de difficultés, voire de différends, sur le plan international.

Les normes et réglementations nationales se font de plus en plus sévères à mesure que l'on se préoccupe davantage de la protection de l'environnement et que la communauté internationale insiste pour que l'on réduise et élimine cette pollution aux conséquences catastrophiques. Certains pays consacrent des sommes considérables à l'étude de technologies permettant de limiter la contamination de l'air par les effluents gazeux.

Une technique toute nouvelle de traitement par faisceau d'électrons s'est avérée efficace:

- pour améliorer la qualité de l'air et éliminer les effets des pluies acides par réduction des rejets de SO_2/NO_x en une seule opération;
- pour transformer les composants toxiques des effluents gazeux en produits ayant une valeur marchande, tels les engrais et les amendements.

M. Markovic est membre de la Section des applications industrielles et de la chimie, Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA. Son article reprend en grande partie les résultats des travaux d'une réunion de consultants sur le traitement des effluents gazeux par faisceau d'électrons organisée par l'AIEA à Karlsruhe (République fédérale d'Allemagne) du 27 au 29 octobre 1986.

La technique de l'irradiation est fiable et simple à mettre en œuvre et à surveiller et ne présente aucun danger pour les opérateurs et l'environnement. *Aucune radioactivité* n'est engendrée par le traitement et *aucune radioactivité résiduelle* ne subsiste après l'opération.

Procédés classiques d'élimination de SO_2 et NO_x

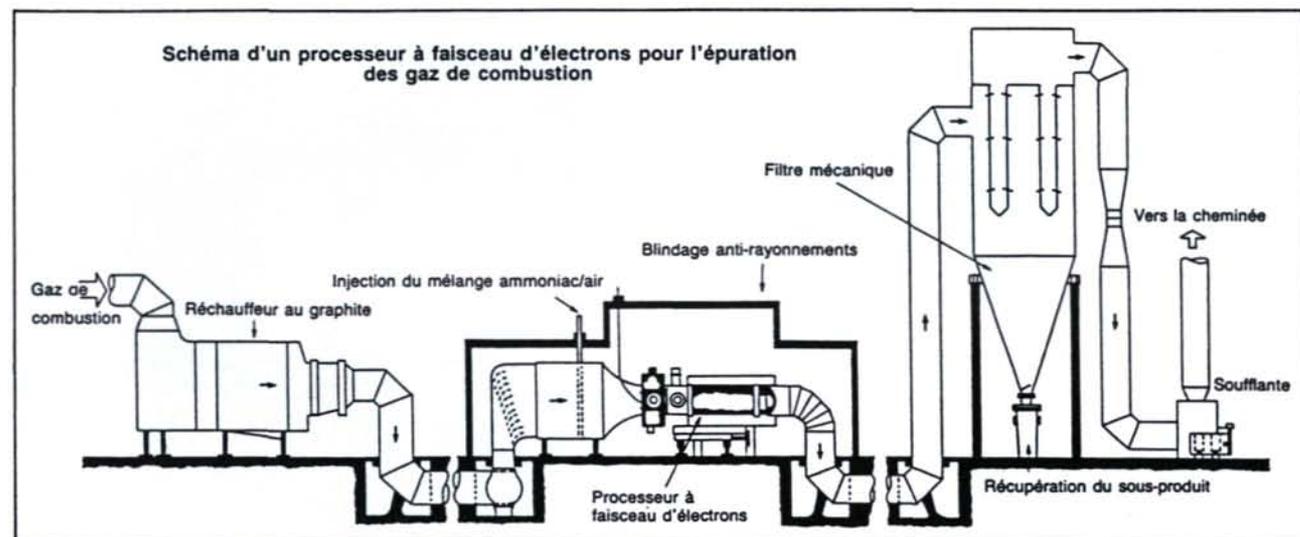
Les épurateurs utilisés pour extraire SO_2 des effluents gazeux ont un bon rendement, mais les procédés par voie sèche, semi-humide ou à la chaux donnent des sous-produits sans valeur marchande qui posent à leur tour des problèmes d'élimination. En revanche, le traitement par voie humide à la chaux avec oxydation forcée produit du gypse dont la valeur marchande est certaine mais dont le marché reste à déterminer.

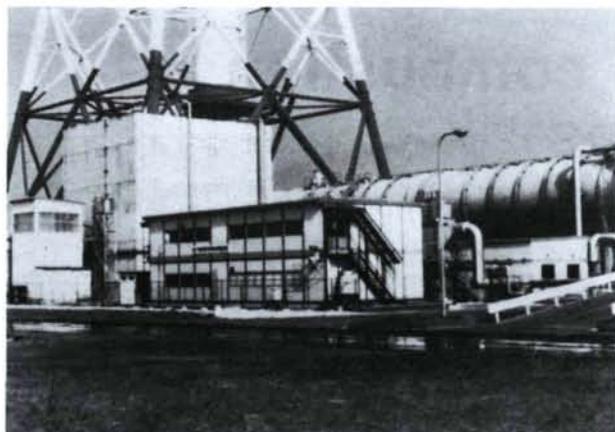
L'extraction des oxydes d'azote se fait par un autre procédé, la réduction catalytique sélective, dans lequel on utilise l'ammoniac comme réactif pour transformer ces oxydes en azote atmosphérique.

Aucun procédé chimique fiable n'a encore été mis au point pour extraire à la fois SO_2 et NO_x en une seule opération.

Traitement des effluents gazeux par irradiation

Les rayonnements de grande énergie ionisent et excitent les molécules et les atomes et engendrent des radicaux libres très réactifs sous forme d'ions et de molécules à l'état excité. Ceux-ci réagissent entre eux en





Installation pilote de radiotraitement des gaz d'un four de frittage de l'Association japonaise pour la recherche sur l'extraction des oxydes d'azote dans l'industrie sidérurgique.

présence d'oxygène et d'eau, ou encore avec un composé chimique spécialement introduit dans le système à cette fin, pour former des précipités que l'on peut recueillir. Ces procédés sont incorporés à l'épurateur de gaz à faisceau d'électrons réalisé pour la première fois par la Ebara Manufacturing Corporation du Japon. Des essais ont d'abord été faits en laboratoire entre 1970 et 1974, puis dans une installation pilote en 1977-1978, au début par charges successives et, par la suite, en continu. L'installation pilote, d'une capacité de 10 000 mètres cubes d'azote à l'heure, a été construite et mise à l'essai dans l'aciérie Nippon, en collaboration avec la société Ebara, l'Institut de recherche atomique du Japon et l'Etablissement de recherche en radiochimie de Takasaki (voir la photographie).

Avec l'aide du Département de l'énergie des Etats-Unis, Ebara a perfectionné le système pour l'appliquer aux effluents gazeux. Ce «procédé Ebara» consiste à irradier en présence d'ammoniac les gaz de combustion du charbon ou des hydrocarbures de chauffe. L'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote sont extraits simultanément avec un rendement élevé et facilement contrôlable qui peut atteindre 100% pour SO_2 et 85-90% pour NO_x . Le sous-produit obtenu (90% de sulfate et nitrate d'ammonium) a une valeur marchande comme engrais ou amendement général.

Le procédé est mis à l'épreuve dans une grande installation pilote de démonstration construite par la compagnie d'électricité d'Indianapolis (Indiana, Etats-Unis) et mise en service en 1985 pour montrer que le système est viable et déterminer si les sous-produits sont effectivement utilisables comme engrais.

Une autre installation de démonstration, construite par la Badenwerk AG, à Karlsruhe (RFA), fonctionne à titre expérimental depuis 1985 (voir la photographie).

Ces installations pilotes ont notamment permis de démontrer que:

- le procédé à faisceau d'électrons permet d'épurer les effluents gazeux;
- il permet d'extraire plus de 90% du SO_2 et jusqu'à 90% des NO_x contenus dans les gaz de combustion des charbons à faible et forte teneur en soufre;
- son exploitation industrielle dans une centrale électrique est sans danger et très fiable.

Les essais ont été faits avec des débits d'effluents correspondant à une production de 3 à 5 mégawatts d'électricité et, de l'avis général des spécialistes, il est techniquement et économiquement possible de réaliser des installations d'une capacité de 10 à 20 fois supérieure à celle des installations actuelles.

Les avantages du procédé par rapport aux traitements chimiques peuvent se résumer ainsi:

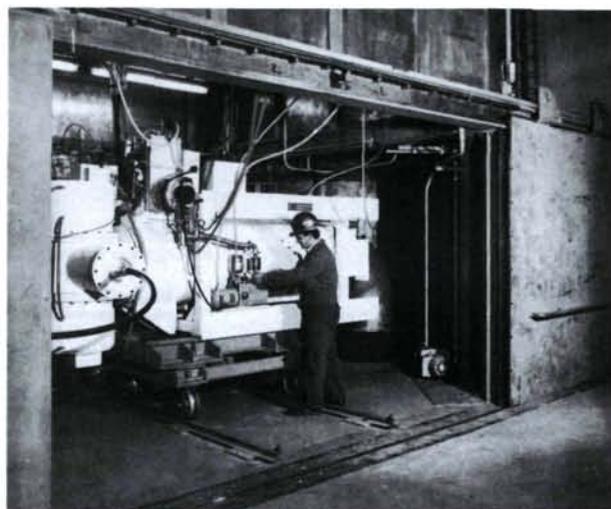
- il permet d'extraire simultanément SO_2 et NO_x en une opération, dans une seule installation et avec un seul réactif;
- les taux d'extraction répondent aux normes les plus strictes;
- il ne laisse pas de déchets;
- le traitement se fait par voie sèche (peu d'entretien);
- les gaz ne doivent pas être réchauffés;
- simplicité et sûreté d'exploitation.

Le procédé présente aussi des inconvénients, notamment:

- le prix élevé de l'ammoniac, qui peut devenir prohibitif pour certains pays (surtout s'il faut l'importer);
- la limitation éventuelle de l'emploi du sous-produit comme engrais, en particulier dans les régions où prédominent les sols acides.

Les accélérateurs à faisceau électronique dans la gamme des 300 à 800 kilovolts (kV) sont ceux que l'on utilise pour le traitement des effluents gazeux. Il est peu probable que cette application exige de plus hautes énergies, car la pénétration des électrons dans les gaz est suffisante aux énergies inférieures à 1000 kV. Par ailleurs, l'expérience a montré que la distribution et l'in-homogénéité ne posent pas de sérieux problèmes. Le principal souci, en ce qui concerne ces accélérateurs, est d'assurer leur fiabilité, un bon rendement de conversion de l'énergie et la possibilité de se procurer des machines de grande puissance. Les techniques actuelles de fabrication garantissent le respect des normes industrielles de rendement et de fiabilité exigées pour ces machines. Des accélérateurs se trouvent aujourd'hui sur le marché dans les gammes d'énergie et de puissance de

Enceinte blindée de l'accélérateur d'électrons de démonstration de la Badenwerk AG, à Karlsruhe, République fédérale d'Allemagne. (Photo: Badenwerk AG)



300 kV/300–500 kW et de 600–800 kV/120–240 kW. Ils sont bien adaptés aux configurations multimodulaires nécessaires pour les chaudières de faible et moyenne puissance (jusqu'à 100 MWe environ). Pour des puissances supérieures, il faudrait multiplier les modules ou réaliser des accélérateurs de très grande puissance (1000 kW ou plus).

Rentabilité du procédé

Une étude très poussée faite aux Etats-Unis en 1983 a montré que le traitement par faisceaux électroniques est marginalement compétitif avec les procédés

classiques de désulfuration des gaz de combustion, les facteurs critiques étant le prix de l'ammoniac et la valeur marchande du sous-produit, lesquels varient sensiblement d'un pays à l'autre. L'étude conclut néanmoins que s'il s'agit d'extraire à la fois SO_2 et NO_x le traitement électronique devient très compétitif par rapport à la combinaison des procédés chimiques classiques qu'il peut remplacer.

Les installations de démonstration en service aux Etats-Unis et en République fédérale d'Allemagne ont permis de confirmer la viabilité du procédé et d'obtenir suffisamment de données pour évaluer sa performance économique.

La pollution de l'air par les gaz de combustion — «pluies acides»

On sait depuis longtemps que l'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote produits par la combustion du charbon et du mazout dans les centrales électriques et autres établissements industriels sont les principaux responsables de la pollution atmosphérique. Dans un périmètre limité, les effets peuvent être immédiats et se traduire par des troubles respiratoires chroniques, des affections cardio-pulmonaires et une détérioration de l'environnement. Selon les estimations, la pollution atmosphérique aux Etats-Unis serait la cause de 10 000 décès et de quelque 25 millions de cas de maladies respiratoires chaque année.

A longue échéance et sur de vastes étendues, ces gaz toxiques sont transformés dans l'atmosphère, par une réaction photochimique, en acide sulfurique et acide nitrique qui retombent sous forme de «pluies acides», dont les effets écologiques se manifestent par la dévastation des forêts et de la flore terrestre en général, et par l'acidification des lacs. De graves dommages forestiers ont été signalés aux Etats-Unis et en Europe — notamment en RFA, où de vastes zones boisées ont été détruites en Rhénanie-du-Nord/Westphalie et dans le Bade-Wurtemberg, par exemple. Le problème ne se limite pas aux pays industrialisés. Il se pose aussi dans les pays en développement qui utilisent principalement le charbon pour produire de l'énergie. C'est ainsi que des pluies acides sont fréquemment signalées dans le sud-ouest et sur la côte orientale de la Chine, et que nombre de grandes villes fortement peuplées et de vastes zones rurales de l'Inde souffrent beaucoup de la pollution de l'air.

Les chiffres concernant les rejets de gaz dans l'atmosphère donnent toute la mesure de ce problème qui ne connaît pas de frontières. Une centrale électrique de 500 MW peut consommer à elle seule de 250 à 300 tonnes de charbon à l'heure. Selon la teneur en soufre du charbon, laquelle peut varier de 0,2 à 2% et atteindre parfois 10%, l'émission de SO_2 peut être de l'ordre de plusieurs dizaines de tonnes à l'heure. On a calculé qu'aux Etats-Unis, par exemple, plus de 50 millions de tonnes de SO_2 et NO_x seront rejetées chaque année dans l'atmosphère d'ici 1990, par les foyers des chaudières de centrales électriques et d'usines.

Réglementation anti-pollution et marché potentiel des systèmes d'épuration des gaz de combustion. Les limites réglementaires de concentration de SO_2 et NO_x dans les effluents gazeux sont très variables d'un pays à l'autre. C'est la RFA qui applique la réglementation la plus sévère et plusieurs autres pays d'Europe suivent son exemple. La loi exige que des extracteurs de

SO_2 (à 85%) soient installés d'ici à l'été 1988 sur les chaudières de toutes les centrales de plus de 110 MWe. Plus de cent de ces systèmes sont déjà en service ou en cours d'installation. Les centrales de 35 à 110 MWe sont soumises à la même règle et devront s'équiper pour 1993. Rien qu'en RFA, 370 chaudières appartiennent à cette catégorie.

Depuis 1984, des limites très strictes sont imposées en RFA aux émissions de NO_x . En conséquence, plusieurs centaines d'installations devront être équipées d'extracteurs de NO_x entre 1988 et 1990.

De même, des réglementations prescrivant l'élimination de SO_2 et NO_x sont en vigueur ou en projet dans les pays de la CEE ainsi qu'en Autriche, en Finlande, en Suède et en Suisse, de sorte que l'on s'achemine vers une limitation générale de la pollution de l'environnement dans toute l'Europe.

Aux Etats-Unis, la réglementation concerne surtout les nouvelles sources de SO_2 , tandis que les limites fixées pour les oxydes d'azote permettent de réduire leur émission au niveau de la chaudière. L'Inde et la Chine ont aussi adopté une législation imposant l'installation d'épurateurs de gaz de combustion.

Les mesures législatives qui ont été prises et la façon dont la situation évolue font qu'un vaste marché est en train de s'ouvrir pour les technologies visant à réduire les concentrations de composants toxiques dans les effluents gazeux rejetés par les cheminées industrielles.

Les techniques de traitement par les rayonnements sont à l'ordre du jour. Les méthodes faisant appel aux rayonnements pour combattre la pollution de l'environnement par les industries qui brûlent du charbon ou des hydrocarbures retiennent de plus en plus l'attention des Etats Membres de l'AIEA. Plusieurs d'entre eux ont déjà demandé à l'organisation des renseignements sur l'état d'avancement et les applications de cette technologie. En conséquence, l'AIEA a réuni un groupe d'experts pour faire le point de la question et formuler des recommandations quant aux mesures que l'AIEA devrait prendre pour promouvoir ces techniques et en assurer le transfert. Cette réunion de consultants sur le traitement des effluents gazeux par faisceau d'électrons a eu lieu à Karlsruhe (RFA) du 27 au 29 octobre 1986. Y ont pris part 55 experts de 13 Etats Membres, dont les communications seront prochainement publiées par l'Agence. Il a été recommandé à l'organisation de prendre des dispositions pour faire diffuser une documentation sur ces techniques, faciliter le transfert de la technologie et aider les travaux de recherche et développement.