



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

07893-F

Distr. LIMITEE

UNIDO/EX.36

24 février 1978

FRANCAIS

Original : ANGLAIS

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Suite donnée à la première Réunion
de consultation sur la sidérurgie

DOCUMENT DE TRAVAIL*
POUR
LA REUNION D'EXPERTS
SUR
LE CHARBON COKEFIABLE

Vienne, 6-8 avril 1978

établi par
le Secrétariat de l'ONUDI

*/ Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

Introduction

1. Le rapport de la première Réunion de consultation sur la sidérurgie, qui s'est tenue à Vienne du 7 au 11 février 1977, contient la recommandation suivante :

"En coopération avec les parties intéressées, le Secrétariat de l'ONUDI devrait examiner les questions énumérées ci-après, de façon à pouvoir présenter à la prochaine Réunion de consultation des propositions précises quant aux moyens de promouvoir la coopération internationale, en vue d'assurer les approvisionnements en matières premières et en combustibles nécessaires à l'expansion de l'industrie sidérurgique :
.....

- "b) Recensement des réserves connues de charbon cokéfiabie et évaluation des ressources probables;
- "c) Bilan des plans établis et des progrès réalisés dans les pays développés et les pays en développement pour accroître la production de ces matières premières, et étude visant à déterminer si des mesures appropriées sont prises pour assurer leur fourniture en quantités suffisantes;
.....
- "e) Examen des techniques, y compris la fabrication de l'éponge de fer, qui permettraient de remplacer le charbon cokéfiabie par d'autres combustibles et agents réducteurs, et notamment des procédés de gazéification du charbon et d'utilisation du coke formé ou du charbon de bois, compte étant tenu de la rentabilité des diverses utilisations possibles de ces matières premières." (ID/WG.243/6/Rev.1, § 23).

2. Le Secrétariat de l'ONUDI a proposé au Conseil du développement industriel et au Bureau de la première Réunion de consultation de prendre un certain nombre de mesures pour donner suite à ces recommandations. Les propositions ci-après ont été adoptées d'un commun accord :

"Les participants à la première Réunion de consultation ayant accordé un rang de priorité élevé à la question du charbon cokéfiabie, toutes les recommandations concernant cette question seront soumises, pour examen, à un groupe de travail distinct qui sera chargé d'étudier :

- i) La situation actuelle et les perspectives futures en ce qui concerne le charbon cokéfiabie : réserves, production et marché international, en particulier approvisionnement;
- ii) La situation actuelle en ce qui concerne les variantes technologiques qui pourraient être appliquées pour réduire l'emploi de charbon cokéfiabie ou le remplacer." (ID/B/179, Annexe, § 37 d)).

3. Le présent document récapitule les résultats d'une enquête sur les ressources en charbon à coke et leur exploitation, réalisée par des consultants de l'ONUDI, et passe en revue la documentation à la disposition du Secrétariat.

Il présente un certain nombre de questions que le groupe de travail pourra examiner et commenter en vue de formuler, à l'intention de la deuxième Réunion de consultation, qui doit se tenir au début de 1979, des propositions quant à l'action à mener dans ce domaine.

Point A de l'ordre du jour : Situation actuelle et perspectives futures en ce qui concerne le charbon cokéfiabie : réserves, production et marché international, en particulier approvisionnement

A.1 Réserves

4. Selon les estimations, les réserves^{1/} mondiales de charbon cokéfiabie^{2/} s'élèvent à quelque 121 milliards de tonnes, soit environ 24 % des réserves totales de houille, comme on l'indique en détail à l'annexe 1. Au rythme actuel de la production de charbon cokéfiabie (630 millions de tonnes en 1975), ces réserves permettraient de satisfaire les besoins pendant près de 200 ans.
5. Cependant, la répartition géographique des réserves dans le monde est très inégale. Trois pays détiennent 72 % des réserves mondiales de charbon à coke (Etats-Unis d'Amérique - 32,4 %, Chine - 20,5 %^{3/}, URSS - 19 %). Dix pays (les trois précédents plus l'Australie, la Pologne, la République fédérale d'Allemagne, l'Inde, l'Afrique du Sud, le Canada et le Royaume-Uni) détiennent la quasi-totalité des réserves mondiales (97,8 %). La part des pays en développement autres que la Chine et l'Inde dans ces réserves est très faible (0,6 %).
6. Les critères qualitatifs jouent un rôle important dans l'étude des réserves de charbon cokéfiabie. Celui-ci peut être divisé en au moins deux catégories. Le charbon à coke de qualité supérieure (premium) comprend les types de houille

^{1/} Le terme réserve s'entend des quantités avérées récupérables dans les conditions économiques actuelles.

^{2/} Le terme charbon cokéfiabie s'entend de toutes les catégories de charbon susceptibles d'être transformées en coke métallurgique dans des fours à coke classiques.

^{3/} Les données relatives à la République populaire de Chine qui figurent dans le présent document ne sont pas sûres, mais, eu égard à l'importance de ce pays pour l'étude des problèmes mondiaux de l'industrie du charbon et de l'acier, on n'en a pas moins tenté de présenter ici quelques estimations.

qu'exige le procédé classique de cokéfaction, et qui sont caractérisés par un pouvoir cokéfiant élevé^{4/} et une grande pureté^{5/}. L'expression charbon pour mélanges (blending grade) s'entend des charbons pouvant être agglomérés aux mélanges qui sont transformés en coke métallurgique dans les fours à coke.

7. Les réserves de charbon à coke de qualité supérieure sont nettement moins bien partagées que les réserves totales de charbon à coke. Seuls les pays énumérés ci-après en possèdent des quantités importantes (plus de 1 milliard de tonnes) : Etats-Unis d'Amérique, Chine, URSS, République fédérale d'Allemagne, Pologne, Canada et Inde.

8. Faute d'informations sur la façon dont on subdivise les différentes catégories de charbon à coke et sur les indices internationaux utilisés pour désigner les différentes qualités de charbon, il est difficile d'évaluer les réserves du point de vue qualitatif et, partant, de déterminer si elles sont réellement suffisantes.

9. La prospection intensive des réserves de charbon se poursuit dans différentes régions et dans différents pays. Les estimations des réserves de houille établies par la dixième Conférence mondiale de l'énergie tenue en 1977 étaient par exemple de 3 % (15 milliards de tonnes) supérieures au chiffre avancé trois ans plus tôt à la neuvième Conférence. Dans les pays suivants, de nouvelles activités de prospection ou le réexamen des données disponibles ont entraîné une importante révision en hausse des réserves avérées : Canada, Australie, Afrique du Sud, Royaume-Uni, Pologne, Inde, Brésil, Colombie, Pérou, Venezuela, Botswana, Mozambique et Souaziland. Cette prospection intensive devrait aussi se répercuter favorablement sur les estimations concernant les réserves de charbon à coke dans les pays ci-après : Canada, Australie, Brésil, Colombie, Venezuela, Botswana, Mozambique, Inde, Indonésie et Iran.

^{4/} Celui-ci est généralement caractérisé par un indice de gonflement élevé (égal ou supérieur à 7), une forte expansion au dilatomètre (égale ou supérieure à 100 %) et un indice de matières volatiles faible ou moyen (égal ou inférieur à 31 % en matières sèches).

^{5/} En général, moins de 1,25 % de soufre et moins de 8 % de cendres.

Questions

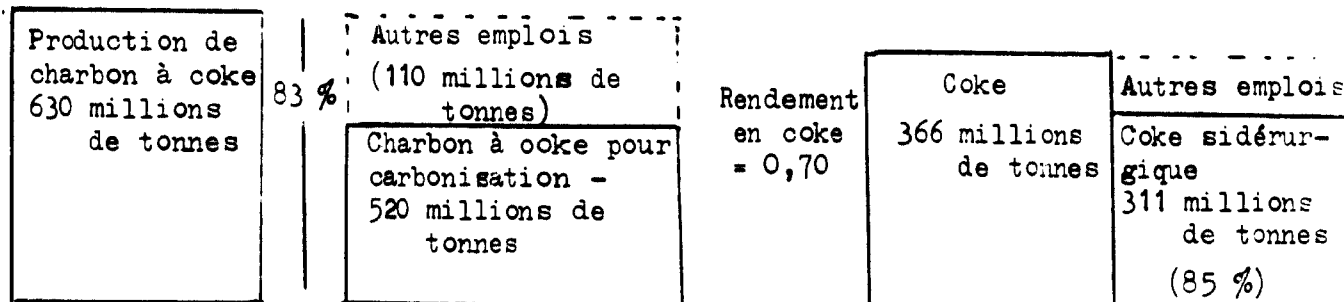
- Le groupe de travail estime-t-il que les données relatives aux réserves de charbon présentées ci-dessus sont exactes ?
- Faut-il élaborer un indice international commun pour désigner les différentes qualités de charbon à coke ? Dans l'affirmative, comment l'ONUDI pourrait-elle encourager d'autres institutions à entreprendre l'élaboration de cet indice ?
- Quelles mesures faut-il prendre pour intensifier la prospection des réserves de charbon à coke, surtout dans les pays en développement ?
- Quelle expérience les pays en développement qui ont prospecté les réserves de charbon ont-ils acquise en ce qui concerne le financement, la technologie, et les conditions de la coopération internationale ?
- Dans quels domaines une coopération régionale pour la prospection des réserves paraît-elle possible ?

A.2 Perspectives de la demande et de l'offre

10. L'industrie de l'acier est le principal consommateur de charbon à coke. Il convient cependant de mentionner qu'une proportion importante de charbon cokéfiabie (près de 17 %, probablement de qualité inférieure) continue à être brûlée pour obtenir de la chaleur et que 15 % de la production de coke sont consommés dans des secteurs autres que la sidérurgie (voir le diagramme ci-après).

Diagramme

Schéma de l'utilisation de charbon à coke et de coke en 1975
(données réelles ou estimations)



11. L'utilisation de charbon cokéfiant et de coke a beaucoup évolué au cours de la dernière décennie. Si la production de charbon et de coke n'a augmenté que de 4 % en 10 ans, passant de 606 millions de tonnes en 1965 à 630 millions de tonnes en 1975, la production de fonte, elle, a progressé de 43,6 %, passant de 330 millions de tonnes en 1965 à 474 millions de tonnes en 1975. Cette évolution provient surtout d'une réduction importante de la mise au mille (environ 100 kg par tonne de fonte) et de l'emploi décroissant de charbon cokéfiable dans les secteurs autres que la sidérurgie.

12. La demande future de charbon à coke dépend du niveau de la production d'acier et des économies de coke possible. On trouvera au tableau 1 des prévisions relatives aux besoins mondiaux de charbon à coke destiné à la carbonisation pour les années 1985 et 2000.

Tableau 1

Besoins estimatifs de charbon à coke pour la cokéfaction
(tous usages, y compris la sidérurgie)

	1965	1975	1985		2000	
			Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2
A. Production d'acier (millions de tonnes)	461	646	1 050	900	1 750	1 400
B. Utilisation de charbon à coke pour la carbonisation (tonnes par tonne d'acier)	1,041	0,805	0,700	0,725	0,600	0,650
C. Consommation de charbon à coke pour la carbonisation (millions de tonnes)						
A x B	480	520	735	653	1 050	910

13. On présente au tableau 1 deux estimations de la production future d'acier. La variante 1 correspond aux chiffres examinés à la première Réunion de consultation et la variante 2 à ceux retenus par un consultant de l'ONUDI pour l'étude des problèmes relatifs au charbon à coke. Les chiffres de la rubrique B, qui a trait à la production d'acier, tiennent compte du coke utilisé dans les secteurs autres que la sidérurgie. Le tableau est fondé sur les hypothèses suivantes :

- a) Les innovations techniques devant être examinées au titre du point B de l'ordre du jour permettront de réduire encore l'emploi de charbon à coke et de coke dans l'industrie de l'acier. Ces mesures d'économie seront appliquées avec d'autant plus d'énergie que le niveau de la production d'acier sera plus élevé;
- b) La réduction de la consommation de coke dans des secteurs autres que l'industrie de l'acier ne peut aboutir à une réduction sensible des besoins de coke.

14. On trouvera à l'annexe 2 des prévisions relatives à la production mondiale de houille et de charbon à coke ainsi que les chiffres concernant la production effective pour 1975. Ces données sont récapitulées au tableau 2.

Tableau 2

Production mondiale de houille et de charbon à coke
(estimations ou prévisions)

	<u>1965</u>	<u>1975</u>	<u>1985</u>	<u>2000</u>
A. Houille (millions de tonnes)	2 007	2 423	3 070	4 395
B. Charbon à coke (millions de tonnes)	606	630	750	950
<hr/>				
Part du charbon à coke (%)	30,2	26,0	24,4	21,6
<hr/>				

Les chiffres ci-dessus tiennent compte des possibilités d'expansion de la production de charbon à coke dans les pays suivants : Etats-Unis d'Amérique, Canada, URSS, Pologne, République fédérale d'Allemagne, Royaume-Uni, Autriche et Inde. Ils reposent sur les hypothèses suivantes :

- a) D'ici à l'an 2000, la production de houille progressera à raison de 2,3 à 2,4 % par an (contre 2 % par an entre 1965 et 1975);
- b) Les réserves de charbon à coke constituent près de 24 % des réserves totales de houille;
- c) Les conditions géologiques et les conditions d'exploitation minière continueront à se détériorer; la concentration et la mécanisation des opérations d'extraction feront baisser la proportion de charbon à coke marchand par rapport à la houille extraite.

15. Les tableaux 1 et 2 sont comparés au tableau 3. En interprétant ce tableau, il faut tenir compte de la proportion élevée de charbon à coke qui, comme on l'a indiqué au paragraphe 10, est utilisée à des fins autres que la carbonisation.

Tableau 3

Perspectives d'expansion de la production de charbon à coke
et de la consommation de charbon à coke pour la carbonisation à toutes fins

	1965	1975	1985		2000	
			<u>Variante 1</u>	<u>Variante 2</u>	<u>Variante 1</u>	<u>Variante 2</u>
A. Production de charbon à coke	606	630		750		950
B. Consommation de charbon à coke pour la carbonisation	480	520	735	653	1 050	950
Rapport B/A	0,79	0,83	0,98	0,87	1,11	0,96

Il est douteux que ce rapport dépasse un jour 0,85 ou 0,90 %, car une partie du charbon à coke de qualité médiocre continuera probablement - en raison des conditions environnementales et autres propres aux régions productrices de charbon - à être utilisée à des fins autres que la fabrication de coke.

16. Il ressort de l'analyse ci-dessus qu'aucune des deux variantes relatives à la production d'acier en l'an 2000 ne pourra être réalisée à moins qu'on ne parvienne :

- i) A accroître la production de charbon à coke par une expansion plus dynamique des activités extractives que celle envisagée au paragraphe 14;
- ii) A réduire, dans des proportions plus importantes, les quantités de charbon à coke et de coke utilisées en dehors de l'industrie de l'acier;
- iii) A réduire plus qu'on ne le prévoit au paragraphe 13 le rapport charbon à coke/acier grâce à des progrès technologiques.

Pour ce qui est du développement des houillères, il faut tenir compte des facteurs suivants : les délais nécessaires pour la mise en exploitation d'une mine nouvelle, le montant énorme des investissements requis, l'infrastructure à mettre en place, la protection de l'environnement et la politique nationale de l'énergie.

Questions :

- Les prévisions concernant la quantité de charbon à coke destiné à être carbonisé dont on aura besoin en 1985 et en l'an 2000 pour produire une tonne d'acier sont-elles réalistes ? (Tableau 1).
- Dans quels secteurs, dans quelle mesure et de quelle façon peut-on réduire les quantités de charbon à coke et de coke utilisées en dehors de l'industrie de l'acier ?
- Les prévisions concernant la production mondiale de houille et de charbon à coke en 1985 et en l'an 2000 sont-elles trop pessimistes ? (Tableau 2).
- Quelles mesures visant à encourager le développement des mines de charbon à coke dans les principaux pays producteurs devraient être prises
 - Par les pays producteurs,
 - Par les pays consommateurs,
 - Au niveau régional,
 - Au niveau international ?
- Quelles seront les perspectives en ce qui concerne le développement des mines de charbon à coke dans les pays en développement; quel rôle la coopération régionale et internationale peut-elle jouer à cet égard ?

A.3 Mesures pour assurer l'approvisionnement en charbon à coke

17. Matière première indispensable pour l'industrie de l'acier, le charbon à coke (surtout celui de qualité supérieure) constitue, à cause de la répartition géographique inégale des gisements et de la lenteur avec laquelle sa production s'adapte aux changements que connaît celle de l'acier, un marché à part qui présente les caractéristiques suivantes :

- i) Les pays consommateurs sont largement tributaires des importations en provenance des Etats-Unis d'Amérique, du Canada, d'Australie et de Pologne; les Etats-Unis jouent à cet égard un rôle particulièrement important à cause de la richesse et de la qualité de leurs gisements charbonniers;
- ii) Le volume des échanges intercontinentaux (y compris entre l'Europe occidentale et l'Europe orientale) est important. Evalué à 111 millions de tonnes en 1975, il devrait passer à 182 millions de tonnes en 1985 et à 250 millions de tonnes en l'an 2000 (non compris la Chine);
- iii) Les échanges internationaux se font, pour 90 % environ, sur la base de contrats à long terme; le solde est représenté par des transactions au comptant;
- iv) Les coûts et les prix accusent une tendance à la hausse. Le cours du charbon de qualité supérieure est étroitement lié à celui du pétrole.

18. En raison de ces caractéristiques, les pays en développement qui produisent, ou qui envisagent de produire de l'acier en haut fourneau peuvent éprouver des difficultés à s'approvisionner en charbon. A l'exception de l'Inde et de la Chine, ces pays doivent importer entre 50 et 70 % du charbon à coke de première qualité qui est mélangé avec 30 à 50 % de charbon d'origine locale. Quelques-uns des pays en développement parviennent à se procurer le charbon à coke dont ils ont besoin en concluant des accords pour l'échange de ce produit contre du minerai de fer, du pétrole brut ou du gaz naturel. Quant à ceux d'entre eux qui ne sont pas à même de conclure des accords de troc de ce genre, leurs réserves de devises risquent de subir une lourde ponction si la passation des contrats d'approvisionnement à long terme est subordonnée à la participation à l'exploitation de mines nouvelles.

19. A moins de prendre en temps utile les mesures voulues, de nombreux pays risquent de manquer de charbon à coke, ce qui compromettrait la réalisation de leurs plans de développement de l'industrie sidérurgique. La demande nouvelle devra être satisfaite en grande partie par le charbon provenant des puits nouveaux dont la mise en exploitation exige des investissements énormes et des années d'efforts.

Questions :

- Comment les pays en développement qui sont acheteurs de charbon à coke jugent-ils la situation dans ce domaine ? Est-il réellement difficile d'acheter du charbon cokéfiabie ? Comment des pays en développement comme l'Algérie, l'Argentine, le Brésil, l'Egypte, le Mexique, le Pérou, la République de Corée et le Venezuela s'approvisionnent-ils en charbon à coke ?
- Les contrats à long terme sont-ils le seul moyen de se procurer du charbon à coke ? Dans l'affirmative, les clauses actuelles de ces contrats sont-elles acceptables pour les pays en développement ?
- Les pays en développement ont-ils intérêt à élaborer un modèle de contrat à long terme ? Dans l'affirmative, comment faudrait-il s'y prendre pour formuler ce contrat-type ?
- L'ONUDI devrait-elle organiser un groupe de travail composé de pays qui sont acheteurs de faibles quantités de charbon à coke et de quelques pays vendeurs, et aider à définir les modalités et conditions des contrats ?
- Quelles sont les perspectives et les limites de l'achat en commun de charbon à coke par des groupes régionaux ou sous-régionaux ?
- Existe-t-il un remède efficace à l'inélasticité de la capacité de production des mines par rapport à la demande de charbon à coke ? Pourrait-on y remédier en constituant des stocks de charbon à coke ?

Point B de l'ordre du jour : La situation actuelle en ce qui concerne les variantes technologiques qui pourraient être appliquées pour réduire l'emploi de charbon cokéfiabie ou le remplacer

20. Afin d'atténuer les problèmes que pose l'offre insuffisante de charbon à coke, de nombreux pays ont multiplié les tentatives pour réduire la consommation de charbon à coke et pour le remplacer par d'autres réducteurs. La plupart des techniques mises au point à cette fin sont récapitulées à l'annexe 3. On trouvera ci-après quelques questions relatives aux groupes de techniques décrites plus loin.

Questions :

- Quelles sont la situation actuelle et les perspectives d'avenir en ce qui concerne chacune de ces techniques ? Si elles ne sont pas encore commercialisées quand pourront-elles l'être ? Quelle pourrait être leur contribution à la solution des problèmes relatifs au charbon de coke ? Quels sont les principaux paramètres technico-économiques qui déterminent le choix et la mise au point des techniques ?
- Les informations concernant ces techniques bénéficient-elles d'une publicité suffisante ? Sinon, quelle est la catégorie d'informations qui fait particulièrement défaut ? Que faudrait-il faire pour encourager la diffusion de ces renseignements ? L'organisation, par l'ONUDI, de voyages d'études sur quelques-unes de ces techniques serait-elle utile pour les pays en développement et acceptable pour les institutions des pays développés ?
- Organise-t-on des enquêtes d'envergure mondiale pour prendre l'avis d'experts bien informés quant à l'état actuel et aux perspectives de ces techniques ? Serait-il utile d'entreprendre une enquête de ce genre en envoyant des questionnaires aux principales institutions actives dans ce domaine ? Dans l'affirmative, comment faudrait-il réaliser cette enquête et qui devrait en être chargé ?

B.1 Economie de coke dans les hauts fourneaux

21. De nombreux pays utilisent couramment le procédé consistant à injecter dans les hauts fourneaux du pétrole, du gaz naturel, du goudron ou du bitume par des tuyères spécialement aménagées à cet effet, parce que le taux de remplacement de coke ainsi atteint se situe entre 1 et 1,5; le matériel nécessaire pour l'injection est simple et ne coûte pas cher; le procédé s'est révélé rentable. En 1975, 80 % de la production mondiale de fonte auraient été obtenus moyennant l'injection d'un combustible auxiliaire. La récente hausse spectaculaire du prix du pétrole et du gaz naturel n'a cependant pas été sans affecter la rentabilité de cette méthode, et il faut désormais atteindre un taux de remplacement de coke supérieur à 1,3-1,4 pour l'employer avec profit.

22. L'injection par des tuyères de boue de charbon pulvérisé, méthode que différents pays prétendent avoir appliquée avec succès, est peu utilisée dans le monde et peut être considérée comme en étant encore au stade expérimental. L'emploi limité de ce procédé s'explique semble-t-il avant tout par le coût élevé et la complexité du matériel d'injection du charbon et la nécessité d'utiliser du charbon contenant peu de cendres. L'écart actuel entre le prix du pétrole et du gaz, d'une part, et celui du charbon non cokéfiant, d'autre part, pourrait favoriser l'application de ce procédé.

23. Si, dans les pays en développement, les hauts fourneaux de création relativement récente, sont équipés de systèmes d'injection de combustible, de nombreux autres continuent à n'utiliser que du coke avec, parfois, une mise au mille égale ou supérieure à 700 kg. Dans ces cas, il importe de déterminer s'il est possible de réduire ce taux notamment en préparant soigneusement les charges, en chargeant le haut fourneau avec des agglomérés ou des boulettes, en répartissant convenablement la charge dans le haut fourneau, en réglant le débit du vent et le haut fourneau à une pression maximale élevée.

24. L'emploi du minerai préréduit permettrait d'abaisser considérablement la mise au mille (30 kg de coke pour un apport de 10 % de fer métal). Là où l'on peut se procurer des matériaux préréduits à un prix acceptable, leur addition à la charge peut aider à limiter les besoins en charbon à coke.

25. Plusieurs institutions ont entrepris des recherches sur l'injection de gaz réducteur au niveau de la cuve. Des résultats encourageants ont été obtenus, mais il faudra étudier plus avant les aspects tant techniques qu'économiques de ce procédé avant de pouvoir l'utiliser à l'échelle industrielle.

26. L'élaboration du fer dans des hauts fourneaux à charbon de bois est un procédé bien connu dont se servent actuellement plusieurs pays en développement, notamment l'Argentine, le Brésil, la Malaisie et la Thaïlande. La production mondiale de fonte au bois dépasse actuellement 4 millions de tonnes par an dont une bonne partie est transformée en acier. Les pays en développement riches en ressources forestières et capables de mettre sur pied des programmes de reboisement appropriés pourraient recourir à ce procédé qui constitue l'un des moyens les plus pratiques de développer l'industrie sidérurgique.

27. Les pays ne disposant que de charbon à coke médiocre ou de houille grasse peuvent utiliser comme filière de rechange les petits bas fourneaux pour produire de la fonte. Ces fourneaux ont l'avantage de n'exiger que de faibles investissements et conviennent particulièrement bien aux marchés peu étendus. On ne dispose que de peu de renseignements récents sur ces bas fourneaux dont l'évaluation technico-économique pourrait aider certains pays en développement à étudier la possibilité de créer des installations de ce genre.

B.2 Economies de charbon cokéfiant dans la cokéfaction classique

Mesures visant à :

- i) Réduire la consommation de charbon à coke de qualité supérieure;
- ii) Elargir l'éventail des qualités de charbon susceptibles d'être utilisées dans les fours à coke;
- iii) Améliorer la qualité du coke afin de réduire la mise au mille dans les hauts fourneaux.

28. L'industrie de l'acier a déployé des efforts soutenus pour réduire la consommation de charbon à coke de qualité supérieure en le remplaçant par les charbons médiocres qui sont plus abondants. Les techniques existantes ou à l'étude sont récapitulées à l'annexe 4.

29. Dans la plupart des fours à coke modernes, il est désormais courant de contrôler soigneusement les charges, en ce qui concerne en particulier la préparation des mélanges, la granulométrie des fines de charbon, la pulvérisation du pétrole, etc. Ces contrôles, qui visent à améliorer les propriétés du coke obtenu, constituent un bon point de départ pour la mise en oeuvre des techniques avancées dont il a été question plus haut.

30. Le préchauffage des fines de charbon est un moyen très efficace d'augmenter la productivité et d'améliorer les propriétés du coke. Si l'on ne cherche pas à améliorer ces propriétés, la charge peut comprendre jusqu'à 25 % de charbon non cokéfiant. Plusieurs installations industrielles utilisent actuellement ce procédé, mais elles éprouvent semble-t-il des difficultés à assurer le transport et le chargement des fines de charbon préchauffées, compte tenu en particulier des impératifs de la protection de l'environnement. Pour surmonter ces difficultés, il faut des dispositifs très élaborés qu'il est difficile ou impossible d'installer dans les fours à coke existants.

31. La technique de l'extinction à sec du coke chaud mise au point en URSS améliore la qualité du coke obtenu et réduit le volume de poussier de coke; ce procédé peut donc aider à abaisser la consommation de charbon à coke de qualité supérieure. Cette technique permet, et c'est là son principal avantage, de récupérer l'énergie et elle pourra par conséquent être largement utilisée dans un proche avenir si le prix de l'énergie le justifie. Par ailleurs, ce système, qui peut être installé dans des fours à coke existants, permet d'atténuer la pollution de l'environnement par les cokeries. Pour assurer une diffusion plus large de ce procédé, il faudra sans doute renforcer la capacité du système d'extinction.

32. Au Japon, un procédé de cokéfaction de mélanges de fines de charbon et de briquettes de houille en chambres de conception classique est utilisé à l'échelle industrielle. Actuellement 20 à 30 % du coke japonais sont obtenus à l'aide de ce procédé; toutefois, cette technique ne permet d'économiser que 30 % environ du charbon à coke et exige, pour le briquetage, du goudron et du brai liants. L'avantage de ce procédé est de pouvoir être utilisé dans la plupart des fourneaux existants qu'il suffit de doter de matériel de briquetage, et de réduire au minimum les besoins en charbon de qualité supérieure.

B.3 Rentabilité des procédés de réduction directe et d'autres procédés

33. Des nombreux procédés de réduction directe mis au point, quelques-uns seulement ont atteint le stade de l'utilisation industrielle. Il existe plusieurs procédés qui, bien que déjà exploités à petite échelle ou sur une base semi-industrielle, gagneraient à être examinés plus avant du point de vue technico-économique. Des problèmes techniques ou de fonctionnement ou des pertes financières ont entraîné la fermeture de plusieurs installations industrielles. A l'heure actuelle, la production, par réduction directe, de fer destiné à être utilisé dans les fours électriques s'élève à 7 millions de tonnes par an, dont plus de la moitié provient des pays en développement.

34. Les pays qui peuvent se procurer du gaz naturel à un prix relativement bas et où la demande d'acier n'est pas suffisamment importante pour justifier la création de complexes intégrés utilisant les procédés de réduction directe et le procédé LD devraient logiquement avoir recours aux techniques de réduction

directe par les gaz. Dans certaines conditions, la création d'un complexe utilisant ce procédé et produisant entre 2,5 et 4 millions de tonnes par an, paraît justifiée comme le montrent les exemples suivants : SIDOR/Matanzas (4 millions de tonnes par an), NISIC/Ahwaz (2,5 millions de tonnes par an), URSS/Kursk (2,5 millions de tonnes par an), Krakatau/Anyorlor (2,3 millions de tonnes par an). Cependant, la plupart de ces complexes sont encore en construction ou à l'étude et plusieurs années s'écouleront peut-être avant qu'il ne soit possible d'en apprécier le fonctionnement du point de vue technico-économique.

35. Les réducteurs utilisés déterminent dans une large mesure le montant des coûts d'investissements et de production. Au cours de ces dernières années, on s'est donc attaché à modifier le procédé de réduction directe par les gaz afin de pouvoir utiliser toute une série de combustibles auxiliaires. La plupart de ces procédés permettraient dès maintenant l'utilisation d'un large éventail de combustibles : gaz de cokerie, naphte et autres hydrocarbures liquides, huiles lourdes, gaz naturel synthétique dérivé du charbon, etc. Cependant, il semble que seuls les fours au gaz naturel ou au gaz de cokerie soient rentables au stade actuel.

36. Le procédé de réduction directe par réducteurs solides a une longue histoire. En dépit de l'avantage apparent que constitue la possibilité d'utiliser du charbon non cokéfiant et différents types de minerai, l'exploitation commerciale de ce procédé est restreinte. Les difficultés techniques que de nombreux fours tournants ont connues pendant les premiers essais de ce procédé en ont peut-être limité la diffusion. Dans les installations de réduction directe en four tournant selon le procédé SL/RN dont la capacité de production annuelle est comprise entre 350 000 tonnes et 650 000 tonnes les frais fixes paraissent être de l'ordre de 100 à 140 dollars par tonne d'éponge de fer. Une fois la capacité nominale atteinte, la rentabilité de ce procédé dépend pour l'essentiel du coût du minerai et du charbon réducteur utilisés.

37. Le procédé récent de gazéification et de réduction combinées (procédé Allis Chalmers) est intéressant parce qu'il permet de choisir parmi un grand nombre de combustibles (gaz, pétrole, charbon et différentes combinaisons de ces produits) et qu'il n'exige que des investissements relativement peu importants (75 à 100 dollars par tonne d'éponge de fer pour une installation ayant une capacité annuelle de 250 000 à 600 000 tonnes).

38. Certains pays en développement relativement riches en énergie hydro-électrique et en réducteurs solides (charbon, poussier de coke ou charbon à bois) pourraient utiliser des fours électriques de fusion pour fabriquer de la fonte. Ce procédé, bien qu'ancien, est peu utilisé (il existe dans le monde une cinquantaine de fours ayant une capacité totale de 3 millions de tonnes par an). La consommation élevée d'énergie électrique en l'absence de minerai préréduit et les explosions qui se sont produites dans quelques fours électriques de fusion en ont entravé la diffusion. La préréduction du minerai pour abaisser la consommation d'électricité rend le procédé moins rentable que les techniques de réduction directe au moyen de réducteurs solides.

39. Les procédés de réduction en fusion comme le procédé dit du jet smelting et le procédé Inred, qui permettent d'élaborer le fer fondu directement à partir du minerai en injectant de la poudre de charbon dans le bain, semblent offrir de bonnes perspectives en ce qui concerne la production de fer à une échelle relativement modeste. Ils présentent d'autres avantages tels que la possibilité d'utiliser au choix diverses matières premières et de réaliser des économies d'énergie. Cependant, ces procédés en sont encore au stade des essais de laboratoire et leur efficacité doit encore être vérifiée dans des installations pilotes.

B.4 Coke moulé et procédés de gazéification du charbon

40. Selon de nombreux experts, les techniques faisant appel au coke moulé pourraient faciliter la solution des problèmes que posent la rareté et la répartition inégale des réserves de charbon à coke. De nombreux pays ont élaboré leurs propres procédés et, à l'heure actuelle, une dizaine d'installations pilotes ayant une capacité journalière supérieure à 100 tonnes fonctionnent dans le monde. Il a été fait état de plusieurs plans pour la mise en place d'installations plus importantes. Si certains de ces procédés sont employés depuis plus de 10 ans, de nouvelles installations importantes utilisant des techniques différentes viennent de démarrer ou sont à l'étude. De nombreux essais d'utilisation à grande échelle de coke moulé dans les hauts fourneaux ont été exécutés sans que l'on ait rencontré des problèmes d'exploitation majeurs. Aucun de ces procédés n'est encore utilisé à l'échelle industrielle et aucun plan concret concernant la construction d'installations industrielles n'est connu.

41. Avant de commercialiser le procédé, il faudra résoudre les problèmes technico-économiques ci-après en effectuant des essais dans des installations pilotes et dans divers hauts fourneaux :

- i) Mise au point de machines à rendement et durée de vie élevés pour le moulage à chaud;
- ii) Mise au point de grands fours de carbonisation;
- iii) Utilisation des sous-produits;
- iv) Approvisionnement en liants et/ou mise au point de liants;
- v) Mise au point de techniques d'exploitation des hauts fourneaux permettant d'user au mieux du coke moulé;
- vi) Amélioration des propriétés du coke moulé (réactivité, forme, etc.).

42. Il faudra du temps pour résoudre les problèmes dont il est question plus haut, et la mise en service d'installations industrielles pour la fabrication de coke moulé dans les principaux pays développés n'interviendra probablement pas avant 5 à 10 ans. Les avantages potentiels de ce procédé sont, entre autres, les suivants : taux élevé de remplacement de charbon cokéfiant par du charbon non cokéfiable, exploitation continue et automatique, exploitation en circuit fermé ce qui évite toute pollution, et rapidité des opérations de traitement. Même si quelques-uns de ces procédés étaient appliqués à l'échelle industrielle, ils ne remplaceraient pas du jour au lendemain les procédés traditionnels de cokéfaction. L'efficacité de cette technique dépend pour beaucoup de la qualité du charbon utilisé; les fours à coke ont une longue durée de vie (20 à 30 ans), et les systèmes énergétiques des aciéries existantes reposent essentiellement sur le gaz de cokerie que l'on ne pourra peut-être pas obtenir par le procédé du coke moulé.

43. Le charbon cokéfiant synthétique peut être produit à partir d'agglutinants dérivés du charbon ou d'huiles lourdes. Le charbon raffiné par solvant constitue un exemple de produits de ce genre. L'asphalte pourrait devenir une bonne matière première pour la fabrication d'agglutinants (malgré les problèmes posés par le soufre). Ces agglutinants dérivés peuvent remplacer le charbon cokéfiant de bonne qualité ou peuvent être mélangés avec du charbon non cokéfiant. Ils peuvent aussi servir de liant pour la fabrication de coke moulé et la cokéfaction d'agglomérés. A l'heure actuelle, les travaux de recherche en sont encore pour l'essentiel au stade des essais de laboratoire et la commercialisation de charbon synthétique demandera sans doute des années.

44. Si l'on parvient à le commercialiser avec succès, le gaz naturel synthétique obtenu à l'aide des techniques de gazéification du charbon modifiera sensiblement le schéma de consommation énergétique de l'industrie de l'acier. Il peut être utilisé comme combustible injecté dans les hauts fourneaux (au niveau des tuyères ou à celui de la cuve) et comme réducteur pour les procédés de réduction directe par les gaz. Plusieurs pays mènent d'importants travaux de recherche-développement pour obtenir des gaz à pouvoir calorifique élevé, et il a été fait état de nombreux plans concernant la mise en place d'installations industrielles.

45. On ne dispose pas à l'heure actuelle de données sûres sur les dépenses d'équipement et d'exploitation des installations industrielles pour la production de gaz naturel synthétique. Selon les estimations, le coût du gaz naturel synthétique dépasse plusieurs fois celui du gaz naturel ordinaire. Comme, par ailleurs, le prix de revient de l'éponge de fer dépend dans une très large mesure de celui du gaz, on peut conclure que, d'une manière générale, il ne serait pas rentable à l'heure actuelle de recourir aux procédés de gazéification du charbon pour produire des gaz pour la réduction directe des minerais.

Annexe 1

RESERVES DE HOUILLE ET DE CHARBON A COKE (millions de tonnes)

Pays/région	Houille	Charbon à coke	dont		Rapport %	
			Qualité* supérieure	Qualité* pour mélanges	2/1	3/2
	1	2	3	4		
Etats-Unis d'Amérique	117 690	39 287	27 500	11 787	33	70
Canada	11 443	2 530	1 770	760	22	70
I. Amérique du Nord	129 133	41 817	29 270	12 547	43	70
Allemagne (République fédérale d')	30 000	5 200 ^{1/}	5 200	-	17	100
Royaume-Uni	3 803	1 637	490	1 147	43	30
France	443	350	175	175	80	50
Belgique/Luxembourg	253	200	100	100	80	50
Norvège	100	100	-	100	100	-
Espagne	552	226	65	161	50	30
II. Europe occidentale	35 151	7 713	6 030	1 035	22	78
Japon	790	390	195	195	50	50
Australie	13 770	8 537	-	8 537	62	-
Afrique du Sud	24 981	3 451	-	3 451	14	-
III. Pays industrialisés de l'hémisphère oriental	39 541	12 378	195	12 183	31	2
Botswana	500 ^{x/}	?				
Inde	9 437	4 497	1 500	2 997	47	33
Iran	300 ^{x/}	100	-	100	33	-
République populaire démocratique de Corée	544	163	-	163	30	-
Turquie	134	40	-	40	30	-
Mexique	682	204	-	204	30	-
Colombie	500 ^{x/}	200	-	200	40	-
Divers	500 ^{x/}	?				
IV. Pays en développement	12 597	5 204	1 500	3 704	41	28
V. Région du CAEM	186 418	29 185	16 650	10 535	16	57
TOTAL (I à V)	401 850	96 297	55 645	40 552	23	58
Chine et autres pays en développement à économie planifiée	99 150	(24 787)	-	-	(25)	-
TOTAL MONDIAL	(501 000)	(121 084)	-	-	(24)	-

Source : IXème Conférence mondiale de l'énergie.

x/ Estimation du rapporteur.

1/ Estimation de l'OCDE, 1972; chiffre donné dans Survey of Energy Resources-10 000.
Les chiffres entre parenthèses ont été ajoutés par le Secrétariat de l'ONUDI.

Annexe 2

Production de houille et de charbon à coke dans le monde en 1975 et prévisions pour 1985 et 2000
(millions de tonnes)

Régions/pays	Production totale de houille			Production de charbon de coke		
	1975*	1985**	2000**	1975*	1985**	2000**
	Volume en valeur absolue	Volume en valeur absolue	Volume en valeur absolue	%	Volume en valeur absolue	%
1. Europe (y compris l'URSS)	1 015,0	1 100,0	1 220,0	28,3	308,0	28,0
2. Asie, dont :	661,0	870,0	1 350,0	9,8	110,0	12,6
- Chine	470,0	620,0	1 000,0	7,4	60,0	10,0
- Inde	96,0	150,0	230,0	12,5	20,0	15,2
3. Afrique, dont :	75,0	120,0	200,0	13,3	20,0	15,0
- Afrique du Sud	69,0	110,0	160,0	14,5	20,0	18,8
4. Amérique du Nord, dont :	590,0	850,0	1 415,0	40,6	272,0	33,2
- Etats-Unis d'Amérique	568,0	815,0	1 300,0	40,0	256,0	31,4
- Canada	22,0	35,0	115,0	59,0	16,0	45,7
5. Amérique du Sud et Amérique centrale	13,0	20,0	30,0	31,0	7,0	33,3
6. Australie et Nouvelle-Zélande	68,0	110,0	180,0	33,8	33,0	30,0
Total mondial	2 423,0	3 070,0	4 395,0	26,0	750,0	24,4
7. Part du charbon à coke dans la production totale (%)	26,0	24,4	21,6			
8. Volume, en valeur absolue de la production de charbon à coke	630,0	750,0	950,0			

Source : */ -Statistik der Kolhenwirtschaft E.V. Essen et Cologne, septembre 1977
-World Coal, novembre 1976

**/ -Estimations du rapporteur.

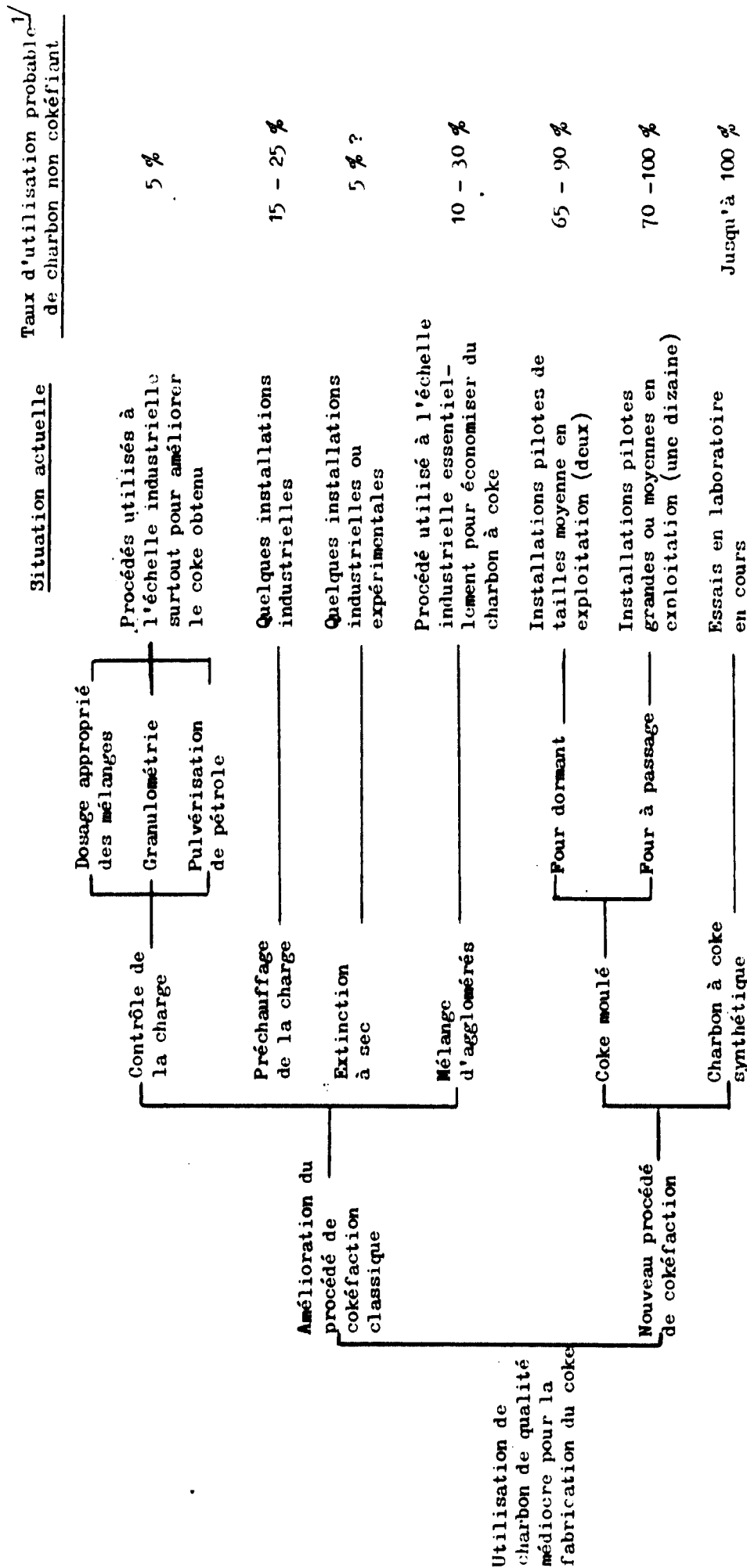
Annexe 3

Principales techniques de l'utilisation de combustibles auxiliaires pour l'élaboration du fer

	<u>Techniques</u>	<u>Etat actuel</u>
Filière du haut fourneau	Injection de différents combustibles dans le haut fourneau (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.)	La méthode de l'injection de pétrole est largement utilisée; les techniques d'injection de charbon ou de gaz au niveau de la cuve doivent encore être mises au point.
	Utilisation de charbons de qualité médiocre pour la fabrication du coke	Travaux actifs de mise au point. Remplacement partiel de charbon à coke pratiqué à l'échelle industrielle.
	Utilisation de charbon à bois	Technique couramment utilisée dans de hauts fourneaux de faible capacité.
	Hauts fourneaux de faible capacité et bas fourneaux	Formule activement étudiée dans le passé qui n'est rentable que dans des conditions bien déterminées.
Utilisation de combustibles auxiliaires pour l'élaboration du fer	Filière de la réduction directe	
	Utilisation de gaz (gaz naturel, gaz de pétrole décomposé, gaz de cokerie, etc.)	Quelques rares procédés utilisés à l'échelle industrielle dans des unités produisant jusqu'à 600 000 tonnes par an. Emploi plus poussé envisagé dans les pays riches en gaz.
	Utilisation de réducteurs solides (charbon, poussier de coke, etc.)	Il existe plusieurs unités relativement petites (jusqu'à 300 000 tonnes par an). Il faudrait veiller à stabiliser l'exploitation.
Autres filières	Four électrique de fusion	Utilisation industrielle limitée pour des raisons d'ordre économique.
	Réduction en fusion	Stade des essais en laboratoire. A mettre au point dans des installations pilotes.
Techniques apparentées pour l'utilisation de combustibles dans la sidérurgie	Gazéification et liquéfaction du charbon (injection de gaz réducteur dans des hauts fourneaux, utilisation de sous-produits agglutinants pour la production de coke, etc.)	Procédés non encore commercialisés. Une fois au point, il devrait être possible de les utiliser largement dans l'industrie de l'acier.
	Energie nucléaire (pour produire du gaz reformé à partir d'hydrocarbures, de l'hydrogène par l'électrolyse de l'eau, etc.)	L'application de ces techniques de l'industrie de l'acier demandera sans doute beaucoup de temps. Quelques rares pays font de la recherche fondamentale en ce domaine dans le cadre de projets nationaux.

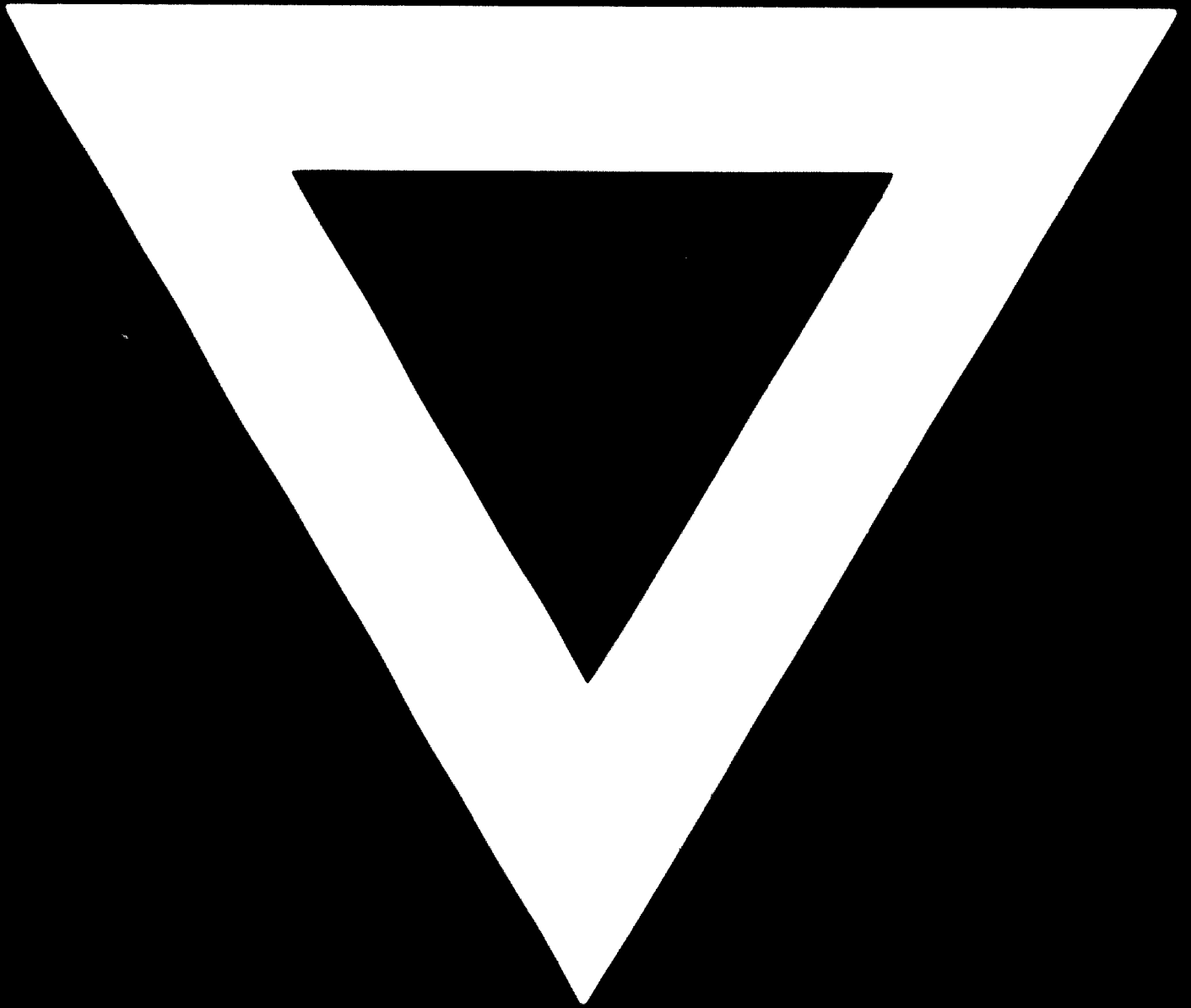
Annexe 4

Situation actuelle en ce qui concerne les techniques permettant d'utiliser du charbon de qualité médiocre pour la fabrication du coke



1/ Chiffres indicatifs seulement, le taux de remplacement variant en fonction des propriétés recherchées du coke, des propriétés du charbon à coke à utiliser, des propriétés du charbon non cokéfiant, etc.

B-37



79.12.05