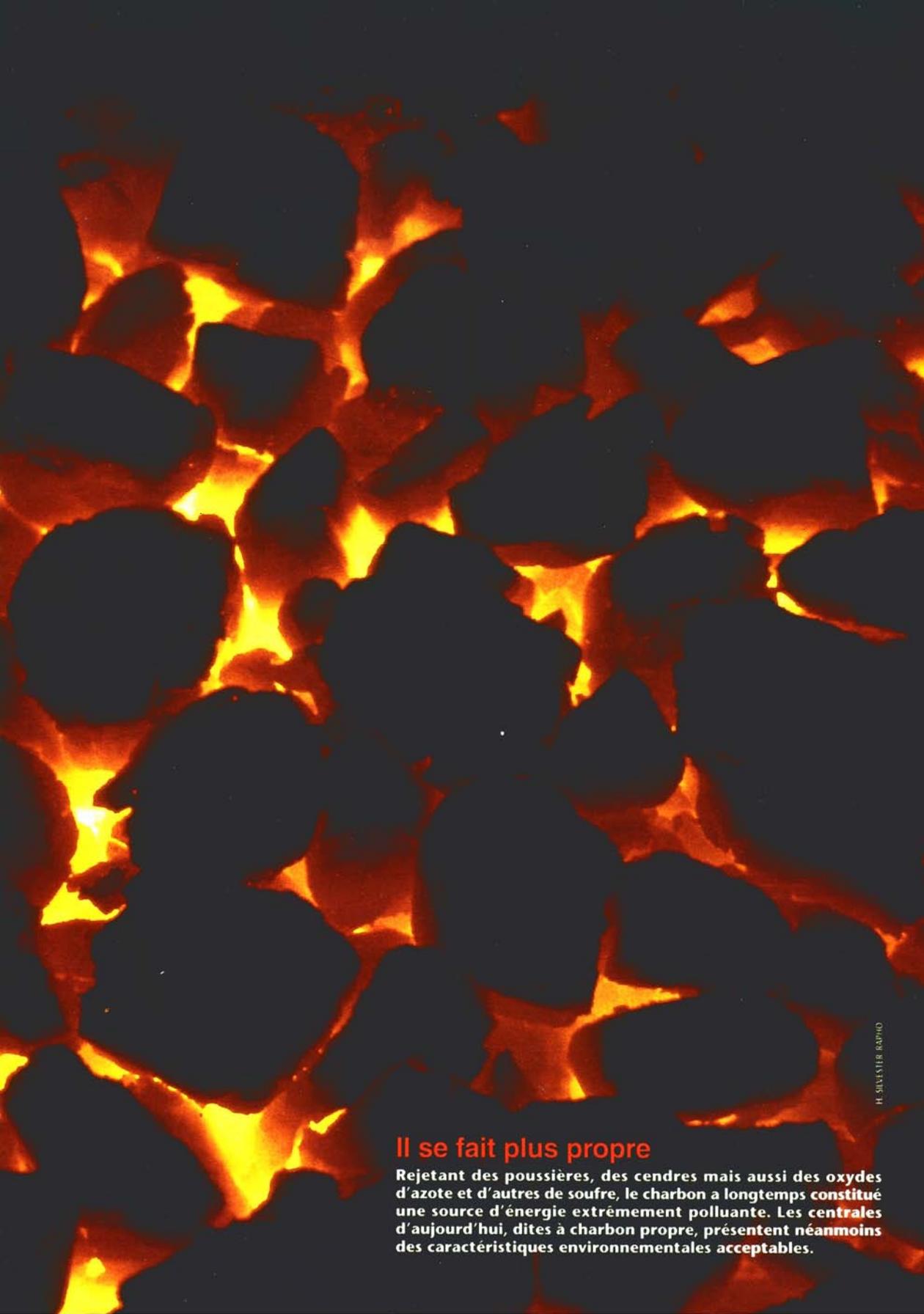


Le charbon, une énergie d'avenir ?

Alors qu'on estime à moins d'un siècle les réserves actuellement connues de pétrole sur la planète, les gisements prouvés de houille et de lignite atteignent 3 500 milliards de t.e.p. (tonnes équivalent pétrole), soit plusieurs fois celles du gaz et du pétrole. Le charbon produira-t-il l'énergie du XXI^e siècle ? Cet article propose un inventaire des techniques d'avenir et de leurs perspectives.

PAR CARL DE PONCINS



H. SEVASTYER RAPHO

Il se fait plus propre

Rejetant des poussières, des cendres mais aussi des oxydes d'azote et d'autres de soufre, le charbon a longtemps constitué une source d'énergie extrêmement polluante. Les centrales d'aujourd'hui, dites à charbon propre, présentent néanmoins des caractéristiques environnementales acceptables.

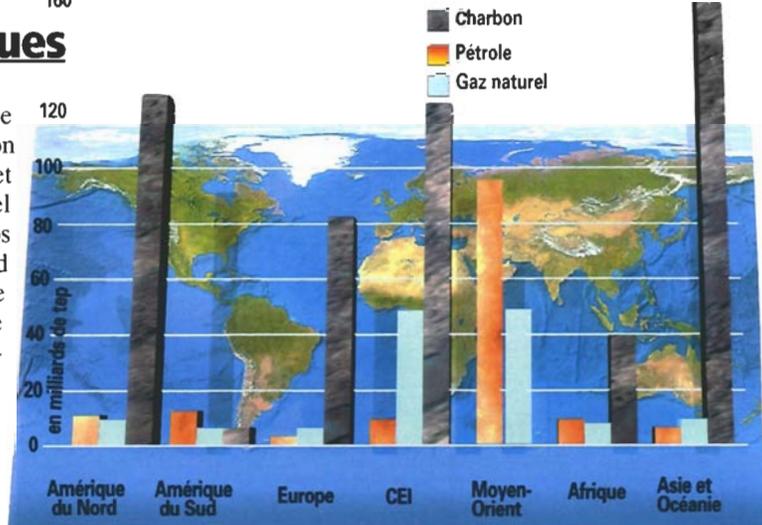
Avec une image associée pêle-mêle à la pollution atmosphérique, à l'effet de serre, à un passé industriel révolu et aux sinistres « coups de grisou », dont on entend encore parler en Roumanie ou en Ukraine, c'est peu dire que le charbon a mauvaise réputation. Ses réserves immenses et sa bonne répartition géographique en font pourtant un acteur essentiel sur le marché énergétique mondial (voir la figure ci-contre). Il représente aujourd'hui 30 % de ce marché, et correspond à l'essentiel des investissements de production d'EDF hors de France. En outre, les progrès techniques dans l'exploitation du combustible offrent des perspectives intéressantes. Elles permettent désormais de brûler tous les types de charbon, du plus humide au plus souffré. De là à conclure que la filière thermique continuera à jouer un rôle de premier plan pendant encore très longtemps, il n'y a qu'un pas tout naturel à franchir.

Un écueil reste néanmoins à surmonter : le défi technologique et économique que représente l'alignement sur des normes environnementales continuellement renforcées.

Quatre points sont, là, à surveiller :

- les poussières,
- les cendres,
- les rejets d'oxyde d'azote (NO_x),
- les rejets d'oxyde de soufre (SO_2).

Si les deux premières catégories de rejets sont



Abondant et omniprésent

Alors que ses réserves dépassent de loin celles des autres combustibles (figure ci-dessous), le charbon est aussi disponible presque partout... Une manne énergétique pour des pays comme la Chine, en plein essor économique.

limitées (le dépoussiérage électrostatique est efficace à 99 % ; quant aux cendres, elles sont recyclées dans les matériaux de construction), les deux dernières – oxydes d'azote et de soufre – posent davantage de problèmes.

Il existe, à l'heure actuelle, quatre grands types de centrales utilisant le charbon comme combustible et présentant des caractéristiques environnementales acceptables. Ce sont les filières dites à *charbon propre* : les centrales à charbon pulvérisé, à lit fluidisé circulant, à lit fluidisé sous pression et les cycles combinés avec gazéification du charbon.

Issues de plus de 80 années d'améliorations, les centrales thermiques à flamme les plus récentes sont les centrales à charbon pulvérisé intégrant le traitement des fumées. Le principe est le suivant : le charbon est pulvérisé dans une chaudière, où sa combustion dégage une forte chaleur. Le refroidissement est assuré par des tubes alimentés en eau, laquelle après vaporisation et surchauffe alimente un groupe turbo-alternateur.

BRÛLEURS ET FOYERS DE POINTE

Même si leur technique est ancienne, ces centrales sont très évolutives : elles peuvent s'adapter sans modification majeure à de nouvelles réglementations en matière de rejets atmosphériques et leur rendement PCI (voir l'encadré p. 84) n'a cessé d'augmenter. Il est aujourd'hui de 45 % pour les centrales les plus avancées. Les dernières recherches s'orientent vers l'amélioration

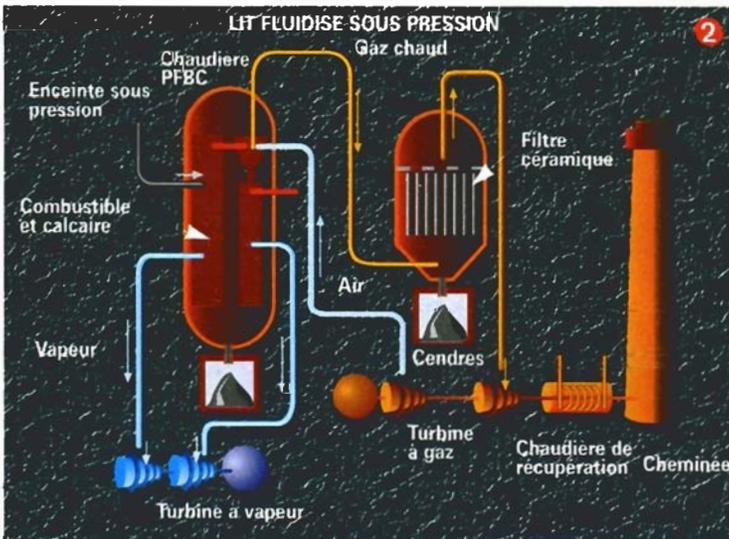
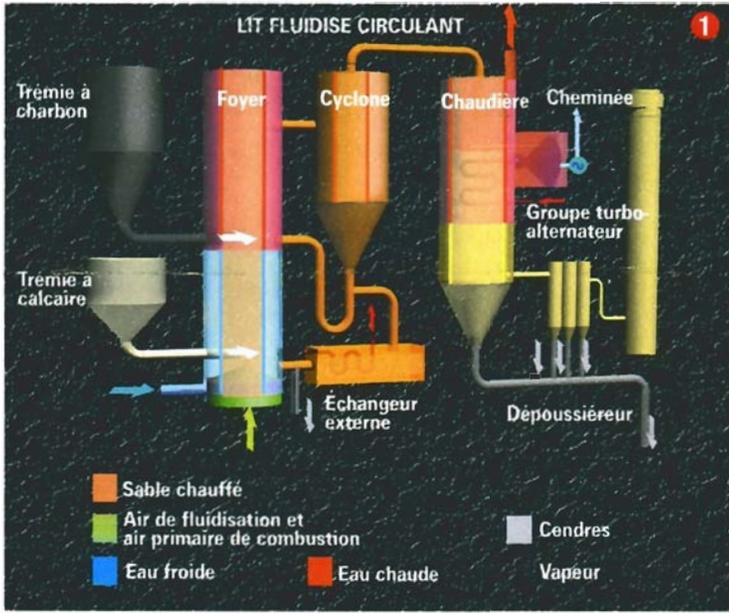


DESSINS A. MEYER - DR

Des cheminées high-tech

Les centrales à lit fluidisé circulant représentent aujourd'hui 5 % de la puissance produite mondialement (ici le foyer de l'unité de Gardanne).





Dépollution à la clé

Dans les centrales à lit fluidisé, on injecte un mélange de charbon et de calcaire. Pour le débarrasser de ses polluants, on peut le faire circuler en suspension dans l'air (1) ou le maintenir à haute pression et le faire passer sur une série de filtres céramiques (2).

des brûleurs et du foyer, afin de réduire au strict minimum la production d'oxydes d'azote. Elles portent également sur de nouvelles méthodes de désulfuration, dénitrification complémentaire et dépoussiérage des fumées. À ce jour, ce traitement postérieur est, en effet, très coûteux et des économies sont impératives. Grâce à de nouveaux

matériaux métalliques en cours d'homologation, on espère aussi dépasser les 50 % de rendement PCI (mais à plus long terme).

Cette catégorie de centrales représente la grande majorité des unités existantes. Dans les cinq à dix prochaines années, elles resteront les plus construites. Leur puissance, jusqu'à 1 300 MW, correspond à ce qui se fait de plus important en thermique aujourd'hui.

Dans le lit fluidisé circulant atmosphérique (LFC), le charbon est injecté dans le foyer après mélange avec un additif de désulfuration, le calcaire, qui lui donne une granulométrie correspondant à un charbon grossièrement broyé. Ce com-



L'essor des nouvelles filières

D'ores et déjà adoptées en France, les nouvelles filières à charbon propre (ci-dessus à Gardanne) devraient, à terme, pouvoir remplacer les centrales classiques qui polluent encore certains pays d'Europe (ci-contre en Roumanie).

bustible est maintenu en suspension dans le foyer par un fort débit d'air. Les particules brûlent en suspension et les fumées ainsi que les poussières plus ou moins complètement brûlées quittent le foyer par le haut pour être récupérées dans un appareil de centrifugation appelé cyclone. À la base de cet appareil, les particules solides, séparées des fumées, sont réinjectées dans le circuit. Elles effectuent au total jusqu'à 30 passages (voir la figure p. 80). Cela permet une combustion optimale à une température faible, de l'ordre de 850°, contre 1300° dans une chaudière classique. Ainsi, très peu d'oxydes d'azote et de métaux lourds sont rejetés dans les fumées, car la température est inférieure à



F. GILSON/BIOS

la température de volatilisation de ces derniers.

Cette technique présente donc trois avantages : un haut rendement PCI, de l'ordre de 40 %, obtenu grâce aux nombreux passages du combustible dans le foyer. Une grande souplesse d'emploi car le combustible peut être de médiocre qualité : lignite, tourbe, schlamms – nom donné aux résidus charbonniers – (comme à Carling en Lorraine) et



même des déchets urbains ou de la biomasse. Enfin, les contraintes environnementales sont respectées grâce à la faible température, au mélange de calcaire qui capte les oxydes de soufre pendant la combustion et non après, et aux multiples passages dans le foyer qui laissent très peu d'imbrûlés.

Aujourd'hui, environ 250 tranches LFC sont en fonctionnement dans le monde, pour des puissances unitaires allant jusqu'à 300 MW. Des études sont en cours pour des unités de 600 MW.

Les centrales à lit fluidisé sous pression (PFBC : Pressurized Fluidized Bed Combustion) se distinguent des précédentes par une pression dans la chaudière de 15-20 bars pour une température de

850-900°. Le dépoussiérage des gaz de combustion chauds se fait par une série de cyclones et/ou de filtres céramiques, avant l'envoi dans une turbine à gaz de détente. Celle-ci produit environ 20 % de la puissance totale du cycle et fait fonctionner le compresseur qui envoie l'air en début de cycle (voir la figure p. 80). Cette technique très moderne est encore peu courante. Elle offre l'avantage d'utiliser des centrales très compactes. Par ailleurs, l'emploi de la turbine à gaz permet d'augmenter légèrement le rendement et la puissance disponible. Le principal problème est posé par le dépoussiérage à chaud des gaz. Ceux-ci créent des dépôts, érodent les aubes de la turbine et entraînent des contaminants alcalins corrosifs.



A. MACLEAN - P. ARNOLD/BIOS

Ce dépoussiérage nécessite donc du matériel spécialement conçu à cette fin et non des machines de série, ce qui entraîne des coûts plus élevés et des problèmes de maintenance.

Il n'existe à l'heure actuelle que quelques tranches en fonctionnement, essentiellement au Japon. Elles vont de 70 à 350 MW.

La dernière filière est la gazéification du charbon intégrée à un cycle combiné (IGCC, en anglais). Dans ce cycle, un gaz issu de la gazéification sous pression du charbon (à l'air ou à l'oxygène) est refroidi puis épuré aussi soigneusement que possible afin de servir de combustible dans une turbine. Cette combustion produit des fumées à haute température qui génèrent de la vapeur pour

alimenter une turbine à condensation classique. Ce cycle combiné utilise au maximum la chaleur récupérée au cours du processus de gazéification et pendant le traitement du gaz. Cela permet d'obtenir un bon rendement, de l'ordre de 43-45 %. De plus, malgré sa complexité, cette technique réduit très fortement l'émission de polluants gazeux et limite la quantité de rejets solides. Cependant elle n'est pas assez développée pour garantir des coûts de maintenance acceptables.

Les belles perspectives de l'IGCC font néanmoins qu'un certain nombre de projets et réalisations subventionnés existent, surtout aux États-



P. FRISCHMUTH - ARGUS/BIOS

Une énergie à moindre coût

Parce qu'il est largement distribué, le charbon est peu transporté : seuls 15 % de la production mondiale voyagent. Il est également peu coûteux à extraire et abondant. Pour toutes ces raisons, on peut voir en lui une énergie d'avenir. À condition, toutefois, que soient encore diminués ses rejets polluants.

Unis et en Europe. Ces unités vont de 100 MW (Reno, dans le Nevada) à 500 MW (Sarlux en Sardaigne, pour la cogénération de chaleur, d'électricité et de produits chimiques). Il existe également un prototype de 300 MW à Puertollano, en Espagne, subventionné par le programme européen Thermie, avec pour objectif des émissions de SO_2 et de NO_x respectivement 40 et 11 fois inférieures aux normes européennes actuelles.

En France, la production thermique à flamme est faible. Il existe 17 sites pour une puissance totale installée de 10 000 MW. Il s'agit d'une production d'appoint, destinée à satisfaire les pics de consommation car les centrales au charbon, beaucoup plus souples que les centrales nucléaires,

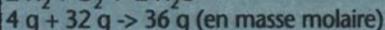
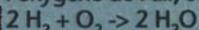
peuvent être démarrées et arrêtées très rapidement. Cependant, l'augmentation du coût d'extraction du charbon français et l'attrait grandissant du gaz naturel font que la production d'EDF, actuellement de 25 TWh annuels, va progressivement s'arrêter. D'ores et déjà, elle a été divisée par quatre depuis les années 80, et cette tendance va continuer dans les 10 ans à venir. « *A priori, le gaz va être utilisé en remplacement des centrales thermiques à flamme* », indique Thierry Bonnet, directeur en charge de la production thermique à EDF. Ce choix s'explique : la construction d'une centrale au gaz naturel coûte 4000 F/kW, soit deux fois moins que pour une centrale au charbon. La cogénération se développe également, mais elle n'est pas, pour l'instant, économiquement intéressante ; l'État soutient les recherches dans ce domaine en achetant le kWh deux fois plus cher... La SNET, Société nationale d'énergie thermique, exploite enfin deux unités LFC à Gardanne et à Carling, mais, du fait de la surcapacité du parc énergétique français, il n'y a pas de besoins à grande échelle avant dix ans au moins.

DEUX MÉTHODES DE MESURE

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) à volume constant d'un combustible représente la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de masse du combustible dans une bombe calorimétrique, dans des conditions conventionnelles (dans de l'oxygène saturé de vapeur d'eau, à température uniforme, l'eau formée étant liquide). La définition du pouvoir calorifique à volume constant ne correspond pas aux combustions industrielles qui ont lieu à pression constante, dans une enceinte ouverte, mais en fait la différence est faible et généralement négligée.

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI), de manière plus pratique, représente l'énergie se dégageant et pouvant être récupérée au cours du processus. On le calcule à l'aide de la formule suivante :

$PCI = PCS (1 - Hu) - Cv (Hu + 9H)$ où Cv : chaleur latente de vaporisation de l'eau (600 kcal/kg) ; Hu : taux d'humidité ; $9H$: masse d'eau formée lors de la combustion par la combinaison des atomes d'hydrogène du combustible avec l'oxygène de l'air, selon la réaction :



Soit une unité de masse d'hydrogène représente 9 unités de masse d'eau.

Ainsi, un rendement 50 % PCI correspond à une récupération industrielle effective de 50 % du PCI du combustible.

Au niveau mondial, en revanche, les débouchés pour ces nouvelles techniques sont beaucoup plus importants.

Du fait de la bonne répartition géographique des réserves de charbon, celui-ci est généralement utilisé sur place : seuls 15 % de la production mondiale sont transportés. « *Toutes les centrales construites par EDF à l'international le sont pour des marchés nationaux* », ajoute M. Bonnet. De nombreux pays, plus ou moins avancés sur le plan technique, sont donc demandeurs des technologies à charbon propre. Les pays qui sont amenés à se développer dans les décennies à venir emploieront le charbon bon marché dont ils disposent. Maurice Claverie, ancien président du conseil scientifique de l'Ademe, résume ainsi le problème : « *Comme il est moralement inacceptable, et de toute façon complètement irréaliste, de brider le développement économique, notamment dans le tiers monde, les voies qui s'offrent à nous pour maîtriser les émissions de gaz à effet de serre relèvent du progrès technologique, de choix de modes de vie et d'une meilleure organisation de la société.* » ⁽¹⁾

PERSPECTIVES OPTIMISTES

Au bilan, le charbon comme source d'énergie a de beaux jours devant lui. Les perspectives à l'horizon 2020 sont une augmentation de sa production en volume et une légère diminution de son importance relative. Ses réserves sont abondantes, son coût d'extraction faible. De plus, les gisements sont bien répartis, et se trouvent principalement dans des pays politiquement sans risques : Australie, États-Unis, Chine (voir la figure p. 78). Cette géopolitique favorable assure un marché stable. Il est remarquable de voir que le prix de la tonne de charbon est resté dans une fourchette de 30 à 50 \$ depuis 30 ans. Le charbon pose cependant de gros problèmes d'environnement, tant par sa contribution à l'effet de serre que par les impuretés que sa combustion rejette dans l'atmosphère. Les débats sur les permis d'émission de CO₂ sont virulents et il apparaît inéluctable que la composante environnementale sera prise en compte à plus ou moins brève échéance. L'avenir du charbon passe donc par une responsabilisation mondiale vis-à-vis des problèmes environnementaux. En ce sens, les nouvelles techniques des centrales à charbon propre présentent le double avantage de proposer des rendements en hausse et des émissions de polluants toujours plus faibles. ■

1 - « L'apport du progrès technologique pour la réduction des émissions des gaz à effet de serre dans le monde, le cas de la production d'électricité », revue La Rouge et la Jaune 2000.