



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

ENERGY/GE.1/SEM.4/2
6 juin 2002

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

COMITÉ DE L'ÉNERGIE DURABLE

Groupe spécial d'experts du charbon et de l'énergie thermique

Atelier international sur la combustion propre du charbon

dans les chaudières de petite et moyenne taille

en Europe centrale et orientale

Brasov (Roumanie), 4-6 septembre 2002

**Combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne taille
en Europe centrale et orientale**

(Document présenté par le Gouvernement roumain)¹

Questions traitées dans le rapport

- Aspects généraux;
- Demande et ressources énergétiques mondiales;
- Objectifs de la politique énergétique et contribution du charbon;
- Combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne taille des pays d'Europe centrale et orientale;

¹ Élaboré par M^{me} Carmencita CONSTANTIN, chef du Département des études et du programme international à l'Institut pour les études et la conception dans le domaine de l'énergie (ISPE) et M. Marian DOBRIN, Directeur de projet, ISPE. [ISPE, Business Development Division, Lacul Tei Blvd, N° 1-3, 72301 Bucarest (Roumanie)]

- Exigences écologiques de la combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne taille;
- Normes d'émission pour la combustion du charbon, notamment dans les chaudières de petite et moyenne taille;
- Obstacles à la mise en place de petites et moyennes chaudières plus performantes;
- Mise en place, financement et compétitivité des petites et moyennes chaudières;
- Conclusions et programme d'action.

Introduction

1. Le présent rapport a été établi à l'intention de l'Atelier sur «la combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne taille en Europe centrale et orientale», qui se tiendra à Brasov (Roumanie) du 4 au 6 septembre 2002 et qui est organisé conjointement par l'Institut roumain pour les études et la conception dans le domaine de l'énergie (ISPE), la Division de l'énergie durable de la CEE-ONU, l'Institut mondial du charbon et le Conseil mondial de l'énergie (CME).

Aspects généraux

2. Pour permettre à plusieurs milliards de personnes de vivre sur Terre, il faut des ressources énergétiques en quantité suffisante et qui soient respectueuses de l'environnement et proposées à des prix raisonnables. Si l'on fait abstraction de l'énergie nucléaire, seul un approvisionnement reposant sur les ressources en combustibles fossiles est envisageable dans un proche avenir.

3. Étant donné leur intérêt du point de vue écologique, les énergies renouvelables doivent être utilisées partout où elles sont économiquement viables. Toutefois, selon les régions, elles ne peuvent jouer qu'un rôle d'appoint dans l'approvisionnement énergétique global. Si l'on considère les sources d'énergie fossile, on constate que le gaz naturel et le pétrole se raréfieront beaucoup plus vite que le charbon (fig. 1 – voir annexe). *D'un point de vue pratique, l'avenir commande par conséquent d'intensifier l'exploration et la mise en valeur des ressources énergétiques en charbon.* Cependant, comme les stocks de charbon existants doivent être utilisés judicieusement, il faut améliorer le rendement de conversion de l'énergie issue d'une liaison chimique en électricité et en chaleur. De cette manière, et en misant sur l'écotechnologie moderne, on devrait pouvoir obtenir de l'électricité et de la chaleur à partir du charbon sans nuire à l'environnement.

4. Au XXI^e siècle, l'enjeu consiste à répondre aux préoccupations environnementales tout en assurant une croissance économique durable. Il faut pour cela tenir compte d'une population mondiale qui augmente rapidement et qui exige une meilleure qualité de vie. *Les combustibles fossiles continueront d'offrir le principal moyen de répondre aux besoins mondiaux en énergie au cours des deux prochaines décennies.* D'importantes parties du monde s'industrialisent, d'où une demande d'énergie accrue. C'est la consommation d'électricité qui reflète le plus fidèlement, tout en la stimulant, l'évolution du produit intérieur brut (PIB) d'un pays. La mise en œuvre et l'amélioration continue d'une nouvelle génération de techniques plus propres et

respectueuses de l'environnement, s'appuyant sur les combustibles fossiles pour produire de l'électricité constituent une manière réaliste de relever les défis.

Demande et ressources énergétiques mondiales

5. La demande énergétique mondiale ne cesse d'augmenter (voir fig. 2, 3 et 4 de l'annexe). Pendant plus d'un demi-siècle, les combustibles fossiles ont assuré l'approvisionnement mondial en énergie primaire. Entre 1850 et 1995, la consommation mondiale totale d'énergie a été multipliée par 20. Entre 1950 et 1995, elle a encore quadruplé. Cette croissance exponentielle est due essentiellement à l'accroissement démographique et au développement rapide de l'économie dans les régions du monde qualifiée d'«industrialisées».

6. Entre 1995 et 2020, la demande mondiale de gaz naturel devrait plus que doubler, selon les projections, comme l'indique la figure 4. Cet essor de la demande s'explique par les avantages attendus de l'utilisation du gaz naturel, à savoir:

- i) son abondance dans le monde;
- ii) la possibilité d'installer rapidement des centrales au gaz;
- iii) un investissement initial peu élevé;
- iv) les avantages pour l'environnement d'un rendement élevé et de moindres émissions de polluants.

7. Selon les projections établies pour le pétrole (voir la figure 4 de l'annexe), cette source d'énergie devrait continuer à occuper la première place dans le secteur des transports. Sa part globale du marché en expansion de l'énergie devrait se maintenir à 40 % alors même que les pays se tournent vers le gaz naturel et d'autres combustibles pour produire de l'électricité.

8. Comme l'indique la figure 4, le charbon conservera un rôle de premier plan dans la satisfaction de la demande d'énergie, mais il abandonnera une part de marché au gaz naturel dans le secteur de la production d'électricité. Dans la plupart des pays d'Asie, le charbon devrait s'affirmer sur le marché des combustibles, du fait surtout qu'il vient au premier rang des ressources énergétiques locales.

9. Selon la figure 4, la production d'énergie nucléaire augmentera légèrement jusqu'en 2010 pour diminuer ensuite jusqu'en 2020.

10. Selon la figure 4, les énergies renouvelables, à savoir principalement l'énergie hydroélectrique, ne progresseront que modérément, leur part dans la consommation totale d'énergie se stabilisant à 8 %.

11. La répartition mondiale des combustibles fossiles primaires utilisés pour la production d'énergie électrique montre qu'environ 73 % des réserves prouvées de gaz naturel dans le monde se situent dans l'ex-Union soviétique/Europe orientale et les pays du Moyen-Orient (voir la figure 5 de l'annexe). En dehors de ces pays, les réserves prouvées de gaz naturel se répartissent de manière assez égale, bien qu'elles soient pratiquement absentes de la région industrielle du Pacifique. Dans le monde industrialisé actuel, les réserves prouvées de gaz sont demeurées

assez stables au cours des 20 dernières années, mais leur volume a doublé dans l'ex-Union soviétique et l'Europe orientale. Dans la plupart des régions, le rapport des réserves de gaz à la production est demeuré élevé, des sources nouvelles ayant été continuellement découvertes pour compenser la production et satisfaire une demande croissante.

12. Le charbon est de loin la source d'énergie fossile la plus abondante (voir la figure 6 de l'annexe), avec la capacité d'assurer une production aux niveaux de 1996 pendant au moins 250 ans encore. Les réserves prouvées de pétrole et de gaz indiquent moins de 100 ans d'approvisionnement au niveau atteint par la demande en 1996. Cinquante-sept pour cent des réserves mondiales de charbon se situent dans trois régions: les États-Unis (24 %), l'ex-Union soviétique (23 %) et la République populaire de Chine (11 %). Quatre autres pays – l'Australie, l'Inde, l'Allemagne et l'Afrique du Sud – représentent 27 % de plus.

Les objectifs de la politique énergétique et la contribution du charbon

13. Dans les États membres de la CEE, les priorités gouvernementales pour le secteur de l'énergie sont *la sécurité, la compétitivité et la compatibilité de l'approvisionnement énergétique avec l'environnement*. Dans presque tous les pays membres de la CEE-ONU (y compris ceux de l'Europe centrale et orientale), on combine plusieurs sources d'énergie pour assurer l'approvisionnement en énergie primaire et en électricité. Pour l'électricité, forme d'énergie finale affichant la croissance la plus rapide, les principales sources sont le charbon, l'énergie nucléaire, l'énergie hydraulique, le gaz naturel et le pétrole. Leur part respective dans la production d'électricité varie souvent de manière assez sensible d'un pays à l'autre, et ce pour différentes raisons. Même si l'on fait une place de plus en plus importante aux forces du marché, les politiques et stratégies gouvernementales resteront les facteurs déterminants de la composition de l'approvisionnement énergétique à l'avenir.

14. Le charbon peut contribuer au développement énergétique durable et à la réalisation des objectifs des politiques énergétiques nationales. *Il est indispensable à la sécurité énergétique, demeurera compétitif pour la production d'électricité et constituera une source d'énergie propre à condition d'utiliser des techniques modernes peu polluantes. Le charbon a donc sa place dans les stratégies qui sont actuellement élaborées et mises en œuvre pour favoriser un développement énergétique durable tant dans la région de la CEE que dans le monde.*

15. Dans bon nombre de pays membres de la CEE, le charbon et le lignite occupent une place importante dans la palette des combustibles utilisés, assurant jusqu'à 40 % ou plus de la production totale d'électricité et de chaleur dans certains d'entre eux. Les raisons de cette primauté du charbon sont multiples:

Le charbon...

- i) est l'une des principales sources nationales d'énergie, et souvent la seule;
- ii) le charbon brun et le lignite d'origine nationale sont une source d'énergie bon marché et compétitive pour la production d'électricité par les centrales de base et ce dans bien des lieux où ils se comparent avantageusement à d'autres sources abondantes;

- iii) les ressources nationales en charbon rendent la demande d'énergie moins dépendante des importations;
- iv) le charbon procure un emploi à une fraction non négligeable de la population d'une région ou d'un pays donné;
- v) il concourt à la stabilité économique et sociale;
- vi) ses réserves abondantes assurent un approvisionnement à long terme;
- vii) on peut aisément l'acheter à un prix avantageux sur le marché mondial;
- viii) il se transporte facilement;
- ix) il contribue à la diversification de l'approvisionnement énergétique; enfin,
- x) il ne présente aucun danger – le charbon est la plus sûre de toutes les sources importantes d'énergie lorsqu'il est stocké, manipulé et utilisé dans les règles.

16. Dans les années 70, la flambée des prix du pétrole a poussé les gouvernements des pays de l'OCDE à adopter des politiques qui ont conduit à mieux équilibrer la composition de l'approvisionnement en énergie primaire, et à utiliser plus largement le charbon national et importé à la place du pétrole pour la production d'électricité. Par la suite, au milieu des années 80, le charbon a fait l'objet de pressions croissantes s'expliquant:

- i) par un durcissement des règlements environnementaux; et
- ii) par la chute des prix des combustibles (pétrole, gaz, et charbon) sur le marché international;

et de ce fait, les producteurs et les consommateurs de charbon d'Europe occidentale se sont efforcés d'appliquer des techniques respectueuses de l'environnement pour satisfaire à la réglementation plus sévère, conserver l'adhésion du public et maintenir la place du charbon sur le marché de l'énergie.

17. En Europe centrale et orientale et dans la Communauté des États indépendants (CEI), l'adaptation de l'industrie charbonnière à l'économie de marché, amorcée en 1990 à la suite des changements politiques et économiques, s'est faite lentement, même si la production de charbon a sensiblement diminué. La mise en place d'équipements antipollution dans les centrales électriques à charbon n'a commencé que depuis quelques années et, sauf en Pologne, en République tchèque, en Slovaquie et en Hongrie, elle a peu progressé à cause des lenteurs de la restructuration et du manque de ressources financières. D'après les estimations actuelles de l'évolution à court terme, un pourcentage assez faible des centrales électriques à charbon sera équipé d'un matériel de désulfuration des gaz de combustion. Les progrès accomplis sur le plan de la modernisation ou du remplacement, pour des raisons écologiques, des chaudières de petite et moyenne taille sont à ce jour insignifiants et le resteront en l'absence de nouvelles mesures.

18. Les leçons du passé montrent qu'il ne sera pas facile de restructurer les charbonnages européens et d'en faire un secteur viable de l'économie nationale, mais que l'on pourrait y parvenir pour une partie de cette industrie à condition d'appliquer les stratégies adéquates. S'agissant du secteur des centrales électriques à charbon, il a de bonnes chances de conserver une part importante du marché en dépit d'une réglementation environnementale de plus en plus sévère et de la concurrence d'autres sources d'énergie, celle du gaz naturel en particulier (voir la figure 7 de l'annexe). La principale exigence consiste à mettre en place à un rythme accéléré et à l'échelle des pays un matériel de protection de l'environnement et du climat.

19. Si la technologie permet aujourd'hui d'atténuer considérablement la pollution de l'environnement dans le secteur de l'énergie (émissions de SO₂, de NO_x, de CO₂ et de particules fines), l'utilisation du charbon se heurte à de nouvelles exigences résultant du Protocole de Kyoto de 1997 à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Cet instrument prévoit que les pays visés à l'annexe I devront réduire leurs émissions de six gaz à effet de serre (GES), dont le CO₂. Les responsables politiques, les milieux d'affaires et les organisations internationales sont convenus de la nécessité de conjuguer leurs efforts pour atteindre les objectifs de Kyoto. Il existe déjà des solutions techniques qui permettent de réduire les émissions de CO₂ provenant de l'utilisation du charbon, notamment l'augmentation du rendement de combustion et la mise en œuvre de procédés nouveaux. Le mécanisme de l'application conjointe offre aux investisseurs étrangers la possibilité de participer à la production d'électricité en Europe centrale et orientale et d'obtenir ainsi des crédits de réduction de leurs émissions de CO₂ en plus des autres avantages que leur apportent leurs investissements, à savoir l'accès à une électricité moins chère et des recettes.

20. Chaque pays se trouve assurément dans une situation particulière dont dépendent les mesures que prendra le gouvernement pour atteindre l'objectif de sa politique énergétique consistant à promouvoir les techniques propres d'utilisation du charbon, mais les mesures ci-après sont courantes:

Au niveau des gouvernements:

- i) Reconnaître le rôle positif du charbon dans une stratégie de développement énergétique durable;
- ii) Évaluer l'importance des réserves de charbon tant nationales qu'internationales pour la réalisation des objectifs de la politique énergétique et autres à moyen et long terme;
- iii) Continuer d'appuyer la restructuration de l'industrie charbonnière selon une stratégie planifiée;
- iv) Examiner les avantages de la mise en œuvre de techniques propres dans l'extraction du charbon et dans les centrales électriques à charbon, en les comparant à l'application de taxes sur les émissions de carbone, dont les effets secondaires sont incertains;
- v) Encourager les services industriels à améliorer l'image du charbon dans le public;

- vi) Fixer des objectifs à plus long terme pour l'utilisation du charbon en vue d'attirer des investissements dans la restructuration de l'industrie charbonnière et l'utilisation propre du charbon et de donner aux investisseurs l'assurance que leurs investissements leur rapporteront;
- vii) Assurer une mise en œuvre rapide de l'échange de droits d'émission et de l'application conjointe;
- viii) Résoudre la question de la responsabilité pour des faits antérieurs afin d'attirer de nouveaux investissements dans l'industrie charbonnière;
- ix) Créer un climat favorable à l'investissement en général, notamment par la stabilité politique et économique, la libéralisation du commerce, de la fiscalité et des droits de douane et la transparence des règles et règlements;
- x) Mettre en place le cadre juridique nécessaire à la restructuration économique, aux réformes écologiques et à la libéralisation du marché de l'énergie;
- xi) Harmoniser la législation et les normes nationales avec celles de l'Union européenne et d'autres organisations;
- xii) Libéraliser les prix des combustibles et de l'énergie;
- xiii) Adopter une vision d'ensemble de la restructuration de l'industrie charbonnière. Concevoir et appliquer une stratégie de restructuration impliquant la participation des collectivités locales, des organismes de développement, des institutions financières, des entreprises d'extraction et d'utilisation du charbon, des organisations professionnelles, des chambres de commerce et des organismes multilatéraux d'aide. Inscrire dans ce schéma global la reconversion économique des régions minières, des activités de recyclage et la création d'emplois au profit des anciens mineurs;
- xiv) Assurer une large diffusion de la stratégie charbonnière appuyée par les pouvoirs publics afin d'attirer des investissements et des partenariats internationaux;
- xv) Mettre à profit l'expérience acquise par d'autres pays quant aux résultats de leur stratégie charbonnière;
- xvi) Évaluer les besoins et les ressources en matière d'appui financier et administratif public. Fournir une aide financière, en particulier sur le plan des conséquences sociales et des obligations environnementales. Si les gouvernements proposent des subventions publiques, ces programmes d'aide financière devraient être assortis d'un calendrier et d'objectifs clairement définis;
- xvii) Veiller à ce que la réforme et la libéralisation des marchés de l'industrie charbonnière et du secteur de l'électricité et de la chaleur soient menées judicieusement et sans perdre de vue les responsabilités sociales;
- xviii) Adapter le rythme et l'ampleur de la restructuration à l'appui financier et institutionnel disponible;

- xix) Établir des programmes de restructuration de l'industrie charbonnière locale comportant des calendriers et des objectifs chiffrés. Assurer un financement pour atténuer les effets pervers sur les plans économique, social et environnemental;
- xx) Poursuivre la privatisation de l'industrie charbonnière et du secteur des centrales à charbon;
- xxi) Veiller à ce que les limites d'émission soient raisonnables et conformes aux normes internationales et assurer l'application de mécanismes de surveillance et de communication d'informations validées au niveau international;
- xxii) Assurer l'accès aux marchés financiers national et international;
- xxiii) Faciliter les coentreprises internationales, la fourniture d'électricité par des producteurs indépendants et les autres formes semi-publiques et privées de propriété et de gestion d'entreprise;
- xxiv) Adopter des mesures propres à encourager l'investissement dans la modernisation et la réforme économiques et écologiques de la production charbonnière et des centrales électriques à charbon. Surveiller leur efficacité;
- xxv) Encourager la mise au point et l'application de techniques modernes permettant d'utiliser le charbon de manière non polluante et de réduire et éviter les émissions de gaz à effet de serre, eu égard aux possibilités qui existent de réduire l'impact du charbon sur l'environnement à tous les stades et dans toutes les activités: extraction, préparation du charbon, utilisation et gestion des matières et des émissions résultant de la combustion; et
- xxvi) Se tenir au courant des initiatives nationales, régionales et internationales et de l'évolution technologique dans le domaine de l'énergie et de l'environnement.

21. Parallèlement, les professionnels et les milieux d'affaires pourraient appuyer la restructuration de l'industrie charbonnière et favoriser l'application d'une technologie propre d'utilisation du charbon en adoptant les mesures ci-après:

Mesures relevant des professionnels et des milieux d'affaires:

- i) Poursuivre la restructuration de cette branche d'activité et appliquer des techniques charbonnières propres dans la production de charbon et les centrales à charbon;
- ii) Nouer des alliances stratégiques;
- iii) Créer de solides structures de propriété dans le secteur de l'industrie charbonnière et des centrales à charbon;
- iv) Tirer avantage de la libéralisation et de la mondialisation des marchés de combustibles et de l'énergie et mettre sur pied des partenariats internationaux, notamment entre les producteurs d'électricité indépendants;

- v) Créer des entreprises énergétiques et des groupes aux activités multiples;
- vi) Réorganiser les entreprises en vue d'en améliorer la gestion et l'exploitation;
- vii) Donner la préférence à une restructuration graduelle;
- viii) Faire preuve d'un sens des responsabilités sociales. Participer à des programmes de classement, de création d'emplois et de reconversion régionale dans les bassins miniers;
- ix) Intégrer le coût de la protection de l'environnement dans les prix de revient et les prix de vente du charbon et de l'électricité;
- x) Améliorer la qualité du charbon avant sa combustion dans les centrales;
- xi) Promouvoir la production combinée de chaleur et d'électricité en tant que moyen d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire les émissions, notamment celles de CO₂;
- xii) Se familiariser avec les aspects économiques et environnementaux de l'utilisation combinée du charbon, de la biomasse, des déchets et autres matériaux dans les centrales;
- xiii) Mettre au point et appliquer de nouvelles techniques permettant de réduire, voire d'éliminer, les émissions;
- xiv) Introduire la surveillance et la modélisation informatisées des applications des techniques charbonnières propres et des améliorations correspondantes du rendement et de l'environnement;
- xv) Former le personnel chargé de la clientèle à optimiser les solutions techniques existantes;
- xvi) Mettre au point et appliquer des conceptions novatrices en matière de financement de projets, de mécanismes de crédit et de systèmes de coopération internationale tels que l'application conjointe et l'échange de droits d'émission.

Combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance des pays d'Europe centrale et orientale

22. Jusqu'en 1990, les régimes politiques d'Europe centrale et orientale engendraient un système d'économie planifiée. Les ambitieux projets d'industrialisation forcée conçus dans quelques-uns de ces pays avaient provoqué un accroissement important de la demande d'électricité et de chaleur. Cela étant, la crise pétrolière des années 70, qui a gravement touché ces pays (à l'exception de l'ex-Union soviétique), a remis en cause les stratégies nationales concernant les sources d'énergie primaire. Dans certains pays, le secteur de la production d'électricité et de chaleur s'est tourné vers une utilisation accrue du charbon, puisé principalement dans les réserves nationales. Les raisons en étaient à la fois sociales et politiques:

il s'agissait de développer et de préserver l'emploi dans le secteur minier et de réduire la dépendance à l'égard des combustibles importés.

23. C'est ainsi que pour faire face à la demande d'électricité et de chaleur, ces pays avaient pour la plupart construit des centrales électriques thermiques, et des centrales de cogénération de grande puissance installée, ainsi que des centrales électriques thermiques, des centrales de cogénération et des centrales thermiques de faible et moyenne puissance fonctionnant au charbon. Le secteur de l'électricité des pays d'Europe centrale et orientale dépendait essentiellement des techniques charbonnières de l'ex-Union soviétique. Ces orientations se retrouvent dans les systèmes thermomécaniques, notamment dans le matériel utilisé.

24. Les villes entourées de zones industrielles se sont dotées d'un maillage d'installations industrielles faisant appel à des systèmes de cogénération destinés à alimenter en vapeur les consommateurs industriels et en eau chaude les consommateurs industriels et les ménages par le biais des systèmes de chauffage urbain. Ces centrales ont une puissance moyenne et sont généralement situées à proximité des mines de charbon afin de profiter des moyens de transport pour un faible coût additionnel. On trouve des installations de faible puissance dans les petites villes, voire les villages situés à proximité des mines de charbon. Elles ont pour principal fonction de fournir de la chaleur aux consommateurs industriels et aux ménages.

25. Pour comprendre la philosophie de base qui a présidé à l'évolution historique des chaudières de petite et moyenne puissance en Europe centrale et orientale, il convient de tenir compte des aspects ci-après:

- i) La destination de leur production (et l'objet de leur utilisation);
- ii) Leur implantation géographique, par exemple à proximité des mines de charbon;
- iii) À quel niveau de la demande elles étaient destinées à répondre, en termes de puissance installée;
- iv) À quelles techniques elles faisaient appel.

Ceci dit, les chaudières de petite et moyenne puissance étaient généralement conçues pour répondre à la demande d'électricité et/ou de chaleur d'un certain nombre de consommateurs industriels, dont:

- Les papeteries;
- Les usines de traitement des betteraves à sucre;
- Les raffineries de petite et moyenne taille;
- Les brasseries;
- D'autres consommateurs industriels.

26. Quelques-unes des centrales à charbon ont été construites pour répondre à la demande de chaleur de consommateurs domestiques (habitations, immeubles administratifs, municipaux, bureaux, écoles, hôpitaux, etc.) par un système de chauffage urbain. En règle générale, les installations au charbon étaient équipées, selon les besoins des utilisateurs finals, des types ci-après de chaudières à charbon:

a) **Générateurs de vapeur:** les générateurs d'une puissance installée comprise entre 2 t/h (1 MWt) et 100 t/h (50 MWt) servaient à produire de la vapeur surchauffée ou saturée. Les chaudières de taille moyenne d'une puissance installée comprise entre 30 t/h et 100 t/h, conçues selon le principe de la circulation naturelle, sont pourvues des équipements auxiliaires suivants:

- i) Broyeurs;
- ii) Souffleurs d'air et de gaz en combustion;
- iii) Système d'alimentation en charbon;
- iv) Dépoussiéreurs électrostatiques;
- v) Systèmes d'évacuation des cendres et des scories.

et les chaudières de petite taille d'une puissance installée comprise entre 2 t/h et 10 t/h, conçues selon le principe de la circulation naturelle, sont pourvues des équipements auxiliaires ci-après:

- i) Foyers à grille;
- ii) Souffleurs d'air et de gaz en combustion;
- iii) Systèmes d'évacuation des cendres et des scories;
- iv) Filtres mécaniques pour les gaz brûlés.

Toutefois, afin d'accroître le rendement global des installations, ces chaudières étaient utilisées en parallèle avec des turbines à vapeur de petite et moyenne taille (d'une puissance installée pouvant aller de 1 MW jusqu'à 12 MW dans le cadre du système de cogénération destiné à répondre à la demande d'électricité et de chaleur (des consommateurs industriels et/ou urbains) de la région.

b) **Générateurs d'eau très chaude:** Les appareils d'une puissance installée comprise entre 1 Gcal/h (1,16 MWt) et 50 Gcal/h (58 MWt) servaient à alimenter en chaleur les consommateurs urbains par le biais d'un système de chauffage urbain. Les centrales thermiques du réseau étaient équipées de générateurs d'eau très chaude destinés à alimenter en chaleur les consommateurs industriels et urbains par l'intermédiaire des systèmes de chauffage urbain mis en place dans la région minière.

c) **Générateurs d'eau chaude:** Les appareils d'une puissance installée comprise entre 0,011 Gcal/h (0,12 MWt) et 0,5 Gcal/h (0,58 MWt) situés à proximité des utilisateurs finals servaient à alimenter en chaleur les petits consommateurs domestiques.

27. Le tableau 1 donne une vue d'ensemble des centrales roumaines à charbon équipées de chaudières de petite et moyenne puissance, qui peuvent servir d'exemple pour évaluer l'impact actuel de celles-ci sur l'environnement.

Tableau 1: Vue d'ensemble des centrales roumaines à charbon équipées de chaudières de petite et moyenne puissance

	Puissance installée	Nombre approximatif de générateurs installés jusqu'en 1989	Fabricant roumain	Combustible	
				de base	d'appoint
Générateurs de vapeur	100 t/h	15	Vulcan	Lignite	Fioul
	30 t/h	20	Vulcan	Lignite	Fioul
	10 t/h	5	CUG Cluj Napoca	Lignite	Fioul
	2 t/h	17	CUG Cluj Napoca	Lignite	Fioul
	6,5 t/h	18	Vulcan	Lignite	
Générateurs d'eau très chaude	50 Gcal/h	2	Vulcan	Lignite	Fioul
	10 Gcal/h	15	CUG Cluj Napoca	Lignite	Fioul
	5 Gcal/h	10	CUG Cluj Napoca	Lignite	Fioul
	3 Gcal/h	4	CUG Cluj Napoca	Lignite	Fioul
	1 Gcal/h	4	CUG Cluj Napoca	Lignite	Fioul
Générateurs d'eau chaude	0,5 Gcal/h	3	Metalica	Lignite	Fioul
	0,258 G cal/h	1	CUG Cluj Napoca	Lignite	Fioul
	0,11 Gcal/h	5	ICMP Bucuresti	Charbon*	
	0,08 Gcal/h	200	ICMP Bucuresti	Charbon	
	0,06 Gcal/h	250	ICMP Bucuresti	Charbon	
	0,04 Gcal/h	400	ICMP Bucuresti	Charbon	
	0,03 Gcal/h	7 800	ICMP Bucuresti	Charbon	
	0,02 Gcal/h	8 300	ICMP Bucuresti	Charbon	
	0,011 Gcal/h	78	ICMP Bucuresti	Charbon	

*Conçu pour brûler tous types de combustibles solides (charbon, lignite, houille, etc.).

28. Les dispositifs classiques de combustion du charbon dans ces chaudières sont:

- *Les chambres de combustion à combustible pulvérisé* dans les générateurs de vapeur d'une puissance installée comprise entre 30 t/h et 100 t/h; et
- *Les foyers à grille* dans les générateurs de vapeur d'une puissance installée comprise entre 2 t/h et 10 t/h, les générateurs d'eau très chaude et d'eau chaude;

et pour ces chaudières, les polluants ci-après sont importants:

- Le dioxyde de soufre (SO₂);
- Les oxydes d'azote (NO_x);
- Les particules de cendre (on utilise des dépoussiéreurs électrostatiques pour retenir les particules de cendre);

mais en Roumanie, ces émissions de polluants ne sont généralement pas limitées et elles contribuent à la formation de pluie acide ainsi qu'à l'effet de serre. La majorité des chaudières à charbon de petite et moyenne puissance sont de conception dépassée et affichent un faible rendement et des niveaux de pollution élevés. Selon les statistiques disponibles, pour la Roumanie, elles consomment environ 2,5 Mt de charbon par an, ce qui signifie, compte tenu de l'écotechnologie actuelle, que les émissions correspondantes de CO₂ s'élèvent à environ 2 Mt par an.

29. La figure 8 de l'annexe fait ressortir que les émissions de CO₂ diminuent à mesure que le rendement de la chaudière augmente. Ces améliorations du rendement sont possibles grâce à la mise en œuvre de techniques propres de combustion du charbon. S'inspirant de l'expérience roumaine, les autres pays d'Europe centrale et orientale appliquent des techniques analogues aux chaudières de petite et moyenne puissance destinées à répondre à la demande d'électricité et/ou de chaleur des petits et moyens consommateurs industriels et urbains. Il faut toutefois savoir qu'étant donné les similitudes technologiques entre ces pays, la consommation de charbon de ces chaudières représente environ 10 % de la consommation totale de charbon dans ces pays.

30. Le charbon restera l'une des principales sources d'énergie primaire dans les pays d'Europe centrale et orientale. Il convient par conséquent de mettre au point des techniques propres de combustion du charbon – non seulement pour les générateurs de grande puissance utilisés dans les centrales électriques thermiques et les centrales industrielles de cogénération, mais aussi pour les chaudières de petite et moyenne puissance – en vue de remplacer les générateurs de vapeur existants par de nouveaux générateurs affichant un meilleur rendement global et une réduction des émissions. Ce sont là les buts essentiels d'une stratégie de développement durable reposant sur le charbon.

31. Après 1990, en Europe centrale et orientale, un grand nombre de ces chaudières n'étaient plus exploitées du fait de la baisse de la consommation industrielle. Or elles sont encore utiles pour répondre à la demande de chaleur dans les villes. La nouvelle orientation consiste à implanter les sources thermiques à proximité des utilisateurs finals et à promouvoir la mise en réseau des capacités de cogénération de petite et moyenne puissance. L'application des techniques propres de combustion du charbon aux petites et moyennes chaudières devrait permettre d'utiliser celles-ci dans des modules de cogénération qui pourraient alors remplacer avantageusement les installations existantes en améliorant leur rendement global.

32. L'autre solution, qui consiste à remplacer le charbon par le fioul ou le gaz naturel comme combustible de base, implique, dans un certain nombre de circonstances, des investissements lourds dans l'infrastructure, sans oublier les répercussions, sur le plan politique/gouvernemental, d'un accroissement des importations d'énergie primaire et de la dépendance à cet égard.

33. Si l'amélioration technique des chaudières à charbon de petite et moyenne puissance a eu des effets positifs, ces derniers n'ont pas fait l'objet, notamment dans les médias, d'une campagne d'information aussi bien menée que pour les installations de plus grande puissance. Il faut savoir qu'il existe un grand nombre de générateurs de petite et moyenne puissance dont on pourrait encourager la diffusion en les rangeant dans la catégorie des «générateurs en réseau». Cette approche pourrait créer l'élan nécessaire à la remise à niveau des chaudières à charbon existantes ou à leur remplacement par de nouvelles chaudières moins polluantes ainsi que par des modules de cogénération de petite et moyenne puissance.

34. Le principal obstacle tient à l'insuffisance des moyens financiers des propriétaires d'installations, qui manquent sérieusement de capitaux pour cofinancer les investissements et ont des difficultés à obtenir les garanties bancaires nécessaires pour entreprendre des projets d'investissement. Il importe donc de mettre en place un cadre juridique et administratif approprié pour soutenir les programmes d'investissement au niveau national. On pourrait évoquer plusieurs exemples de succès portant sur la conception de centrales électriques de grande puissance destinées à des entreprises ou des services publics de distribution capables d'entreprendre des travaux de modernisation (d'amélioration) complexes. Ces projets visent à atteindre la limite (le niveau) technologique le plus élevé en matière de taux de conversion du charbon en électricité et en chaleur et à réduire les émissions de polluants provenant de la combustion du charbon en conformité avec les règlements de l'Union européenne.

35. Afin de promouvoir la combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance (ce qui suppose de gros investissements), les gouvernements doivent mettre en place un cadre juridique qui permette d'appuyer la production en réseau d'électricité et de chaleur reposant sur des techniques charbonnières propres. Ce cadre juridique comprendrait en gros:

- i) L'appui des pouvoirs publics à la restructuration de l'industrie charbonnière selon une stratégie économique et sociale nationale;
- ii) Des plans d'action nationaux s'inscrivant dans des stratégies nationales de l'énergie en faveur des consommateurs situés dans les régions minières;
- iii) Des incitations à mettre en œuvre les techniques charbonnières propres dans les installations minières, les générateurs d'électricité et de chaleur fonctionnant au charbon, notamment pour les petites et moyennes unités;
- iv) La définition d'objectifs à long terme pour l'utilisation locale du charbon afin d'attirer les investissements nécessaires à la restructuration de l'industrie charbonnière locale et à la mise en œuvre de techniques propres d'utilisation du charbon;
- v) L'assurance donnée aux investisseurs d'obtenir un bon rendement de leurs investissements par le biais de contrats d'achat à long terme d'électricité et/ou de chaleur et/ou d'autres mécanismes de garantie; et

- vi) Des facilités pour la mise sur pied de coentreprises, de projets privés de production d'électricité et d'autres structures de propriété et de gestion semi-publiques ou privées dont les responsables pourraient souhaiter investir dans des projets faisant appel à des techniques charbonnières propres.

Problèmes d'environnement liés à la combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance

Problèmes d'environnement liés au charbon

36. Environ la moitié de l'électricité en Europe est produite à partir de combustibles fossiles et 30 % environ du total à partir du charbon (houille et lignite) – encore que ce chiffre soit beaucoup plus élevé dans certains pays comme l'Allemagne. La répartition de la production d'électricité par type de combustible dans l'UE (15 pays) en 1999 et des émissions correspondantes de CO₂ est indiquée dans les figures 9 et 10 de l'annexe.

37. Le charbon est, de tous les combustibles fossiles, celui qui fait l'objet des prescriptions les plus sévères concernant les émissions dans l'environnement. On ne pourra satisfaire la demande mondiale d'énergie dans l'avenir prévisible que si le charbon joue un rôle non négligeable, en particulier dans la production d'énergie électrique. Il convient donc de s'attaquer aux émissions de polluants liées à l'utilisation du charbon pour la production d'électricité – notamment celles de gaz à effet de serre – afin de les atténuer et de les maîtriser.

38. Le risque d'un changement climatique est une préoccupation légitime de la communauté internationale que partage l'Institut mondial du charbon. Celui-ci souscrit à l'objectif de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques consistant à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau excluant toute interférence anthropique dangereuse avec le système climatique. Prenant la mesure des enjeux liés à la limitation des émissions de GES et tenant compte en particulier du Protocole de Kyoto, l'Institut mondial du charbon fait sien l'objectif sous-jacent de la Convention-cadre, qui est d'appliquer les solutions les moins onéreuses, condition essentielle pour réduire au minimum les répercussions sur l'économie mondiale. Cela implique aussi de reconnaître l'importance d'un approvisionnement en énergie/électricité à des prix abordables pour appuyer le développement durable et améliorer la qualité de la vie. L'objectif de la Convention-cadre et du Protocole de Kyoto est de stabiliser les émissions de GES dans l'atmosphère – et non de réduire l'intensité du carbone – et les solutions devraient exprimer cette large approche globale. Cette perspective permet d'envisager un éventail de possibilités (notamment le piégeage et la fixation du CO₂, le développement de puits d'absorption des GES, l'accroissement du rendement, les techniques nouvelles/innovations) et de les évaluer en termes d'efficacité et de coût. L'industrie charbonnière peut continuer à jouer un rôle essentiel dans la réalisation de ces objectifs. L'Institut mondial du charbon reconnaît qu'il faut s'attendre à des améliorations continues de l'efficacité des techniques relatives au charbon et à son utilisation.

Normes relatives aux émissions de polluants

39. En 1979, la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) a élaboré la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Accepté par 42 pays (dont les États d'Europe orientale, la Fédération de Russie, les États-Unis

d'Amérique et le Canada), cet instrument consacre la responsabilité qui incombe aux gouvernements de réduire au minimum les émissions transfrontières de SO₂ et NO_x. La CEE-ONU a également fixé des normes d'émission de SO₂ pour les installations nouvelles. Les 15 États membres de la Communauté européenne, qui représentent l'Europe occidentale, ont fixé des normes d'émission de particules, de SO₂ et de NO_x pour les installations nouvelles.

Effluents solides

40. D'une manière générale, les normes relatives aux effluents solides produits par les centrales électriques sont minimales. L'élimination des déchets solides peut poser un problème économique important, notamment lorsque des mesures de limitation des polluants sont appliquées. Le procédé classique de désulfuration des gaz de combustion à la chaux éteinte produit des boues dont l'évacuation exige des étendues de terres importantes. Les mesures de limitation des émissions de NO_x, telles que les brûleurs à faible dégagement de NO_x et la réduction non catalytique sélective, peuvent ôter toute valeur marchande aux cendres volantes à cause de résidus excessifs de carbone ou d'ammoniac en l'absence d'une réglementation appropriée.

Émissions de carbone

41. Les inquiétudes actuelles quant aux risques d'un changement climatique mondial touchent à un enjeu écologique dont les répercussions sur les décisions relatives à l'addition de nouveaux moyens de production dans les pays industrialisés ne sont pas négligeables. Actuellement, la production d'électricité dans les centrales au gaz naturel, qui permet de réduire de 50 % les émissions de carbone, occupe une place prédominante dans les nouvelles capacités de production ajoutées.

42. La gestion du carbone est une préoccupation à long terme pour tous les pays. Il est à l'évidence nécessaire de mettre au point de nouvelles techniques de gestion du carbone peu coûteuses, notamment des solutions pour la fixation du carbone. La plupart des experts et organisations s'intéressant à l'énergie, notamment le Conseil mondial de l'énergie et l'Union européenne, s'accordent à reconnaître qu'une part substantielle de la demande d'énergie primaire sera composée de charbon, de pétrole et de gaz dans un avenir prévisible. Si de nouvelles techniques permettent de fixer et de stocker en permanence le CO₂, le charbon pourrait devenir une source d'énergie durable vu la très large répartition des réserves. Il importe donc d'appuyer activement l'utilisation rationnelle et efficace des combustibles fossiles et d'encourager la recherche sur les techniques de fixation et de dépôt du CO₂ en même temps que la mise en valeur des énergies durables, renouvelables ou autres.

43. Bien que les centrales au gaz aient un rendement plus élevé et exigent moins d'investissements que les centrales à charbon, celles-ci sont toujours utilisées pour la production d'électricité à cause d'un certain nombre de facteurs importants, et notamment pour les raisons suivantes:

- Le gaz n'est pas partout meilleur marché que le charbon;
- Le marché international du charbon est diversifié, d'où une plus grande sécurité de l'approvisionnement;

- Le charbon est relativement peu coûteux et son prix est stable par rapport à celui d'autres combustibles;
- Le charbon peut être transporté facilement et sans danger;
- Le coût d'investissement d'un grand nombre de centrales à charbon existantes est amorti.

44. *Le charbon satisfait également aux exigences écologiques. Les niveaux de conversion en termes d'efficacité énergétique dans les centrales à charbon modernes sont proches de 45 %. Ils impliquent des conditions de vapeur supercritiques et une épuration efficace des gaz de combustion. Les centrales à charbon sont capables de satisfaire aux limites fixées pour telles ou telles émissions grâce à l'utilisation d'un matériel antipollution moderne et à la régulation de la combustion. Les épurateurs et les filtres catalytiques permettent de réduire à de faibles niveaux la teneur des gaz de combustion en oxydes de soufre et d'azote et en particules. Une combustion optimisée et l'épuration des gaz de combustion permettent également d'éliminer les émissions de matières polyorganiques, de substances chlorées et de métaux lourds. D'autres industries sont en mesure d'utiliser les cendres provenant du charbon. Le seul domaine dans lequel le charbon, actuellement, n'est pas à la hauteur des autres combustibles, c'est celui qui concerne les émissions de CO₂ au stade de la combustion.*

45. L'amélioration du rendement est actuellement le moyen le plus facile et le plus économique de réduire les émissions de CO₂. Le rendement de conversion du combustible en électricité dans une installation très ancienne pourrait être de 30 %, alors qu'il peut atteindre environ 45 % dans une centrale à charbon moderne. Cela revient à obtenir un accroissement de 50 % de la production d'électricité pour le même niveau d'émissions de CO₂. Une centrale affichant un rendement de conversion d'environ 35 à 45 % peut atteindre une efficacité totale de 90 % si elle est conçue comme une centrale de production combinée d'électricité et de chaleur. Toutefois, il y a des limites physiques à la bonne exploitation de ce type de centrale.

46. À plus long terme, la solution consistant à isoler le CO₂ des combustibles fossiles et à le stocker durablement ne manque pas d'attraits. Les possibilités sont immenses et il existe déjà une expérience industrielle considérable. Le stockage permanent du CO₂ en couches poreuses dans le sol se pratique à l'échelle industrielle depuis 25 ans environ. Pour des raisons commerciales, on se sert du CO₂ pour faciliter l'extraction du pétrole, et le coût du forage et du pompage se situe entre 5 et 10 dollars É.-U. par tonne de CO₂. On peut, soit séparer le carbone du combustible, soit piéger le CO₂ dans les gaz de combustion. La séparation du CO₂ des gaz de combustion repose sur un procédé d'adsorption utilisant une amine comme adsorbant récupérable. Ce procédé exige à la fois un apport d'énergie et un investissement. La décarburation du combustible est un peu plus simple, mais elle entraîne une perte d'énergie. L'enlèvement du carbone par ces deux méthodes coûte, selon les calculs, de l'ordre de 35 à 50 dollars É.-U. par tonne de CO₂ dans les conditions actuelles. Les recherches sur le piégeage et le stockage du CO₂, tant par les procédés existants que par des procédés nouveaux, ont été accélérées dans de nombreux pays et les coûts devraient baisser à l'avenir.

47. Il importe de trouver des solutions durables pour limiter les émissions de CO₂. Toutes les solutions doivent être envisagées pour atteindre les objectifs du Protocole de Kyoto. Si l'on veut parvenir à un seuil d'équilibre et que l'on constate que les concentrations de CO₂ dans

l'atmosphère dépassent ce niveau, alors il faut appliquer des limites beaucoup plus strictes. Il est également impératif que les initiatives prises à court terme ne rendent pas les solutions durables plus coûteuses à l'avenir. Remplacer le charbon par le gaz, par exemple, est un choix à court terme qui aura des conséquences négatives à long terme. Investir dans de nouveaux gazoducs et construire de nouvelles centrales au gaz excluant tout autre combustible n'est pas une solution durable pour traiter le problème des émissions de CO₂. Le piégeage et le stockage du CO₂ provenant du secteur de l'énergie représentent, semble-t-il, la démarche la plus intéressante pour atteindre l'objectif du développement des énergies durables en Europe.

Exigences environnementales auxquelles doit satisfaire la combustion du charbon dans les petites et moyennes chaudières

48. L'Union européenne a adopté un certain nombre de directives qui fixent les niveaux maxima admissibles pour différents polluants atmosphériques. La plus importante est la directive-cadre relative à la qualité de l'air ambiant (96/62/CEE). Celle-ci exige que les États membres utilisent des méthodes communes pour évaluer la qualité de l'air ambiant, fournissent des informations adéquates au public et établissent des plans pour relever la qualité de l'air ambiant au niveau des nouvelles normes.

49. Les petites sources fixes rejettent de grandes quantités de fumée et de particules. La combustion de charbon pour le chauffage domestique dans les petits établissements commerciaux et industriels et dans les petites installations de chauffage urbain sont les sources de loin les plus importantes de telles émissions. Ainsi, la Pologne va devoir prendre un certain nombre de mesures pour améliorer la qualité de l'air dans les villes qui ne satisfont pas actuellement aux normes de qualité de l'air ambiant, à savoir:

- Adopter des modes de combustion du charbon qui engendrent moins de pollution, principalement en faisant une place plus importante aux grandes installations de chauffage urbain pouvant être équipées de dispositifs antiparticules efficaces; et
- Opter pour l'utilisation de charbons plus propres, en exigeant éventuellement l'utilisation d'antracites ou de combustibles sans fumée, par exemple de charbon que l'on a traité pour enlever les cendres et la plupart des composés volatils dont la combustion dégage des fumées.

50. À l'aide des données sur l'utilisation des combustibles, les émissions, les différentes techniques antipollution et la dispersion des polluants atmosphériques dans l'agglomération de Katowice, la Banque mondiale a effectué une évaluation préliminaire du rapport coût-efficacité de différentes mesures visant à réduire les niveaux de pollution atmosphérique afin de satisfaire aux normes UE proposées. Plus de 80 % de l'exposition moyenne aux particules PM₁₀ – soit l'équivalent de 42 µg/m³ – à Katowice sont le produit des émissions de faible intensité dues à la combustion du charbon dans les fourneaux et chaudières de petite taille. Plus de 50 % de celles-ci sont à mettre au compte des émissions provenant des communes de Katowice, Bytom, Chorzow, Swietoclowice et Ruda Slaska, qui abritent une population d'environ 925 000 personnes sur un total de 2 460 000 pour l'ensemble de l'agglomération. Leur contribution à l'exposition moyenne est considérable, tant en raison du volume de charbon que consomment les ménages de ces communes, que de la situation géographique compte tenu du régime des vents et des modes de dispersion. Les sources intermédiaires, à savoir principalement les chaudières

industrielles brûlant du charbon, représentent une exposition moyenne de près de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que les grandes sources contribuent pour très peu à l'exposition moyenne pour la raison que leurs émissions sont dispersées sur une très vaste superficie. La stratégie optimale concernant l'amélioration de la qualité de l'air a montré que la norme fixée pour 2005 – à savoir $30 \mu\text{g}$ de particules PM10 en moyenne par m^3 d'air – devrait pouvoir être atteinte sur toute l'agglomération à un coût inférieur à 50 millions de dollars É.-U. par an. La norme pour 2010 de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ devrait pouvoir être atteinte à un coût inférieur à 80 millions de dollars É.-U. par an. Satisfaire à la norme de $30 \mu\text{g}$ de SO_2 par m^3 serait une entreprise plus onéreuse dont le coût pourrait atteindre 125 millions de dollars É.-U. par an. Les principaux enseignements qui se dégagent de l'étude de cas polonaise sont les suivants:

- Le volet essentiel de toute stratégie visant à améliorer localement la qualité de l'air devrait consister à entreprendre des *mesures pour réduire les émissions provenant des sources locales de combustion du charbon*;
- Les principales solutions consistent à *utiliser un combustible sans fumée* et à *mettre en œuvre une technologie propre de combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance*;
- *La limitation des émissions* provenant des chaudières de petite et moyenne puissance fonctionnant au charbon *contribuera à l'amélioration de la qualité de l'air moyennant un coût relativement bas (6 à 12 millions de dollars É.-U. pour $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de réduction moyenne des émissions de particules PM10).*

La situation particulière des ménages pauvres

51. Le coût pour les ménages pauvres de l'application des mesures concernant la qualité de l'air serait relativement élevé en l'absence de toute aide. Le charbon sans fumée coûte environ 80 % de plus que le charbon utilisé actuellement. *Un programme d'assistance pourrait tendre principalement à subventionner le charbon propre ou à aider les ménages à remplacer leurs chaudières de petite et moyenne taille existantes par de nouvelles chaudières faisant appel aux techniques de combustion propre du charbon.*

Normes d'émission relatives à la combustion du charbon, notamment dans les chaudières de petite et moyenne taille

Vue d'ensemble

52. Les principaux règlements et directives de l'UE portant sur la protection de l'environnement sont les suivants:

Législation de l'UE dans le domaine de la qualité de l'air:

- *Évaluation et gestion de la qualité de l'air ambiant:*
 - La Directive-cadre 96/62/CE concernant la qualité de l'air,

- *Normes de qualité de l'air ambiant (valeurs limites et lignes directrices):*
 - Directive 99/30/CE relative à l'anhydride sulfureux, au dioxyde d'azote et aux oxydes d'azote, aux particules et au plomb dans l'air ambiant. Elle remplacera les directives ci-après:
 - * Directive 80/779/CEE (modifiée par les Directives 89/427/CEE et 91/692/CEE), relative à la pollution de l'air par l'anhydride sulfureux
 - * Directive 82/884/CEE (modifiée par la Directive 91/692/CEE), relative à la pollution de l'air par le plomb
 - * Directive 85/203/CEE (modifiée par la Directive 91/692/CEE), relative à la pollution de l'air par le dioxyde d'azote
- *Réglementation des produits et manipulation des matériaux:*
 - Directive 99/13/CE relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques
 - Directive 98/70/CE concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel
 - Directive 97/68/CE relative aux émissions provenant des moteurs destinés aux engins mobiles non routiers
 - Directive 93/12/CEE, modifiée par la Directive 99/32/CE, relative à la teneur en soufre de certains combustibles liquides
 - Directive 94/63/CE relative aux émissions de COV résultant du stockage et de la distribution de l'essence
 - Décision 88/540/CEE du Conseil concernant le Protocole de Montréal (Appauvrissement de la couche d'ozone)
- *Surveillance et échanges d'informations:*
 - Directive 92/72/CEE concernant la pollution de l'air par l'ozone troposphérique
 - Décision 93/389/CEE du Conseil relative à la surveillance des émissions de CO₂ et des autres gaz à effet de serre
 - Décision 86/277/CEE du Conseil concernant le Protocole relatif au financement à long terme du programme EMEP
 - Décision 96/511/CE de la Commission relative à un questionnaire sur la pollution atmosphérique

- Directive 90/313/CEE du Conseil concernant l'accès à l'information en matière d'environnement

Législation de l'UE relative à la réduction de la pollution d'origine industrielle et à la gestion des risques:

- Directive 96/61/CEE relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution;
- Directive 84/360/CEE relative à la lutte contre la pollution atmosphérique en provenance des installations industrielles;
- Directive 88/609/CEE (modifiée par la directive 94/66/CE) relative aux grandes installations de combustion;
- Directive 96/82/CE concernant la maîtrise des dangers liée aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses;
- Décision 81/462/CEE du Conseil concernant la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

Législation horizontale de l'UE:

- Directive 85/337/CEE modifiée par la directive 97/11/CE concernant l'évaluation de l'impact sur l'environnement;
- Directive 90/313/CEE relative à l'accès à l'information en matière d'environnement;
- Directive 92/72/CEE du Conseil du 21 septembre 1992 concernant la pollution de l'air par l'ozone;
- Directive 2001/58/CE de la Commission du 27 juillet 2001 portant deuxième modification de la directive 91/155/CEE définissant et fixant, en application de l'article 14 de la directive 1999/45/CE du Parlement européen et du Conseil, les modalités du système d'information spécifique relatif aux préparations dangereuses et, en application de l'article 27 de la directive 67/548/CEE du Conseil, les modalités du système d'information spécifique relatif aux substances dangereuses;
- Directive 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant;
- Mécanisme de surveillance des émissions de CO₂ et les autres gaz à effet de serre, 93/389/CEE;

- Directive 90/313/CE du Conseil du 7 juin 1990 concernant la liberté d'accès à l'information en matière d'environnement;
- Directive 89/429/CEE du Conseil, du 21 juin 1989, concernant la réduction de la pollution atmosphérique en provenance des installations existantes d'incinération des déchets municipaux;
- Décision 86/277/CEE du Conseil du 12 juin 1986 concernant la conclusion du protocole à la Convention de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance relatif au financement à long terme du programme de coopération pour la surveillance continue et l'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP);
- Directive 97/11/CE du Conseil du 3 mars 1997 modifiant la directive 85/337/CEE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement;
- Directive 96/62/CE du Conseil du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant.

Normes d'émission portant sur la combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance

53. Les pays d'Europe centrale et orientale ne cessent de modifier leurs prescriptions relatives à la protection de l'environnement en vue d'atteindre les normes fixées par l'Union européenne. Étant donné que le processus de négociation concernant l'entrée des pays d'Europe centrale et orientale dans l'Union européenne est actuellement en cours, ces pays doivent s'appliquer à satisfaire à toutes les prescriptions de l'UE relatives à la protection de l'environnement. Certains d'entre eux ont fixé des prescriptions (valeurs limites) différentes en matière de pollution atmosphérique pour les sources de grande, moyenne et petite taille. C'est ainsi que dans la République tchèque, la loi n° 389/1991 relative à la lutte contre la pollution atmosphérique stipule que les sources de pollution provenant d'installations exploitées par des particuliers (non entrepreneurs) et dont la production thermique ne dépasse pas 50 kWt sont exemptées des sanctions relatives à l'environnement. En Roumanie, la protection de l'environnement est régie par les dispositions ci-après:

- Loi n° 137/1995 modifiée et rééditée en 2000, relative à la protection de l'environnement;
- Loi n° 655/2001 relative à la protection de l'atmosphère;
- Loi n° 107/1966 relative à l'eau.

La loi n° 137/1995, modifiée et rééditée en 2000, relative à la protection de l'environnement régit les activités de protection de l'environnement en Roumanie. Elle comprend des dispositions applicables aux générateurs thermiques d'une puissance supérieure à 100 MWt. Les niveaux maxima d'émission pour les chaudières à charbon d'une puissance inférieure ou égale à 100 MWt sont les suivants:

	Unité	Valeur limite
Particules	Mg/Nm ³	100
CO	Mg/Nm ³	250
SO ₂	Mg/Nm ³	200
NO _x	Mg/Nm ³	500

Obstacles à l'installation de petites et moyennes chaudières plus performantes

54. L'application des normes écologiques de l'UE aux pays d'Europe centrale et orientale ne peut se faire que graduellement eu égard à l'existence dans ces pays des obstacles suivants:

- La majeure partie des installations existantes (notamment dans le secteur des petites et moyennes chaudières) sont vétustes et ont dépassé leur durée de vie théorique. Leur modernisation en vue de respecter les normes écologiques de l'UE exigera du temps et des moyens financiers;
- Les nouvelles technologies relatives à la combustion propre du charbon coûtent relativement cher, et la plupart des pays n'ont pas les moyens de remplacer tous les équipements existants à court ou moyen terme;
- Faute d'un soutien des pouvoirs publics (en termes de financement et de garantie des investissements), le processus de restructuration du secteur de l'énergie aura d'importantes répercussions négatives sur les plans économique et social.

55. Il convient de reconnaître que les principaux obstacles à la promotion des chaudières à charbon de petite et moyenne puissance sont les suivants:

- L'absence de programmes nationaux ou internationaux axés sur la promotion des techniques de combustion propre du charbon en vue du remplacement des installations «polluantes» existantes;
- Il faudrait élaborer une stratégie nationale, ainsi qu'une directive internationale, qui permettraient de recenser les ressources utilisables dans tous les pays dans le secteur de la production d'électricité et de chaleur. À cet égard, il importe de souligner l'orientation actuelle en faveur du développement des centrales de cogénération de petite et moyenne taille fonctionnant au gaz naturel, étant donné que le gaz naturel est le combustible fossile le plus propre, que sa technologie est la plus efficace et que c'est le produit le meilleur marché à la livraison;
- La politique de la Banque mondiale en matière de financement de projets dans le secteur énergétique pourrait viser à promouvoir et à créer des fonds de financement spéciaux dont les conditions d'accès seraient particulièrement favorables à la mise en œuvre des techniques propres d'utilisation du charbon, notamment dans les installations de petite et moyenne puissance.

56. Pour favoriser la mise en œuvre de chaudières au charbon de petite et moyenne puissance plus performantes, les gouvernements devraient adopter les mesures suivantes:

Mesures recommandées au niveau national:

- Mettre en place un cadre juridique concret destiné à encourager et appuyer l'utilisation des techniques propres de combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance;
- Élaborer un plan d'action national s'inscrivant dans une stratégie nationale de l'énergie, tout au moins pour les installations de production situées dans les bassins charbonniers;
- Fixer des objectifs à long terme pour l'utilisation locale du charbon et la mise en œuvre d'une technologie charbonnière propre afin d'attirer des investissements par le biais d'avantages concrets incitant à remettre en état/moderniser et/ou remplacer les chaudières au charbon de petite et moyenne puissance existantes;
- Créer un fonds national d'équipement pour appuyer le cofinancement de projets concernant la remise en état/la modernisation/le remplacement des chaudières existantes au charbon de petite et moyenne puissance. On peut en trouver un bon exemple dans la République tchèque et en Roumanie où plusieurs fonds nationaux d'équipement (appelés aussi fonds d'État pour l'environnement) ont été créés afin d'encourager l'application de techniques respectueuses de l'environnement;
- Instituer des avantages en faveur des coentreprises, des producteurs indépendants, des systèmes de financement par des tiers et d'autres structures de propriété et de gestion semi-publiques ou privées, en vue de promouvoir la mise en œuvre de techniques propres de combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance (projets de cogénération utilisant des chaudières au charbon de petite et moyenne puissance);
- Fournir aux investisseurs l'assurance de retirer un juste profit de leur investissement par la conclusion de contrats d'achat à long terme d'électricité et/ou de chaleur et/ou l'application d'autres mécanismes de garantie;
- Faire connaître et promouvoir plus énergiquement les nouvelles technologies charbonnières moins polluantes, ainsi que les avantages qu'elles présentent pour la protection de l'environnement.

Mesures à prendre au niveau international pour appuyer les programmes nationaux:

- Harmoniser le cadre juridique entre les pays de l'UE et évaluer les mesures législatives d'application à la lumière des rapports annuels par pays;
- Lancer des programmes de recherche-développement axés sur la combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance et s'inspirant des programmes internationaux (PC5, PC6, ERA, etc.) déjà en place;

- Créer une base de données internationale sur l'état des techniques de combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance en vue de la diffusion d'informations sur les succès enregistrés dans ce domaine;
- Créer un fonds d'équipement international destiné à financer l'installation de chaudières au charbon de petite et moyenne puissance et qui serait alimenté par les fabricants de chaudières, les fonds pour l'environnement, les institutions financières internationales, etc.;
- Continuer à promouvoir l'utilisation de chaudières de petite et moyenne puissance, performantes et respectueuses de l'environnement, dans le cadre des activités menées par la Division de l'énergie durable de la CEE-ONU, notamment par des initiatives spécifiques et des mesures pertinentes aux niveaux international et national.

Mise en place, financement et compétitivité des chaudières de petite et moyenne puissance

Concurrence entre les combustibles dans les pays d'Europe centrale et orientale

57. À la lumière de la situation économique réelle des pays d'Europe centrale et orientale, on se rend compte que le critère déterminant de la demande totale d'énergie est le prix des combustibles. De ce point de vue, il n'est plus à démontrer que l'utilisation du charbon pour répondre à la demande d'énergie peut rivaliser avec le fioul ou le gaz naturel importé. Les prix mondiaux du charbon ont baissé sensiblement en 1999 en raison:

- de taux de change favorables aux principaux exportateurs;
- des gains de productivité;
- d'un accroissement des capacités d'exportation;
- d'une négociation agressive des prix chez les importateurs;

mais la situation a radicalement changé en 2000, les prix de l'énergie ayant globalement augmenté dans de fortes proportions. Le prix du pétrole brut a oscillé au-dessus de 30 dollars le baril et les prix du gaz ont augmenté en conséquence. S'agissant du charbon, après la baisse enregistrée en 1999 et la stabilisation en fin d'année, les prix ont commencé à monter dans les premiers mois de 2000 et ont fait un bond – par rapport à leur niveau antérieur – au cours des mois d'été.

58. Par ailleurs, pour obtenir leur entrée dans l'Union européenne, ces pays devront appliquer les normes de l'UE relatives à la protection de l'environnement. Du fait de l'adoption de nouveaux règlements, ils vont devoir consentir des investissements plus lourds pour adapter leurs centrales à houille aux nouvelles prescriptions en matière de protection de l'environnement, lesquelles prévoient notamment l'élimination catalytique des oxydes d'azote dans les gaz de combustion. Les deux technologies (gaz et pétrole) deviendront par conséquent équivalentes du point de vue des coûts de production, mais des rejets beaucoup plus faibles dans l'atmosphère ainsi que l'absence de déchets de combustion justifieront d'investir dans des centrales électriques fonctionnant au gaz naturel.

59. Une technique connue sous le nom de gazéification du charbon, qui fait depuis des années l'objet de recherches, permet d'obtenir du gaz à partir du charbon et pourrait devenir une solution de rechange face à la progression du gaz naturel dans le secteur de la production d'énergie. Les résultats d'exploitation de ces dernières années montrent qu'il est possible de remplacer le gaz naturel dans les turbines par du gaz provenant du charbon. L'investissement nécessaire sera de l'ordre de 1 500 à 2 300 dollars É.-U./kW et le prix de revient moyen de l'électricité sera d'environ 5 cents É.-U./kWh, soit un coût plus élevé que celui auquel on arrive actuellement dans les centrales classiques au charbon ou dans les tranches modernes à vapeur et au gaz.

60. Les techniques appelées à s'imposer dans les centrales électriques des pays d'Europe centrale et orientale au cours des prochaines années sont probablement:

- Les centrales classiques à charbon dotées d'un cycle vapeur moderne et d'un système de désulfuration des gaz de combustion par voie humide; et
- Les tranches gaz-vapeur au gaz naturel à haute performance.

61. Tant les tranches à charbon que les tranches au gaz naturel peuvent être caractérisées par leurs avantages et leurs inconvénients les plus importants, tels qu'ils sont mis en lumière respectivement au tableau 2 de la page 27.

Techniques propres de combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance

62. Dans les chaudières de petite et moyenne puissance, la technique de combustion propre du charbon la plus courante est celle de la combustion en lit fluidisé entraîné. Ce procédé permettant de produire de la chaleur à partir d'une large gamme de combustibles solides s'est avéré compatible avec l'environnement. Bien qu'elle ait moins de 20 ans, cette technique a atteint sa maturité. Elle est appliquée dans le monde entier à de nombreuses chaudières, à partir d'une puissance de 5 MWt. Les centrales calorifiques et les producteurs indépendants de chaleur et d'électricité doivent choisir une technologie qui permette d'utiliser toute une gamme de combustibles solides bon marché, de réduire les émissions et d'abaisser le coût du cycle de vie. Pour appliquer cette technique de combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance, les pays d'Europe centrale et orientale auront besoin de l'appui des fabricants occidentaux possédant une solide expérience dans ce domaine.

Tableau 2: Avantages et inconvénients comparés des centrales au charbon et au gaz naturel

AVANTAGES	
<i>Centrales classiques à charbon</i>	<i>Centrales à cycle mixte au gaz naturel</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Combustible peu onéreux • Combustible disponible dans le pays • Création d'emplois dans l'industrie minière locale • Possibilité de payer le charbon en monnaie locale • Excellente expérience de l'exploitation et de l'entretien • L'industrie locale peut fournir l'essentiel du matériel 	<ul style="list-style-type: none"> • Excellent rendement de conversion de l'énergie du combustible en électricité • L'émission de polluants dans l'atmosphère est plusieurs fois inférieure à celle des centrales à charbon • Aucun déchet de combustion • Investissement initial peu élevé • Délais de construction courts • Prix de revient de la cogénération peu élevés
INCONVÉNIENTS	
<i>Centrales classiques à charbon</i>	<i>Centrales à cycle mixte au gaz naturel</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Grosses quantités de déchets de combustion • Émission plus importante de polluants dans l'atmosphère • Investissement initial élevé • Longs délais de construction • Prix de revient de la cogénération élevés • Les aires de stockage du charbon et des déchets mobilisent des surfaces importantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé du combustible • Dépendance à l'égard du fournisseur (risque de monopolisation de l'approvisionnement) • Montée des problèmes sociaux dans les régions minières du fait de la diminution des contrats de fourniture de charbon • Dépendance à l'égard du gaz naturel importé impliquant la nécessité de constituer des fonds de réserve en dollars É.-U. • Peu d'expérience en matière d'exploitation et d'entretien • Aucune industrie locale n'est en mesure de fournir les principales pièces de rechange

63. Il faut reconnaître qu'il existe dans les pays d'Europe centrale et orientale un certain nombre d'entreprises qui connaissent bien les techniques propres de combustion du charbon. Malheureusement, ces entreprises ont beaucoup pâti des changements économiques et politiques survenus au cours des 12 dernières années. Moyennant un appui international (ou de l'UE), elles devraient être capables d'assurer la mise en œuvre de programmes faisant appel à des techniques propres de combustion du charbon dans le secteur des chaudières de petite et moyenne puissance. Une initiative conjointe associant des entreprises occidentales à des entreprises d'Europe centrale et orientale serait peut-être la solution idéale pour assurer un développement durable des techniques propres de combustion du charbon dans la région d'Europe centrale et orientale.

Conclusions et programme d'action

64. Les conclusions peuvent se résumer comme suit:

- i) Le charbon est le combustible fossile de loin le plus abondant dans le monde. Les réserves connues sont suffisantes pour plus de 200 ans;
- ii) Si l'on veut utiliser le charbon comme principale source d'énergie primaire, il convient de satisfaire à quelques exigences écologiques fondamentales. La mise en œuvre d'une technologie propre d'utilisation du charbon offre la possibilité d'utiliser le charbon tout en respectant l'environnement;
- iii) Les techniques propres d'utilisation du charbon permettent d'obtenir un meilleur rendement de combustion et de réduire les émissions d'oxydes de soufre et d'azote tout en offrant de nets avantages par rapport aux systèmes classiques d'utilisation du charbon. Dans les nouvelles centrales à charbon, les techniques propres permettent de réduire les émissions à un niveau écologiquement acceptable et la nouvelle technologie assure un rendement plus élevé tout en réduisant les émissions de CO₂;
- iv) Les possibilités d'appliquer les nouvelles techniques de combustion propre du charbon dans le secteur des petites et moyennes chaudières dans les pays d'Europe centrale et orientale pourraient devenir intéressantes sachant que la consommation annuelle de charbon de ces chaudières représente plus de 10 % de la consommation annuelle totale de charbon dans ces pays;
- v) Des mesures gouvernementales sont nécessaires pour appliquer des normes d'émission susceptibles d'encourager la mise en œuvre des techniques propres de combustion du charbon dans le secteur des petites et moyennes chaudières;
- vi) Il convient d'encourager l'industrie à créer des coentreprises et des mécanismes de financement par des tiers;
- vii) Les entreprises de recherche, les sociétés d'ingénierie et les bureaux d'études doivent se doter d'une base de données afin de pouvoir proposer leurs services dans le domaine des techniques de combustion propre du charbon appliquées aux petites et moyennes chaudières;

- viii) Les producteurs de charbon doivent s'intéresser plus activement au marché des petits utilisateurs;
- ix) Les industries manufacturières devraient utiliser de manière plus agressive les instruments de promotion commerciale pour vendre leurs produits dans les pays d'Europe centrale et orientale;
- x) Les difficultés rencontrées dans la modernisation des petites installations tiennent généralement à l'insuffisance des moyens financiers des propriétaires face au coût élevé de la remise en état des chaudières existantes ou de leur remplacement par de nouveaux équipements modernes;
- xi) Pour obtenir les financements nécessaires à la mise en œuvre des techniques propres de combustion du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance afin de réduire les émissions de GES, on pourrait faire jouer les mécanismes du Protocole de Kyoto, notamment l'application conjointe, l'échange de droits d'émission et le mécanisme pour un développement propre (MDP);
- xii) La mise en œuvre des techniques propres de combustion du charbon dans les pays d'Europe centrale et orientale exige que les gouvernements, les sociétés d'ingénierie et les professionnels unissent leurs efforts pour parvenir à des résultats fructueux et être à même de les reproduire;
- xiii) Des transferts de technologie et des investissements étrangers sont nécessaires; et
- xiv) L'élimination des obstacles institutionnels et commerciaux devrait faciliter le transfert et l'application rapides des techniques propres de combustion du charbon. Les entreprises locales, mettant à profit les connaissances indispensables transférées par les entreprises les plus modernes et les plus expérimentées d'Europe occidentale, pourraient alors appliquer chez elles les nouvelles techniques propres d'utilisation du charbon.

65. Programme d'action: pour assurer le développement durable de la technologie propre de combustion du charbon dans le secteur des chaudières de petite et moyenne puissance, l'UE et les pays d'Europe centrale et orientale doivent élaborer et mettre en œuvre un plan d'action énergétique.

66. Les principaux objectifs de ce programme d'action seraient:

- i) D'harmoniser le cadre juridique entre les pays de l'UE et d'évaluer les mesures législatives d'application à la lumière des rapports annuels par pays;
- ii) De lancer des programmes de recherche-développement axés sur la combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance et s'inspirant des programmes internationaux (PC5, PC6, ERA, etc.) déjà en place;
- iii) De créer une base de données internationale sur l'état des techniques de combustion propre du charbon dans les chaudières de petite et moyenne puissance, en vue de la diffusion d'informations sur les succès enregistrés dans ce domaine;

- iv) De créer un fonds d'équipement international destiné à financer l'installation de chaudières au charbon de petite et moyenne puissance et qui serait alimenté par les fabricants de chaudières, les fonds pour l'environnement, les institutions financières internationales, etc.;
- v) De continuer à promouvoir l'utilisation de chaudières de petite et moyenne puissance, performantes et respectueuses de l'environnement dans le cadre des activités menées par la Division de l'énergie durable de la CEE-ONU, notamment par des initiatives spécifiques et des mesures pertinentes aux niveaux international et national.

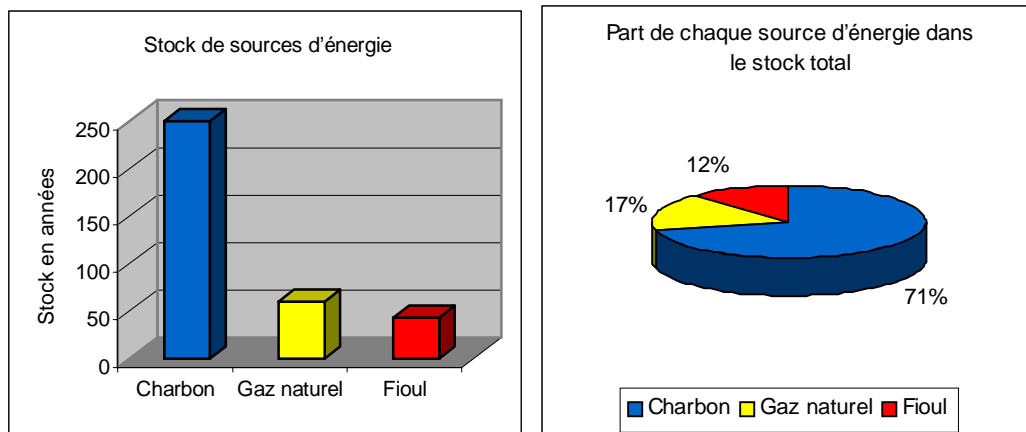
Sources d'information/références

- i) Administration de l'information sur l'énergie, *International Energy Outlook 2001*, mars 2001;
- ii) Coal Research – The Clean Coal Centre de l'AIE, *Emissions Standards Handbook*, août 1997;
- iii) *Annual Energy Review*, 1999;
- iv) Atelier international sur «l'utilisation propre du charbon – une option fiable pour une énergie durable», 24-26 mai 2001, Szczyrk (Pologne);
- v) Évaluation indépendante par des ONG de la deuxième communication nationale présentée au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques: «Europe centrale et orientale», octobre 2000;
- vi) Coal – Power for Progress, Institut mondial du charbon, mars 2000, et site Web de l'Institut mondial du charbon;
- vii) Power Engineering International, octobre 2001;
- viii) VGB PowerTech, juin 2001;
- ix) Ecoal – bulletin de l'Institut mondial du charbon, septembre 2001;
- x) District Heat in Europe – Euroheat&Power, 2001 Survey;
- xi) Manuel de statistiques international 2001 – Institut roumain de la statistique;
- xii) Hossein Razavi, Ph. D. – *Financing Energy Projects in Emerging Economies*, PenWell Books, 1996;
- xiii) Sites Web de la Banque mondiale, de la BIRD et de la BERD;
- xiv) Site Web de l'Agence internationale de l'énergie (AIE);

- xv) Bryers, R. W., and Kramer, W. E. – The Status of Technology of Fluidised Beds for Combustion of Solid Fuels;
- xvi) Valk, M., and Bijvoet, U. H. C. – Atmospheric Fluidised Bed Coal Combustion, 1995;
- xvii) Site Web du Département de l'énergie des États-Unis;
- xviii) Direction générale de l'énergie de la Commission européenne – Clean Coal Technology newsletter, février 1999,
- xix) ISPE: base de données et expérience connexe.

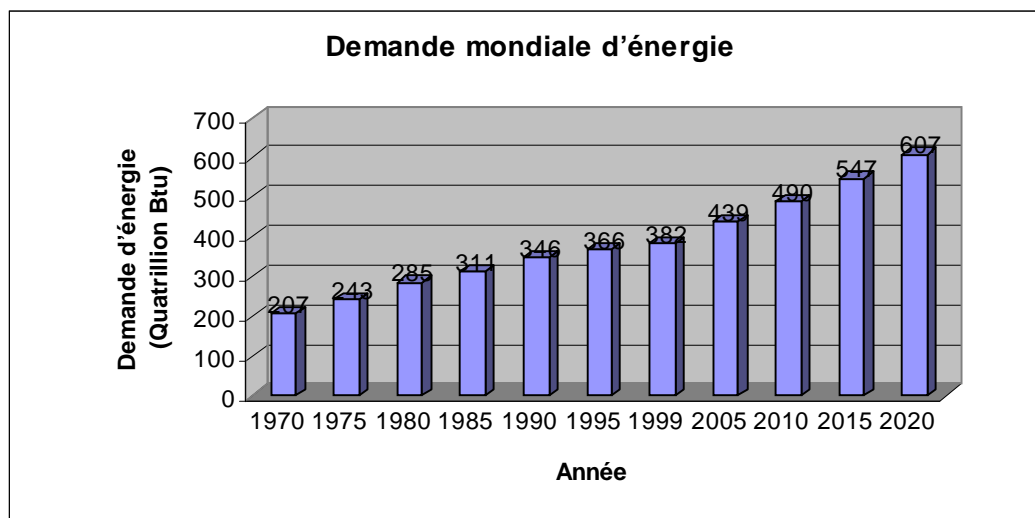
ANNEXE

Figure 1



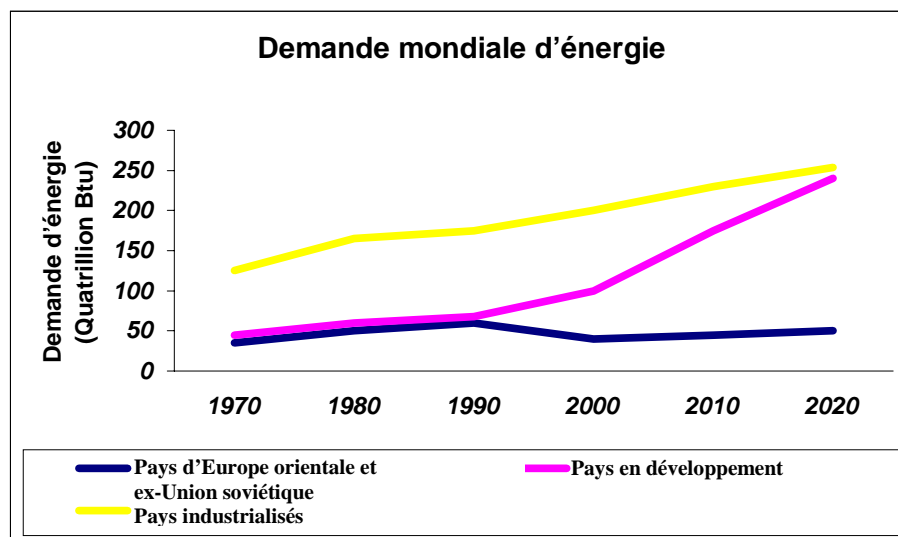
Source: CEE-ONU.

Figure 2



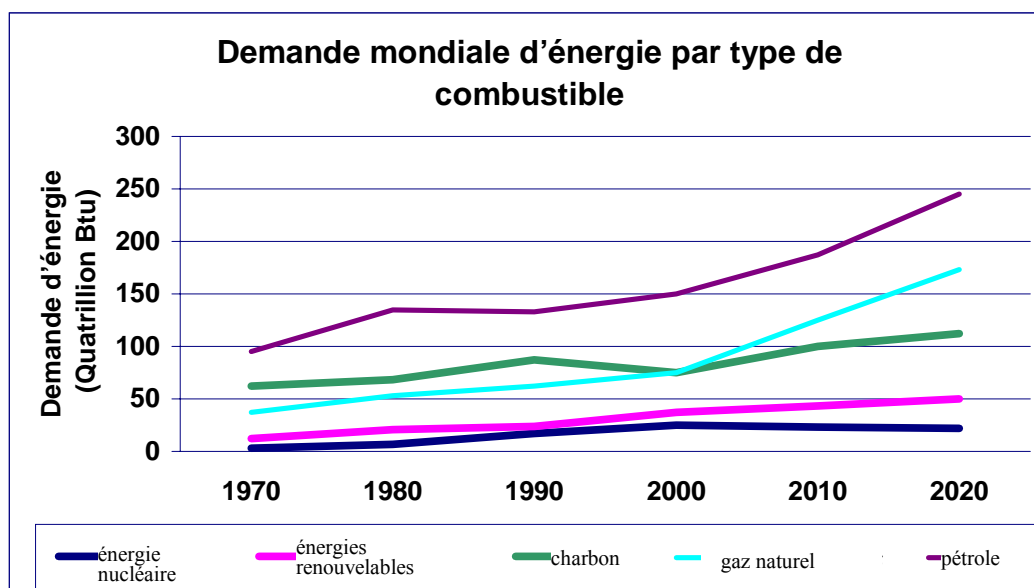
Source: EIA – International Energy Outlook 2001.

Figure 3

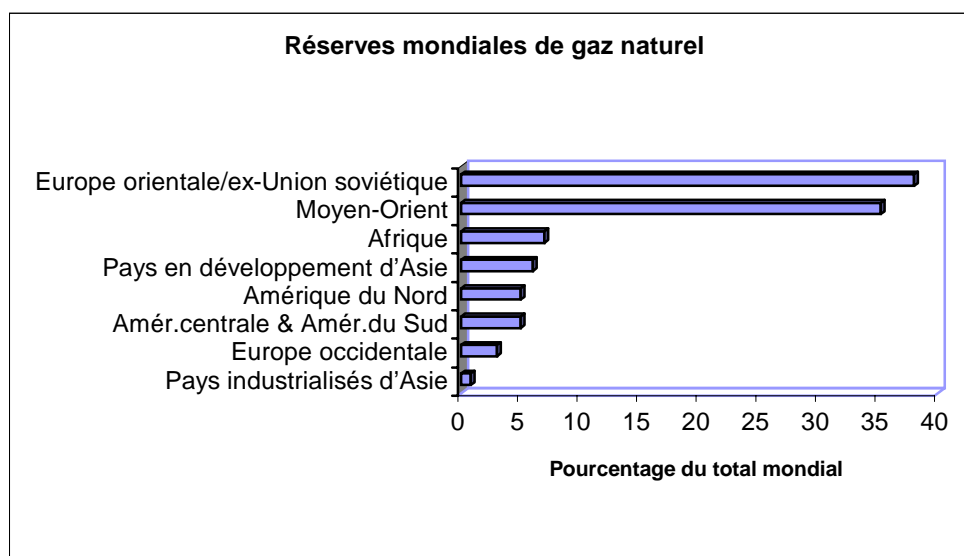


Source: EIA – *International Energy Outlook 2001*.

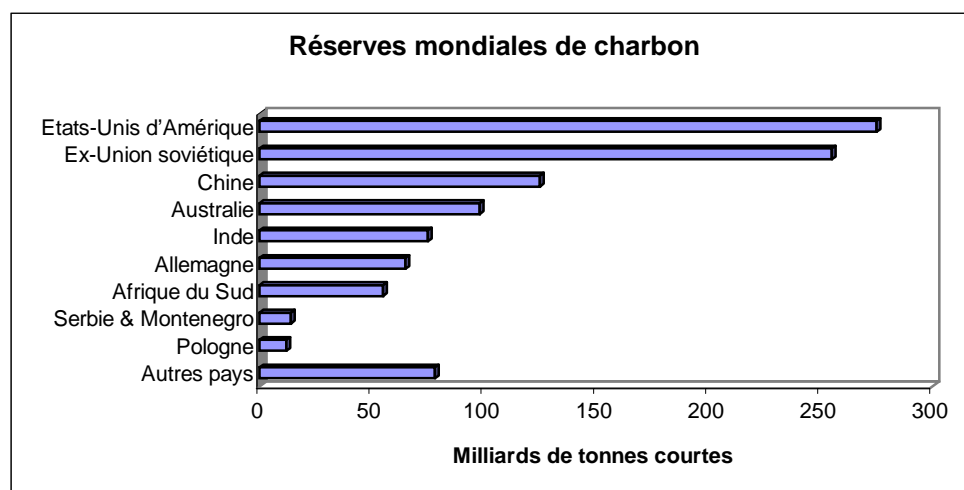
Figure 4



Source: EIA – *International Energy Outlook 2001*.

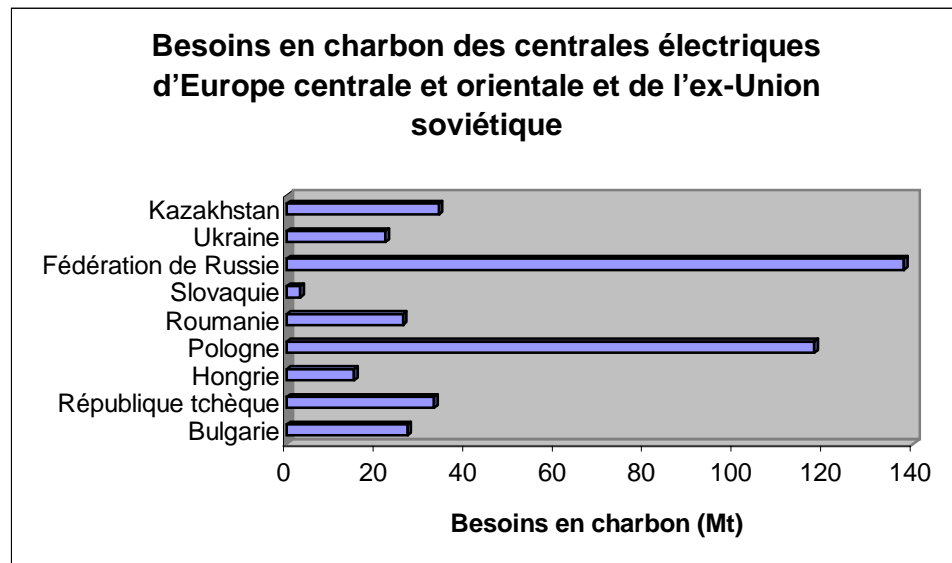
Figure 5

Source: EIA – *International Energy Outlook 2001*.

Figure 6

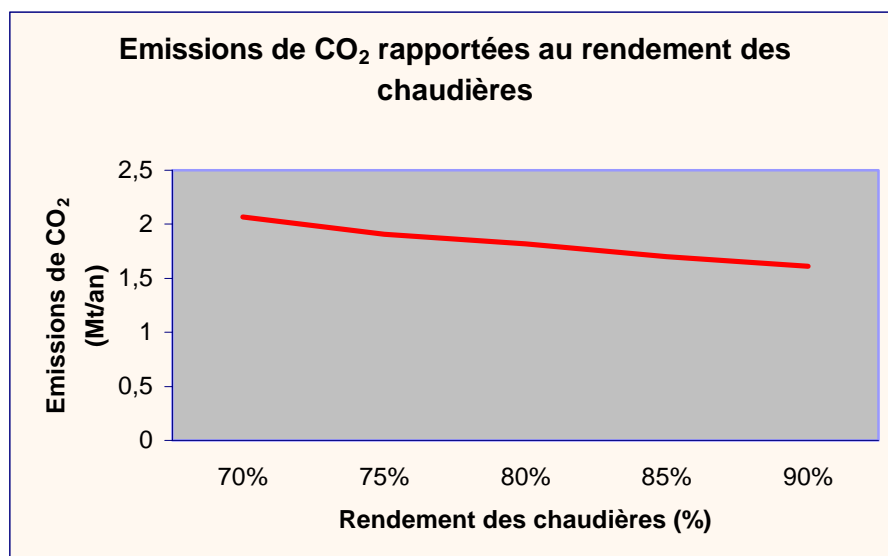
Source: EIA – *International Energy Outlook 2001*.

Figure 7



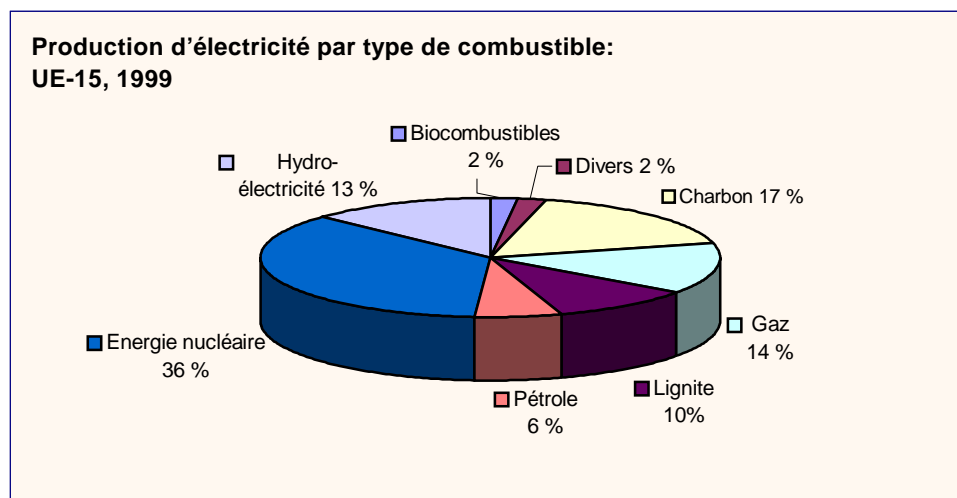
Source: CE, AIE, CEE-ONU 1999.

Figure 8



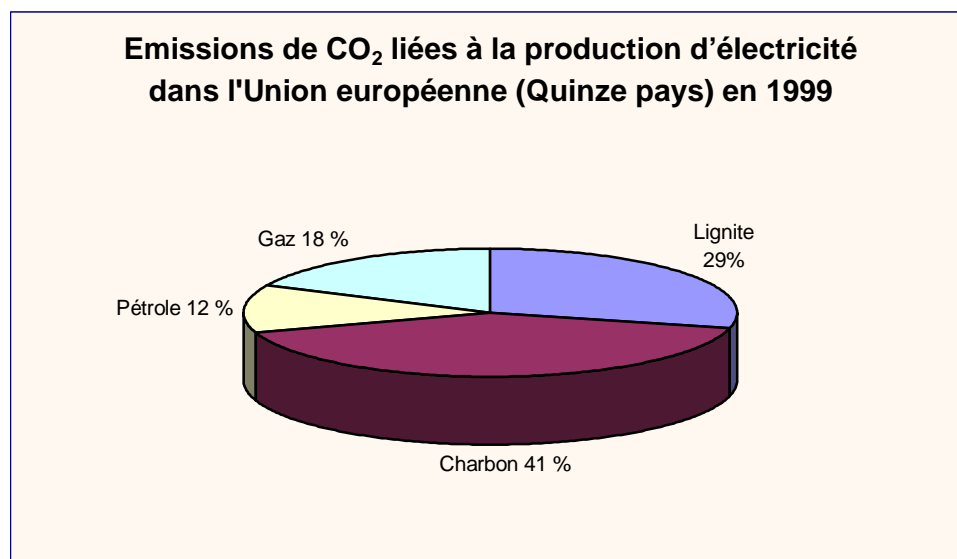
Source: ISPE 2001, Étude comparée du rendement des chaudières et des émissions de CO₂.

Figure 9



Source: Institut mondial du charbon – Ecoal, septembre 2001.

Figure 10



Source: Institut mondial du charbon – Ecoal, septembre 2001.
