



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.

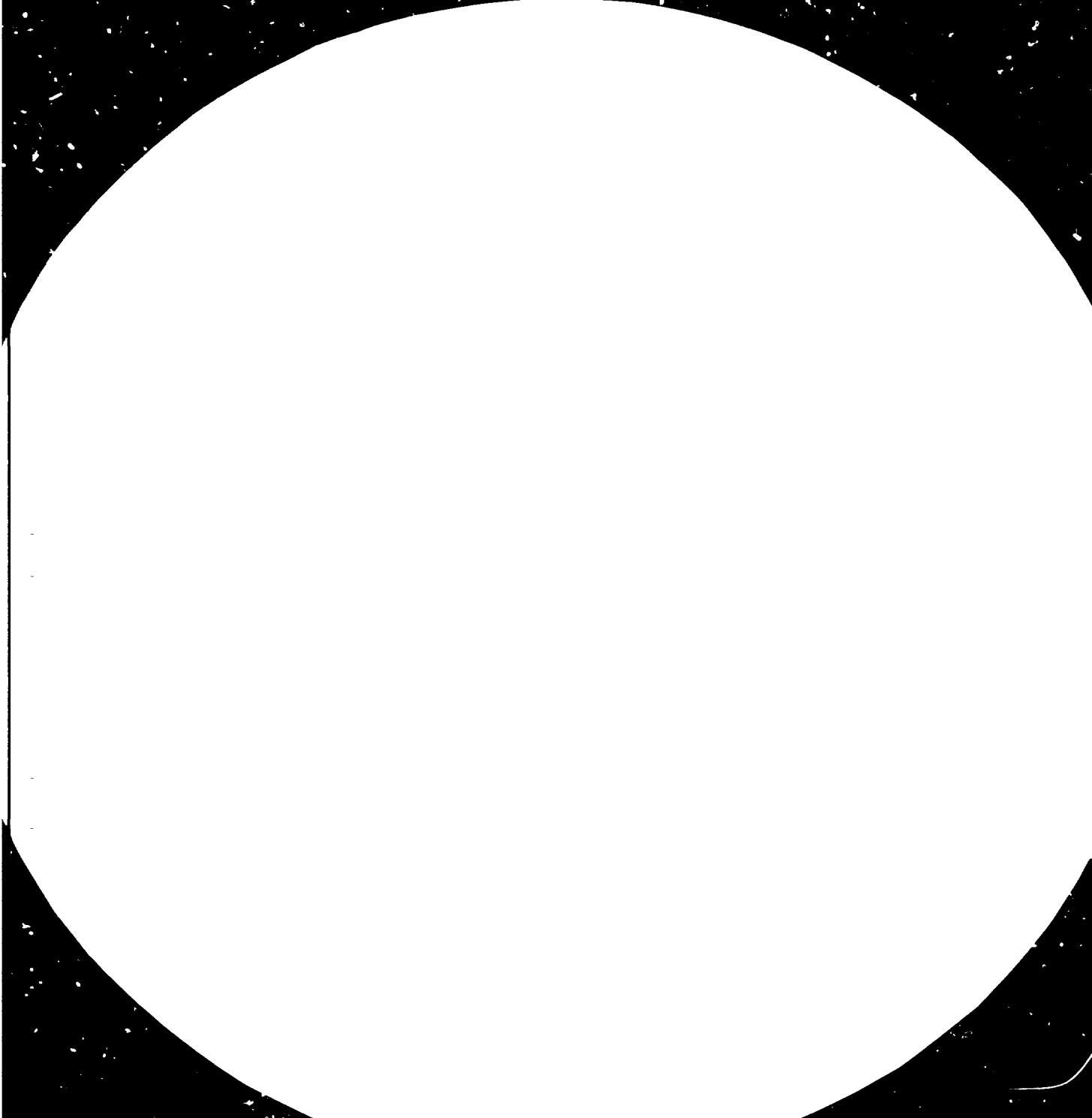
FAIR USE POLICY

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





1.25

1.4

1.6

Resolution Test Chart

Resolution Test Chart

Resolution Test Chart



1.0



2.8



2.5

3.2



2.2

4



2.0



1.1



1.8



11050-F



Distr. LIMITEE
ID/WG.356/1
19 novembre 1981

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

Original : FRANCAIS

Troisième Réunion du Groupe restreint d'experts
sur les scénarios de développement de l'industrie
sidérurgique

Vienne (Autriche), 3 et 4 décembre 1981

SCENARIOS DE L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE 1990

" DOSSIER SPECIAL "

Note complémentaire au DOSSIER III

"Marchés, gamme de produits et économies d'échelle"

ETUDE DES MARCHES POUR LE SECTEUR SIDERURGIQUE CREES
PAR LE DEVELOPPEMENT ET LA DIVERSIFICATION
DE LA PRODUCTION ENERGETIQUE*

(A partir du modèle énergétique IIASA)

000

* Ce document n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

V.81-32571

SOMMAIRE

	Page
I. INTRODUCTION	1
1. Cadre de l'étude	1
2. Présentation de la question	2
3. Recherche bibliographique	3
4. Exposition de la méthode	4
II. EVALUATION GLOBALE DE LA DEMANDE EN METAUX FERREUX SUR LA BASE DES SCENARIOS DE L'IIASA	6
5. L'esprit de l'étude de l'IIASA	6
6. Les résultats publiés par l'IIASA	7
7. Commentaires sur ces résultats	8
III. ANALYSE DES DONNEES DE BECHTEL	9
8. L'origine des données	9
9. Conversions à l'unité standardisée: Tw an/an	11
10. Tableaux des données	12
11. Commentaires de ces données	14
IV. ANALYSE COMPARATIVE DE QUELQUES CHAINES SIMPLIFIEES	16
12. La rotion de chafne énergétique	16
13. Chafnes pétrole -pétrole synthétique à partir du charbon, gaz et gaz synthétique à partir du charbon	17
14. Chafnes électricité: pétrole - solaire - nucléaire	18
V. ANALYSE DES CHAINES SIMPLIFIEES APPLIQUEE AU SCENARIO "HAUT" DE L'IIASA	18
15. Rappel concernant les scénarios	18
16. Traitement brut des données: cas global	19
17. Discussion des demandes d'aciels	20
18. Régionalisation de la discussion	23
19. Cas du pétrole: un exemple d'étude régionalisée	24

	Page
VI. CONCLUSIONS GENERALES	26
20. Analyse bibliographique	26
21. Les problèmes liés à l'étude	27
22. La vision globale	27
23. Le problème "régionalisé"	28
24. Avis	28

ANNEXES

1. Bibliographie	30
2. Les données Bechtel et pour le solaire	31
3. Le micro-modèle	34

I. INTRODUCTION

1. Cadre de l'étude

La crise de l'énergie est actuellement au centre des préoccupations des économistes et des hommes politiques, sans doute parce qu'elle remet en cause bien des structures des sociétés industrialisées, mais aussi - et surtout - parce qu'elle a mis en évidence l'interdépendance entre les pays industrialisés et les pays en développement. La question de l'énergie porte donc sur l'ensemble de l'ordre mondial. Aussi est-il légitime de se demander si l'on est (ou sera) en mesure de palier cette crise.

Tout espoir, en effet, n'est pas définitivement perdu, grâce à l'éventualité d'une relance offerte par l'arrivée de productions nouvelles d'énergie. Mais dans quelles conditions pourra s'opérer la transition ? à quelle échelle ? et au profit de qui ? restent des questions très discutées.

Certaines de ces nouvelles technologies bouleversent les anciens cadres de la production énergétique: les unes dans le sens d'une très forte concentration de potentiel, comme la production nucléaire; les autres dans le sens d'une production particularisée, voire personnalisée, comme le solaire ou la biomasse. La question se pose alors de savoir si les changements, ou du moins la diversification, des sources d'énergie ne vont pas faire éclater les anciennes structures industrielles. Faut-il donc se préparer à des reconversions dans l'industrie ? ou, au contraire, ces nouvelles technologies ne vont-elles pas apporter à l'industrie un regain d'activité ?

C'est ici que se situe la question qui fait l'objet de cette étude : le développement des énergies nouvelles peut-il avoir une influence sur la demande en aciers ?

On voit comment la réponse que l'on aura à apporter est diversifiée et de combien de paramètres elle doit faire cas. En effet, aussi vrai qu'une étude globale peut donner une indication de tendance, il n'en reste pas moins que l'on ne pourra se faire une idée juste de la situation que dans la mesure où l'on tiendra compte, d'une part, des différences entre les technologies, d'autre part, de l'impact géographique-économique de celles-ci.

Or, lié à ces deux axes, intervient un troisième point : la qualité des aciers. Car les technologies avancées sont plus grandes demandeuses d'aciers spéciaux que les technologies traditionnelles. Cela pose donc à nouveau la question de l'interaction entre producteurs d'énergie et pays industrialisés. Autrement dit : quelle sera la part des pays en développement dans la demande d'énergie, par rapport à la part des pays industrialisés dans la production d'aciers (notamment d'aciers spéciaux) ?

Il est bien évident que le cadre d'une telle étude ne permettra pas de se pencher sur les problèmes d'économie politique; on s'attachera essentiellement à cerner le problème afférant à la production d'énergie, avec une optique aussi objective que scientifique, connaissant les mérites et les approximations d'une telle approche. Mais il est clair qu'une estimation finale, surtout au niveau mondial, devra tenir compte de facteurs beaucoup plus aléatoires que ceux qui seront pris ici en considération.

2. Présentation de la question

Le cadre de cette étude ne présente donc qu'un aspect du problème. C'est cet aspect que nous allons définir maintenant.

La question générale qui nous concerne est simple de formulation : "étudier l'influence du développement des énergies nouvelles sur la demande en aciers", mais beaucoup plus complexe dans ses implications. En effet, cela suppose, outre de faire un calcul global de prévision de la demande d'acier, de définir l'importance de chaque paramètre entrant en jeu. Il faut donc commencer par répondre à une série de questions particulières, avant d'arriver à équilibrer sa réponse dans une évaluation synthétisée. L'équilibre de cette réponse finale dépend, bien évidemment, des résultats chiffrés de chaque étude préliminaire. Afin d'équilibrer cette réponse en faisant un sort à chaque paramètre, un petit modèle informatique a été développé.

Mais avant de définir la méthode de travail, essayons de cerner les questions auxquelles on a à faire face.

- a) Y a-t-il une évolution globale prévisible de la demande mondiale d'acier due au secteur énergétique ?

- b) Quelle sera la part des nouvelles technologies de production d'énergie dans cette évolution ?
- c) Quelle sera la répartition géographique de ces technologies, et leur impact sur l'industrie sidérurgique ?
- d) L'évolution des productions d'énergie va-t-elle dans le sens d'une demande de plus en plus grande d'aciers spéciaux ?

Telles sont donc les quatre questions préliminaires à la question de savoir si la demande d'acier peut être relancée par l'évolution énergétique mondiale; telles sont par conséquent les quatre planches de travail proposées.

3. Recherche bibliographique

Pour nourrir cette étude, il convient de mener une recherche bibliographique selon deux axes :

- une collation de données chiffrées objectives, qui puissent être utilisables dans l'établissement de calculs numériques de base ;
- une analyse des ouvrages de synthèse et des études particulières faites sur le sujet.

Si les données chiffrées sont abondantes grâce aux bilans énergétiques et industriels des grands Etats, grâce aussi aux études entreprises par les gouvernements, force est de constater que les ouvrages de fond étaient très peu nombreux sur le sujet.

Outre la bibliographie disponible à l'IIASA, on a interrogé la Banque de données PASCAL du C.N.R.S., Paris. Mais on n'en a pu obtenir qu'un seul titre : "Environmental Resource Assessment Program. Department of Energy, pub. N° D.O.E./ET-0020/1". ^{2/}

Par contre, la bibliographie interrogée a toujours fait état d'une profusion d'études et d'estimations concernant l'influence de la crise de l'énergie sur la sidérurgie, ou les besoins énergétiques de cette industrie.

On trouvera en Annexe 1 l'ensemble de la bibliographie disponible au moment de cette étude. La discussion de telle ou telle publication trouve place dans le corps même de l'étude. Le contingent trop faible d'ouvrages dispense en effet de se soumettre à une confrontation critique des différentes thèses.

La base de l'étude est donc le rapport du Groupe Energie de l'IIASA (Laxenburg, Autriche) publié sous le titre : "Energy in a Finite World: a global systems analysis" (t. 2, 837 pages). Wolf Häfele, Program Leader. Ballinger, 1981. ^{1/}

C'est en effet la seule étude globale qui puisse actuellement fournir des scénarios énergétiques. Les calculs sont donc établis sur les données de ces scénarios. On peut aussi compléter les informations qu'il contient par l'étude particulière qu'a faite Arnulf Gruebler (IIASA) sur l'approche des chaînes énergétiques. ^{6/}

Pour ce qui concerne les données chiffrées autant quantitatives que qualitatives, on s'est appuyé sur les données du rapport annuel destiné au département de l'énergie des Etats-Unis, publié par Bechtel National Inc. (San Francisco) sous le titre : "Resource Requirements, Impacts, and Potential Constraints Associated with Various Energy Futures", 1978. ^{3/}

On y ajoutera les données spécifiques pour le solaire. ^{7/}

On se rendra compte facilement qu'une hiérarchie s'établit dans l'importance de ces données par la nature même de leur contenu, mais que leur qualité indépendamment de cette hiérarchie n'est pas toujours égale. On prendra pour exemple l'absence de tableaux chiffrés rendant compte de l'approche des résultats globaux dans l'étude de l'IIASA; ou encore certaines erreurs de pourcentages dans le rapport Bechtel. C'est pourquoi il faut, tout au long de cette étude, garder un regard critique sur les données.

4. Exposition de la méthode

Comme le met en évidence le sommaire qui se trouve en tête de ce rapport, l'étude proprement dite est bâtie sur quatre chapitres d'analyse des différents paramètres et d'un dernier chapitre de synthèse. Les quatre chapitres d'analyse s'articulent de la manière suivante :

- une étude au niveau global de la demande en métaux ferreux, s'appuyant directement sur le rapport du Groupe Energie de l'IIASA. ^{1/}
Cette étude a pour but, non pas de fixer une ligne directrice aux analyses suivantes, mais, d'une part d'établir une sorte de référence de comparaison entre une estimation à grande échelle et les conclusions partielles étalonnant une étude dans le détail, et, d'autre part, tout en servant de point de départ à un raisonnement critique,

de permettre de faire ressortir les éléments cruciaux dans l'interaction entre l'évolution de la production d'énergie et l'industrie sidérurgique.

- une analyse des données de Bechtel ^{3/}, comprenant outre la justification de l'emploi de ces données, leur conversion en unité standardisée utilisable dans un cadre comparatif plus général. Cette analyse joue le rôle ici d'une banque de données. C'est sur elle que s'appuieront tous les calculs effectués par la suite. Il s'agit en effet de collationner des données chiffrées réparties selon le type des technologies et selon la qualité des aciers employés.

Cette analyse de données fait partie du travail préalable à l'estimation; de même que les scénarios globaux de l'IIASA ^{1/} définiront la structure opérationnelle de l'évaluation, cette analyse apporte les éléments numériques indispensables.

- une analyse comparative de quelques chaînes simplifiées. Avec ce chapitre, on entre dans l'étude structurelle; il introduit, en effet, la notion d'énergie secondaire, c'est-à-dire qu'il fait un sort au trajet du matériau brut depuis son extraction jusqu'à la finalité de sa consommation. C'est ce trajet que l'on nomme "chaîne énergétique". La prise en considération de ce facteur permet de relativiser des résultats bruts, puisque l'on tient alors compte du rendement des installations de transformation. D'autre part, cela fait aussi intervenir le facteur non négligeable du transport des sources primaires d'énergie et des sources secondaires transformées, les unes vers les installations de transformation, les autres vers l'utilisateur final.

- l'analyse des chaînes simplifiées appliquée au scénario "haut" IIASA. C'est ici en quelque sorte le carrefour des analyses préalables. C'est, en effet, ici que s'organise le corps de l'évaluation, sur la base structurelle des scénarios IIASA en tenant compte de la notion de chaîne énergétique et des paramètres tirés de Bechtel ^{3/} : les types d'aciers, les types de technologies.

Cette analyse permet de développer sur ces bases mêmes un micro-modèle informatique applicable à tout scénario. Cela devrait permettre de moduler les réponses selon le scénario que l'on choisit, sans oublier toutefois que quel que soit celui-ci, la réponse obtenue ne sera qu'indicative dans le cadre du scénario et non "la" vraie.

On a appliqué cette méthode d'analyse à l'exemple du scénario "haut" - donc optimiste - de l'IIASA, afin d'asseoir l'estimation sur un ordre de valeurs quantifiables.

D'autre part, il y est fait une place à un exemple "régionalisé" appliqué au pétrole, apportant une indication sur les rapports entre demandeurs et producteurs de source énergétique et d'acier. La carence de données utilisables a limité l'importance de ce facteur à un seul exemple.

Le dernier chapitre tire les conclusions de cette étude à la fois sur le plan méthodologique, sur la vision globale et sur la régionalisation du problème. On retiendra sous le vocable A. 3, les principaux enseignements apportés par cette étude.

On trouvera en annexes, d'une part la bibliographie, les données Bechtel et pour le solaire, d'autre part le développement du micro-modèle mentionné ci-dessus.

II. EVALUATION GLOBALE

5. L'esprit de l'étude de l'IIASA

L'approche de la question énergétique par l'IIASA est sous-tendue par les principes suivants :

- généralisation de la vision et des analyses, c'est-à-dire ne pas céder aux contraintes des vues à court terme, forcément impliquées dans des cadres politiques ;
- systématisation des méthodes d'analyse et
- homogénéité dans la prise en compte des facteurs.

Il faut donc avoir à l'esprit que la démarche de l'IIASA s'est voulue objective, en dehors par conséquent de toute considération pragmatique ou d'esprit de compétition d'ordre politique, économique ou autre.

Elle se donne donc comme cadre géographique l'ensemble du monde et comme cadre temporel les cinquantes années à venir.

L'ensemble des pays du globe est réparti en sept régions selon les critères suivants :

- R.I : Amérique du Nord - riche en ressources, économies de marché développées
- R.II : URSS et Europe de l'Est - riches en ressources, économies planifiées développées
- R.III : Europe de l'Ouest, Australie, Israël, Japon, Nouvelle Zélande, Afrique du Sud - plus pauvres en ressources, économies de marché développées
- R.IV : Amérique Latine - riche en ressources, économies de marché en développement
- R.V : Asie du Sud et du Sud-Est, Afrique centrale - relativement peu de ressources, généralement économies de marché, en développement
- R.VI : Moyen-Orient et Afrique du Nord - riches en ressources (pétrole, gaz), économies en transition
- R.VII : Chine et pays d'Asie à économie planifiée - en développement, ressources modestes.

A l'intérieur de ces cadres géographique et temporel, l'étude de l'IIASA fait cas de l'exploration d'un champ de contraintes, au niveau mondial, selon les axes suivants :

- développement relatif des régions
- ressources disponibles (sur la période considérée) pour les différentes formes d'énergie
- contraintes globale : (humaines ou techniques) afférant à chaque grand type de technologie.

On prendra en compte les résultats de ces analyses comme des indices objectifs, qui serviront comme facteurs bruts (et constants) de calcul, afin de rendre homogènes et comparables les évaluations finales.

6. Les résultats publiés par l'IIASA

A partir de l'étude globale, publiée par l'IIASA ^{1/}, les besoins en matériaux ont été évalués pour chacune des stratégies énergétiques envisagées. Ces estimations tiennent compte bien entendu de la régionalisation décrite plus haut et de l'évolution démographique s'y attachant. D'autre part, les stratégies décrites reposent d'un côté sur un scénario "haut" estimant que la consommation en énergie atteindra 35,7 Twa/an en 2030, soit quelque chose comme quatre fois celle de 1975 (8,2 Twa/an); de l'autre sur un scénario "bas", moins optimiste, évaluant à quelque 22,4 Twa/an la consommation énergétique de 2030.

Ces deux scénarios permettent d'envisager deux voies moyennes de l'avenir, l'une comme relativement optimiste, l'autre comme moins favorable. En aucun cas ni l'un, ni l'autre n'a prétention d'une quelconque prédiction.

Ainsi, si l'on choisit comme base le scénario "haut", dans le but de considérer un avenir plutôt favorable, les chiffres de la demande globale en métaux ferreux comparés à ceux de la croissance économique mondiale semblent peu significatifs. On peut lire dans le tableau 1 cette comparaison tirée des estimations des pages 645 et 433 ^{1/} :

Tableau 1. Comparaison des taux de croissance de la demande en métaux ferreux et de l'économie mondiale

Année	1975	1980	1985	1990	2000	2015	2030
Indice pour métaux ferreux - base 75	100	135		180	250	400	530
Croissance de la demande en métaux ferreux - en % par an	5	2,5			3	2	
Croissance économique mondiale - en % par an	4,7	3,8			3	2,7	

7. Commentaires de ces résultats

En regard de ce tableau deux remarques s'imposent :

1° on constate que globalement la croissance de la demande en métaux ferreux est inférieure à la croissance économique mondiale. Autrement dit, même le scénario "haut" ne paraît guère optimiste sur l'évolution de l'industrie sidérurgique, d'une manière générale, rappelons-le. Cela tendrait à montrer que même si le secteur énergétique pouvait avoir un rôle d'entraînement sur l'industrie sidérurgique, celui-ci ne serait pas significatif, au niveau global.

2° le taux de croissance économique mondial est régulièrement décroissant (4,7% pour 75-85, 2,7 pour 2015-2030), tandis que celui de la demande en métaux ferreux est irrégulier, puisqu'il indique une remontée sur la période 2000-2015. On est en droit de supputer que sur cette période un facteur d'entraînement, quel qu'il soit, se fera sentir.

Il en ressort que la croissance de la demande en métaux ferreux pour les besoins énergétiques restera globalement inférieure à la croissance économique mondiale. Qu'en conséquence l'impact global des productions d'énergie sur le secteur sidérurgique ne paraît pas devoir être significatif avant la période 2000-2015.

Il reste non seulement à voir de quels facteurs dépend cette "relance" supposée pour 2000-2015, mais aussi à étudier si elle sera réservée à un certain secteur privilégié, ou si elle s'étendra à l'ensemble de la production d'acier. Autrement dit, il est important de se demander quelles sont les technologies de productions qui autoriseront cette relance - à moins qu'il s'agisse d'un facteur de masse parallèle à la démographie -, et quels sont les types d'aciers requis par chacune d'elles.

III. ANALYSE DES DONNEES DE BECHTEL

8. L'origine des données

Rappelons qu'il s'agit ici d'établir en quelque sorte une banque de données que l'on puisse exploiter dans le cadre des analyses. En conséquence, ces données doivent être à la fois suffisamment diversifiées, et fiables. On a donc d'une part à réunir des données chiffrées pour chaque technologie, d'autre part à les tester quant à leur représentativité au niveau global. Les données sont tirées du "rapport concernant l'évaluation des besoins énergétiques, leurs impacts et les contraintes qu'ils entraînent, selon diverses options énergétiques futures pour les Etats-Unis". ^{3/} On se référera principalement à l'Appendice B de ce rapport.

En ce qui concerne cette étude, on retiendra :

- a) pour la production de pétrole
 - 1° Extraction onshore
 - 2° Extraction offshore
 - 3° Extraction en Nord Alaska

- b) pour la production de gaz
 - 1° Extraction onshore conventionnelle de gaz naturel
 - 2° Extraction onshore assistée
 - 3° Extraction offshore

- c) pour la production de charbon
 - 1° Extraction à ciel ouvert (Est)
 - 2° Extraction à ciel ouvert (Ouest)
- d) pour la gazéification du charbon
 - 1° Gazéification High BTU
- e) pour la liquéfaction du charbon
 - 1° Liquéfaction Heavy Fuel
- f) pour la production d'électricité
 - 1° Centrale au fuel : 800 MWE
 - 2° Centrale nucléaire LWR (1100 MWE)
 - 3° Surrégénérateur (1000 MWE)
 - 4° Barrage hydroélectrique (200 MWE)
 - 5° Centrale solaire (100 MWE).

Il faut compléter ces références de productions de sources primaires et secondaires d'énergie, par des données concernant leur transport ou leur distribution :

- a) pour le pétrole
 - 1° Pipeline traditionnel
 - 2° Pipeline pour le transport du pétrole d'Alaska
- b) pour le gaz
 - 1° Pipeline de gaz
 - 2° Installation de distribution
- c) pour l'électricité
 - 1° Ligne haute-tension : 230 Kv alternatif
 - 2° 345
 - 3° 500
 - 4° 765
 - 5° 400 Kv continu
 - 6° Ligne de distribution aérienne.

On prendra, d'autre part, en compte les données concernant une centrale solaire d'une capacité de 100 MWE, projetée pour l'Espagne du Centre en 2010 dont les coefficients ont été calculés à partir de Mitre Corp. 7/

Pour chacune de ces références sont donnés les tonnages d'aciers requis, selon trois catégories : acier au carbone
acier allié
acier inox.

On réduit donc ces données brutes en pourcentages; puis on compare leur total au potentiel de production ou de transport, obtenant ainsi une proportion entre une production standard et la demande d'acier correspondante pour chaque technologie.

On trouvera en Annexe 2 les caractéristiques de toutes ces installations, ainsi que les données brutes.

9. Conversions à l'unité standardisée : Twan/an

Afin de rendre homogènes et comparables les valeurs de toutes ces données, il faut les convertir à une unité standardisée, valable pour les calculs à l'échelle globale, le tera watt an par an (Twan/an). Nous donnons ici les facteurs de conversion qui ont été employés pour les diverses unités.

a) Les productions de pétrole ou les débits de pipe-lines sont donnés en (M)BpD ((Millions) de barils par jour)

$$\text{or } 1 \text{ Twan} = 5,2 \times 10^9 \text{ Baril}$$

$$\text{donc } 1 \text{ Twan/an} = \frac{X \times 365^*}{5,2 \times 10^9} \text{ X donné en Barils/j.}$$

b) Les productions ou les débits de pipelines de gaz sont donnés en MCF (Millions de pieds cubes)

$$\text{or } 1 \text{ Twan} = 30 \times 10^{12} \text{ CF}$$

$$\text{donc } 1 \text{ Twan/an} = \frac{X \times 365^*}{30 \times 10^6} \text{ X donné en Millions de Pieds Cubes/j.}$$

c) Les productions de charbon sont données en MT/an (Millions de tonnes par an)

$$\text{or } 1 \text{ Twan} = 1,1 \times 10^9 \text{ tonnes}$$

$$\text{donc } 1 \text{ Twan/an} = \frac{X}{1,1 \times 10^3} \text{ X donné en MT/an}$$

Attention quelquefois, notamment pour les demandes d'aciers, il s'agit de ST (Short ton)

$$\text{or } 1 \text{ ST} = 907,2 \text{ Kg}$$

$$\text{donc } 1 \text{ tonne} = X \times 0,9072 \text{ X donné en short tons}$$

* dépend du nombre de jours opérationnels par an.

Tableau 3 F. Transport électricité

1. 230 KV ac.	$1,625 \times 10^4$	15.146.155	19.805	98,48	1,42	0,1
2. 345 KV ac.	$3,9 \times 10^4$	7.093.164	22.260,69	98,47	1,43	0,1
3. 500 KV ac.	$7,8 \times 10^4$	5.058.666	31.751,527	96,23	3,64	0,13
4. 765 KV ac.	$1,625 \times 10^3$	2.648.088,2	36.626,19	94,46	5,38	0,16
5. ± 400 KV d.c.	$9,75 \times 10^4$	5.586.576	70.127,64	76,75	22,98	0,26
Unités	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem

11. Commentaires de ces données

Quelques remarques s'imposent en regard de ces données.

a) Tableau 2 A.

En ce qui concerne les chiffres obtenus pour une installation de production de $1,281 \times 10^4$ Twa/an de pétrole brut onshore, il faut tenir compte du fait qu'il s'agit des conditions Nord-Américaines d'extraction. Ces données ne sont donc pas applicables à des installations de production aux conditions d'extraction plus aisées. En effet, si l'on fait attention, l'extraction onshore a une demande en acier supérieure de près du double à l'extraction offshore, à quantité produite équivalente. On ne peut pas prendre en compte ces données (tableau 2 A1.) dans le cadre d'une étude globale.

b) Tableau 2 C.

La justification de la prise en compte des données d'extraction à l'Est en regard de celles pour l'Ouest des Etats-Unis tient dans la différence de qualité des gisements. Le taux de récupération, c'est-à-dire le rapport du volume récupéré au volume de mort terrain dégagé, est beaucoup plus fort à l'Ouest qu'à l'Est, ce qui fait que pour une production plus faible les mines de l'Est des Etats-Unis ont une demande en acier beaucoup plus importante. Il était donc nécessaire d'avoir des données concernant des conditions d'extraction optimales et des données sur des conditions plus difficiles.

c) Tableau 2 DE.

Bien que cela n'apparaisse pas explicitement dans le tableau, les taux de rendement des installations de liquéfaction, et surtout

de gazéification du charbon décrites dans Bechtel ^{3/} pose un problème.

Pour ce qui est de la liquéfaction, les chiffres de Bechtel donnent un rendement de 50,20% ($R = 0,502$) - puisque l'on a des entrées de minerai de $3,00 \times 10^3$ Twan/an pour une production de :

$$1,505 \times 10^3 \text{ Twan/an.}$$

Le taux de rendement est donc faible, mais on peut l'accepter. Par contre pour la gazéification, le taux d'après les chiffres publiés, est exceptionnellement faible, et par là inacceptable. En effet, pour des entrées de minerai de $8,25 \times 10^3$ Twan/an, les données de Bechtel indiquent une production de $2,75 \times 10^3$ Tw/an seulement. Le taux de rendement de cette installation serait alors de 33% ($R = 0,33$). Or le taux moyen pour une telle installation est au moins de 60% et peut même monter jusqu'à 78% de rendement.

Il faut donc admettre, soit que ces données comportent ici une erreur, soit qu'elles ont été établies sur une technologie obsolète.

d) Tableau 2 F.

• Si l'on compare les données concernant les productions d'électricité décrites ici (cf Annexe 2) et celles publiées par E.D.F., on peut constater que les chiffres déclarés sont à peu près comparables. On s'en tiendra donc à ceux de Bechtel.

• Une remarque toutefois concerne les installations d'un barrage hydroélectrique. En effet, on ne peut pas considérer un barrage-type, attendu que le type de barrage dépend entièrement du site, ainsi la capacité du réservoir, la dénivellation de la chute dépendent-elles essentiellement du site d'implantation. Or, c'est précisément la construction du barrage qui réclame le plus d'acier. Ceci, donc, n'est qu'un exemple que l'on peut considérer comme moyen.

• Enfin, sont présentées ici, à titre indicatif, des données concernant une centrale solaire, calculées à partir de Mitre Corp. ^{7/}

Les chiffres obtenus ne peuvent pas être considérés comme suffisamment représentatifs d'une technologie pour être pris en compte. Ils indiquent toutefois qu'une centrale solaire (au niveau actuel de la technologie) demande un investissement en acier démesuré par rapport aux autres technologies considérées.

e) Tableau 3

Pour le transport, que ce soit des sources d'énergie primaires ou des sources secondaires, il faut choisir une unité idoine, à défaut d'être idéale. C'est pourquoi on adoptera une mesure de distance moyenne supportant les manèges de précision le cas échéant. Soulignons qu'il n'y a pas rapport de proportion possible entre la quantité d'énergie transportée et la longueur de pipeline ou de ligne électrique. Aussi ce choix est-il fait en fonction de sa commodité. On se servira donc de tonnes d'acier/Twan/an pour 100 Km (t/Twan/an/100 Km).

Dans la suite de l'étude on prendra l'option de favoriser spécialement les technologies dont la demande en aciers est la plus intensive, afin de radicaliser dans un premier temps l'estimation, attendu que les résultats globaux tirés directement des scénarios IIASA ne sont pas déterminants.

IV. ANALYSE COMPARATIVE DE QUELQUES CHAINES SIMPLIFIEES

12. La notion de chaîne énergétique

Le principe d'une chaîne énergétique est de suivre une source d'énergie en amont de sa production et, surtout, en aval. Autrement dit, il s'agit de faire le lien entre les énergies primaires et secondaires, puis finales.

Une même source brute peut être utilisée en énergie primaire, ou bien subir des opérations de transformation avant d'être distribuée comme énergie secondaire ou finale. Outre des installations de retraitement, la chaîne doit tenir compte des transports nécessaires et de la distribution. Toutes ces opérations sont porteuses de contraintes diverses (cf Gruebler ^{6/}), dont notamment la demande en acier.

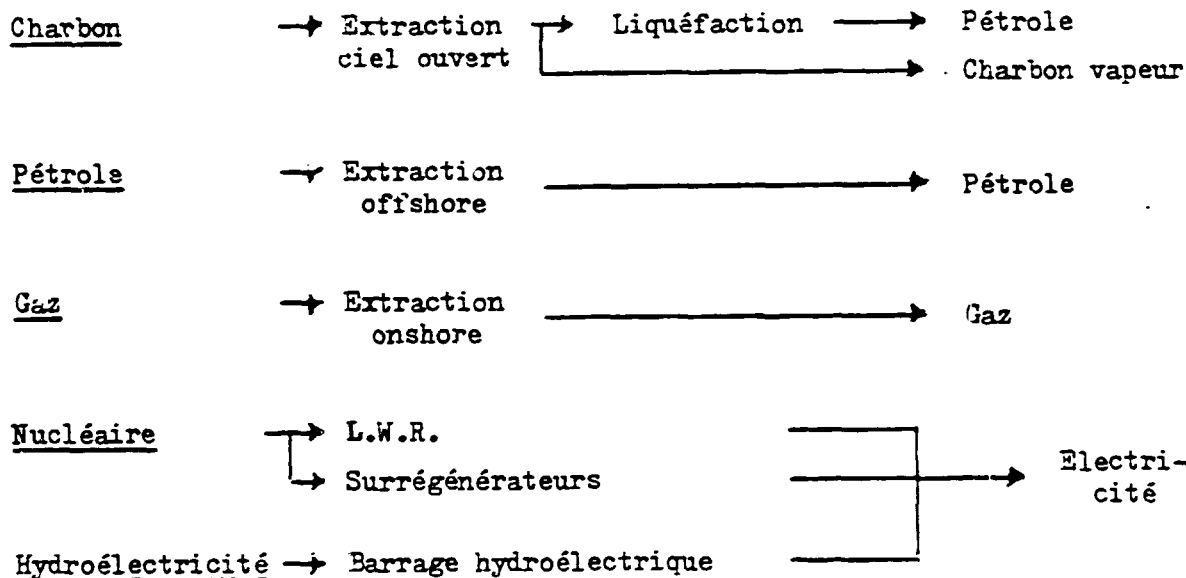
Prenons l'exemple du charbon :

- 1° l'extraction requiert des installations de mine
- 2° une fois produit le charbon peut :
- 3° servir comme combustible brut → chaudières
- 4° servir dans la production d'électricité → turbines
- 5° être liquéfié et a) doit être transporté par oléoduc
b) servir comme fuel (cf fuel)

- 6° être gazéifié et a) doit être transporté par gazoduc
 b) servir comme gaz (cf gaz).

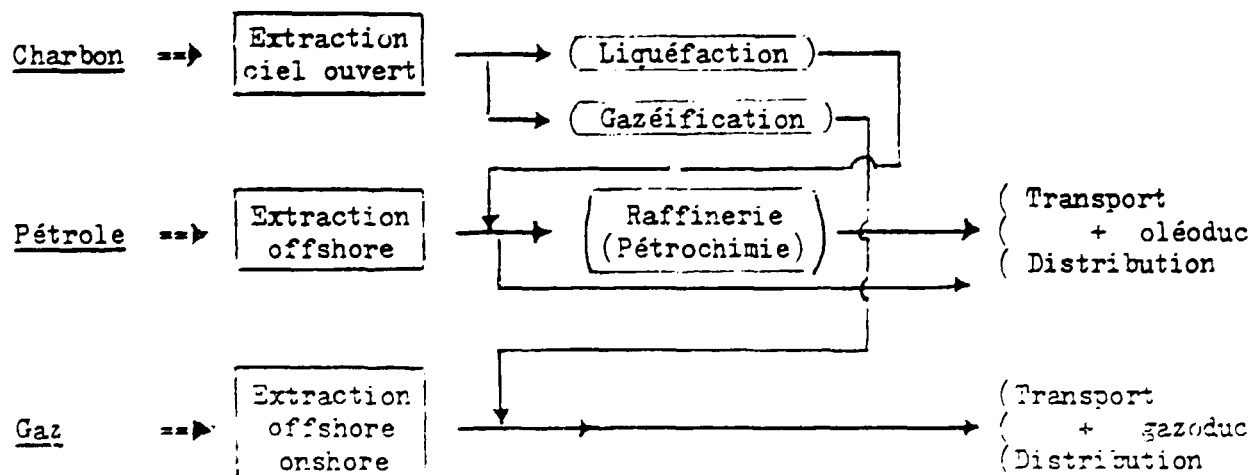
On peut constater qu'il y a des intersections entre les diverses chaînes primaires (charbon liquéfié → fuel
 charbon gazéifié → gaz naturel).

Dans la suite ne sont retenues que quelques intersections privilégiées, rendant compte des chaînes squelettes suivantes :

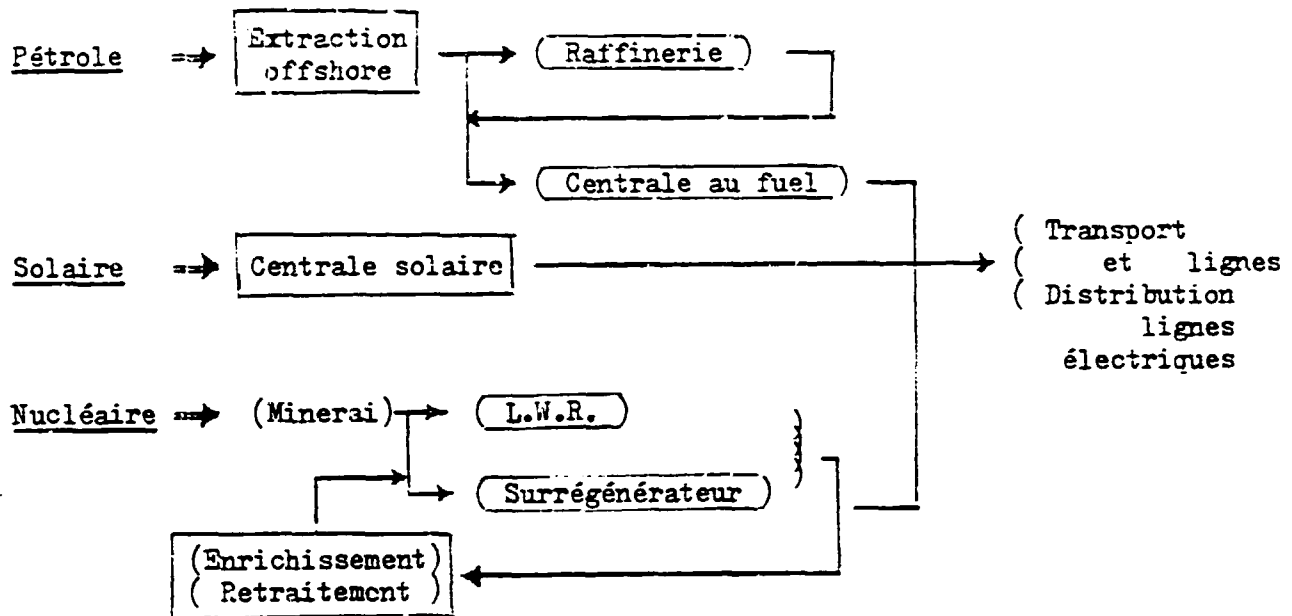


On ne peut pas prendre en compte l'hydroélectricité pour les raisons alléguées plus haut (cf 11.d.) : le facteur d'échelle et la spécificité des sites.

13. Chaînes pétrole et pétrole synthétique par liquéfaction du charbon, gaz et gaz synthétique à partir de charbon



14. Chaînes électricité : nucléaire - fuel - solaire



V. ANALYSE DES CHAINES SIMPLIFIEES APPLIQUEE AU SCENARIO "HAUT" DE L'IIASA

15. Rappel concernant les scénarios

Les scénarios de l'IIASA ^{1/} ne donnent des valeurs chiffrées qu'au niveau global. Bien que les calculs aient été faits pour chacune des sept régions mondiales (cf 5.) par un Modèle de la Demande en Energie, il n'existe aucune donnée régionalisée rapportée à chacune des technologies. Ce que l'on peut en retirer est donc, rappelons-le, trop peu précis pour répondre directement à notre question.

Le travail reste donc à faire, puisqu'aucune étude équivalente n'existe - à celle d'Arnulf Gruebler ^{6/} près, qui n'aborde qu'un aspect très partiel du problème. Sous la forme du tableau suivant, on trouvera la part des énergies primaires au niveau global en Twa/an, d'après les tableaux 17.2/8.10 p. 522 (t.2)/145 (t.1) et p. 523 (t.2) :

Tableau 4. Demande globale en énergies primaires: Twa/an

	1975	2000	2030
Pétrole	3,83	5,89	6,83
Gaz	1,51	3,11	5,97
Charbon	2,26	4,94	4,98
Charbon liquéfié	0,00	0,00	* 7,13
L.W.R.	0,12	1,70	3,21
Surrégénérateur	0,00	0,04	4,88
Hydroélectricité	0,50	0,83	1,46
Solaire	0,00	0,10	0,49
Autres	0,00	0,22	0,81
Total	8,21	16,84	35,65

Le scénario haut de l'IIASA présente donc deux temps :

1975 - 2000 : La structure de l'offre en énergies primaires reste comparable dans ses grandes lignes à maintenant, L.W.R. mis à part.

En ce qui concerne les technologies nouvelles, le solaire ne commence qu'en 2000, ainsi que la liquéfaction du charbon qui en est à ses tout débuts, et les surrégénérateurs.

Mais le gaz double entre 1975 et 2000.

Le pétrole reste prioritaire sur cette période.

2000 - 2030 : Un changement s'opère au niveau des technologies avec :

- l'introduction des surrégénérateurs; accroissement du rôle de l'électricité.
- la liquéfaction du charbon: diversification des sources de combustibles liquides.
- l'apparition du solaire à taille commerciale.
- l'apparition d'autres énergies renouvelables, telles que la biomasse.

16. Traitement brut des données: cas global

Il est donc nécessaire de faire une étude diversifiée par technologie afin d'arriver à une estimation plus précise de la demande d'acier. De même il serait opportun d'entreprendre une analyse de sensibilité adaptée à chaque région.

A partir des données collationnées et discutées en III et des indices de croissance et de durée de vie de chaque technologie, publiés par l'IIASA, on a établi une première série de calculs concernant les énergies primaires. Le principe de calcul est le suivant: affecter à la demande-type d'acier par technologie le coefficient d'investissement établi par pas de cinq ans sur la base des indices de croissance IIASA.

Calcul du taux de croissance par périodes de 5 ans :

$$M(t) = M(t-1) + 5 \Delta$$

où $M(t)$ = production à l'instant t par technologie

t = année (de 5 en 5)

Δ = croissance en T an/an.

Calcul de l'investissement brut par technologie et par périodes de 5 ans :

$$SM(t) = 5 \Delta + \frac{5M(t-1)}{T} + \frac{10\Delta}{T} = 5 \left[\frac{M(t-1)}{T} + \Delta \left(1 + \frac{2}{T}\right) \right]$$

où T = durée de vie de la technologie (mesure moyenne).

On trouvera en Annexe 3 les calculs concernant $M(t)$ et $SM(t)$ par technologie, ainsi que Δ et T .

Il convient ensuite de calculer la demande selon les types d'acier, afin de mesurer leur importance parallèlement au développement de telle ou telle technologie. On affecte pour cela le coefficient de pourcentage tiré des données Bechtel (cf 10) au résultat global; on obtient ainsi une répartition de l'évolution de la demande selon le type de technologie et le type d'acier.

On aboutit alors à une première série de résultats appliqués aux énergies primaires : voir Tableau 5 ci-après.

17. Discussion des demandes d'aciers

Grâce à cette première série brute, on peut calculer pour chaque période le taux de croissance par an de la demande en aciers due à l'évolution du secteur énergétique; ainsi que la part de chaque technologie dans la demande.

Tableau 5. Evolution de la demande globale d'aciers pour les énergies primaires :
pétrole, gaz, charbon, hydroélectricité, nucléaire
en milliers de tonnes/ans (moyenne sur 5 ans)

		Année : 1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Total	Acier carbone	22710	24895	27082	29266	31453	46281	50402	54522	58642	62762	66883
	Acier allié	1668	1840	2012	2184	2356	3802	4178	4553	4929	5304	5679
	Acier inox	202	230	257	285	312	977	1111	1246	1380	1515	1649
	Total aciers	24580	26965	29351	31735	34122	51060	55691	60321	64951	69581	74211
Pétrole Production offshore	Acier carbone	10885	11744	12607	13477	14314	13386	13712	14038	14363	14689	15016
	Acier allié	738	796	854	912	970	908	930	952	974	996	1018
	Acier inox	19	20	21	23	24	23	23	24	25	25	26
	Total aciers	11642	12558	13475	14392	15308	14317	14665	15014	15362	15710	16060
Gaz	Acier carbone	5662	6283	6904	7525	8146	10105	11030	11954	12880	13805	14729
	Acier allié	457	507	557	607	658	816	890	965	1040	1114	1189
	Acier inox	8	9	10	11	11	14	15	17	18	19	21
	Total aciers	6127	6799	7471	8143	8815	10935	11935	12936	13938	14938	15939
Charbon Production mine à ciel ouvert type Ouest USA	Acier carbone	268	293	318	344	369	586	641	697	752	807	862
	Acier allié	17	19	20	22	24	38	41	45	48	52	55
	Acier inox	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	Total aciers	286	313	340	368	395	627	685	745	804	867	921
Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	0	6137	7274	8410	9546	10683	11820
	Acier allié	0	0	0	0	0	556	659	762	865	968	1071
	Acier inox	0	0	0	0	0	286	339	392	445	498	551
	Total aciers	0	0	0	0	0	6979	8272	9564	10856	12149	13442
Nucléaire L.W.R. (eau pressurisée)	Acier carbone	3976	4561	5144	5735	6320	6143	6610	7076	7544	8010	8478
	Acier allié	404	464	523	583	643	625	672	720	767	815	862
	Acier inox	168	193	218	243	268	260	280	300	319	339	359
	Total aciers	4548	5218	5889	6561	7231	7028	7562	8096	8630	9164	9699
Nucléaire surrégénérateurs	Acier carbone	0	0	0	0	0	6823	7880	8938	9996	11054	12112
	Acier allié	0	0	0	0	0	777	898	1016	1139	1260	1380
	Acier inox	0	0	0	0	0	381	440	499	558	617	676
	Total aciers	0	0	0	0	0	7981	9218	10455	11693	12931	14168
Hydroélectricité (1)	Acier carbone	1919	2015	2111	2205	2303	3101	3255	3409	3561	3713	3866
	Acier allié	51	54	56	59	61	83	87	91	95	99	103
	Acier inox	6	6	7	7	7	10	10	11	11	12	12
	Total aciers	1976	2075	2174	2271	2371	3194	3352	3510	3667	3824	3981

Note (1) : Correspond aux données de la base de données Bechtel. Est à considérer à titre indicatif.
Une analyse de sensibilité sur ces coefficients devra être faite afin d'affiner le résultat
surtout pour les pays en développement.

Tableau 6. Taux de croissance par période de la demande en aciers en % / an

Période	1980 - 2000	2000 - 2015	2015 - 2030
Croissance de la demande globale d'acier	1,65	3,87	1,39
Croissance de la demande en aciers spéciaux (allié + inox)	1,79	5,31	1,57

Tableau 7. Part de chaque technologie dans la demande globale d'acier, en pourcentages

Année	1980	2000	2005	2015	2030
Pétrole	47,3	44,8	28,0	24,9	21,6
Gaz	25,0	25,8	21,0	21,4	21,5
L.W.R.	18,5	21,2	13,0	13,4	13,1
Hydroélectricité	8,0	7,0	6,3	5,8	5,4
Charbon	0,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Surrégénérateur	0	0	15,6	17,3	19,1
Liquéfaction	0	0	13,7	15,9	18,1

Le choix des années pour établir ce tableau a été guidé par les résultats exposés dans le tableau 6, qui montrent avec netteté qu'il y aura une accélération de la croissance au cours de la période 2000-2015, due avant tout à l'apparition des technologies grosses demandeuses d'aciers spéciaux. La part des aciers spéciaux, grâce en effet au développement des énergies à technologie avancée (surrégénérateur, jusqu'à 19% en 2030), augmente de 275% sur l'étendue de cette période : 0,8% en 1980; 2,2% en 2030.

Cette première estimation globale sur la base du scénario haut de l'IIASA invite à plusieurs remarques :

- l'importance confirmée du pétrole jusqu'à la fin de la période
- l'importance constante de la part du gaz (25% en 1980 - 21% en 2030)
- l'accélération de la croissance de la demande en aciers entre 2000 et 2015
- le rôle joué par l'apparition à taille commerciale des énergies à technologie avancée - surrégénérateurs, liquéfaction du charbon, colaire - pendant le début du siècle.

Mais cette estimation ne saurait être définitive, car elle ne prend pas en compte le facteur de répartition demande/production d'acier. Et c'est là tout le problème d'une étude régionalisée :

- 1° - Quelles sont les régions demandeuses d'aciers spéciaux ?
 - En sont-elles productrices ?
- 2° - Le développement du pétrole ou du charbon dans des régions en développement et riches en ressources ne s'accompagnera-t-il pas d'une accélération parallèle de la croissance de l'industrie sidérurgique locale ?
 - Ou bien favorisera-t-il les pays développés pauvres en ressources ?

18. Régionalisation de la discussion

La régionalisation apparaît comme un élément déterminant de l'estimation de l'impact de l'évolution énergétique sur la demande d'acier. Mais une étude par région, comparable à l'étude générale précédente (cf 16 - 17) nécessite des données régionalisées; or le rapport de l'IIASA ^{1/} ne les présente que sous la forme de graphiques relativement peu précis. En conséquence les scénarios IIASA, et c'est regrettable, ne permettent pas de mener à bien cette estimation.

Afin de pouvoir apporter une réponse aux questions soulevées précédemment (cf 17) au sujet de la capacité de certaines régions à produire ou non l'acier nécessaire à leurs besoins énergétiques, il serait souhaitable d'avoir accès à de telles données.

Il serait, en effet, intéressant de placer les scénarios "Acier UNIDO" ^{8/} dans la perspective des scénarios "Energie IIASA" ^{1/}, ou, de manière plus générale, dans toute perspective énergétique. Car la discussion par région des études synthétisées concernant toutes les technologies de la région mènerait à une vision plus dynamique de l'évolution de la demande d'acier.

L'étude au niveau mondial fait apparaître une période de croissance accélérée entre 2000 et 2015, mais cela en valeur moyenne. Il est évident que toutes les régions ne seront pas concernées par cet accroissement de la demande d'acier de la même manière. Il est fort probable que les demandeurs en valeur croissante d'acier au carbone ne seront pas les mêmes que les demandeurs d'aciers spéciaux, à cause de la différence de niveau technologique. Il serait important de savoir, par exemple, si

des régions nouvelles productrices de pétrole offshore ne sont pas aussi des régions en développement capables de développer une industrie sidérurgique (Amérique Latine) autosuffisante. Par ailleurs, tout aussi important est de savoir si les énergies à technologie avancée pourront être développées dans des régions en développement qui n'auraient pas les moyens suffisants pour produire des aciers spéciaux *, parallèlement aux régions développées industriellement (R.I., R.III).

Cette étude régionalisée n'a pu être entreprise que pour une seule stratégie: production de pétrole offshore et par liquéfaction du charbon. Il faudrait pouvoir la généraliser, non seulement pour toute stratégie énergétique, mais, dans le cadre de chaque région, pour l'ensemble des stratégies.

19. Cas du pétrole : un exemple d'étude régionalisée

La stratégie "pétrole" inclue 4 données par région :

- la demande de pétrole
- la production de pétrole brut
- la production de pétrole synthétique par liquéfaction du charbon
- les besoins de transport et de distribution.

Seules les trois premières sont prises en compte dans les résultats subséquents, le problème du transport et de la distribution restant ouvert. D'autre part, pour les raisons présentées au chapitre 11.a, la production de pétrole brut est calculée sur les seules bases de l'extraction offshore.

Dans le cas de la région III et de la région V importatrices de pétrole brut, l'une de manière établie, l'autre à partir de 2000-2005 (si l'on s'en réfère aux données de l'IIASA), il est nécessaire de faire une analyse de sensibilité. Il faut, en effet, fonder l'étude de la demande en aciers sur la demande en énergie et non pas sur la production. Dans ce cas, on a reporté la demande globale sur le pétrole.

Pour la région III, on prend l'hypothèse que la région doit fournir elle-même tous les équipements nécessaires à la production du pétrole qu'elle importe.

* (Région V, R. VII)

Pour la région V, le but recherché est d'évaluer la demande d'acier correspondant à la demande totale de pétrole, afin de définir les créneaux de production d'acier que la région peut ou non prendre en charge. En outre, s'agissant de l'Afrique, où les prospections récentes ont fait découvrir des réserves offshore, les chiffres de l'IIASA peuvent être considérés comme plutôt bas.

Tableaux 3 et 9.

Tableau 8. Evolution de la demande d'acier liée aux stratégies pétrolières de l'IIASA, par région en milliers de tonnes par an

Région		Année:1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
I	Pétrole (Production offshore)	Acier carbone	1523	1482	2713	2905	3196	2426	1415	2730	2189	874	1448
		Acier allié	103	100	184	197	217	164	96	185	148	59	98
		Acier inox	3	3	5	5	5	4	2	5	4	1	2
		Total	1629	1585	2902	3107	3418	2594	1513	2920	2341	934	1548
I	Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	345	581	1596	655	1042	2183	1791
		Acier allié	0	0	0	0	31	53	145	53	94	198	162
		Acier inox	0	0	0	0	16	27	74	30	49	102	83
		Total	0	0	0	0	392	661	1815	744	1185	2483	2036
II	Pétrole (Production offshore)	Acier carbone	1806	1669	1731	1794	1856	1848	1677	1020	1519	1519	1519
		Acier allié	122	113	117	122	126	125	114	69	103	103	103
		Acier inox	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
		Total	1931	1785	1851	1919	1985	1976	1794	1090	1625	1625	1625
II	Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	0	115	423	1244	998	1183	1321
		Acier allié	0	0	0	0	0	10	38	113	90	107	120
		Acier inox	0	0	0	0	0	5	20	58	46	55	62
		Total	0	0	0	0	0	130	481	1415	1134	1345	1503
III	Pétrole (Production offshore)	Acier carbone	2693	1390	899	787	583	543	537	545	291	541	1036
		Acier allié	183	94	61	53	40	37	36	37	19.5	37	70
		Acier inox	5	2	2	1	1	1	1	1	.5	1	2
		Total	2881	1486	962	841	624	587	574	583	311	579	1108
III	Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	0	517	957	2151	2387	1798	2417
		Acier allié	0	0	0	0	0	47	87	195	216	163	219
		Acier inox	0	0	0	0	0	24	45	100	111	84	113
		Total	0	0	0	0	0	588	1089	2446	2714	2045	2749

(à suivre)

Tableau 8. (suite)

Année:		1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Région												
Pétrole (Production offshore)	Acier carbone	941	1357	1382	1648	2310	2551	2984	3175	4174	4391	4878
	Acier allié	64	92	94	112	157	173	202	215	283	298	331
	Acier inox	2	2	2	3	4	4	5	5	7	7	8
	Total	1007	1451	1478	1763	2471	2728	3191	3396	4464	4696	5217
IV												
Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Acier allié	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Acier inox	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V												
Pétrole (Production offshore)	Acier carbone	1086	1040	1003	1066	1269	595	187	616	1090	1498	2555
	Acier allié	74	71	68	72	86	40	13	42	74	102	173
	Acier inox	2	2	2	2	2	1	0	1	2	3	4
	Total	1662	1113	1073	1140	1357	636	200	659	1166	1603	2332
Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	0	0	287	340	279	311	170
	Acier allié	0	0	0	0	0	0	26	31	25	28	15
	Acier inox	0	0	0	0	0	0	13	16	13	14	8
	Total	0	0	0	0	0	0	326	387	317	353	193
VI												
Pétrole (Production offshore)	Acier carbone	1527	3575	3825	4357	4619	5710	6251	5094	4994	4994	5206
	Acier allié	103	242	259	295	313	387	424	345	339	339	353
	Acier inox	3	6	6	7	8	10	11	9	9	9	9
	Total	1633	3823	4090	4659	4941	6107	6686	5448	5342	5342	5568
Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Acier allié	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Acier inox	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(à suivre)

Tableau 8. (suite)

		Année:	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Région													
Pétrole (Production offshore)	Acier carbone	732	970	1086	1323	1440	1677	1794	1748	932	341	- 2002	-
	Acier allié	50	66	74	90	98	114	122	118	63	23	- 136	-
	Acier inox	1	2	2	2	2	3	3	3	2	1	- 3	-
	Total	783	1038	1162	1415	1540	1794	1918	1869	997	365	- 2141	-
VII													
Liquéfaction du charbon	Acier carbone	0	0	0	0	0	0	345	523	1413	1991	3898	
	Acier allié	0	0	0	0	0	0	31	47	128	180	353	
	Acier inox	0	0	0	0	0	0	16	24	66	93	182	
	Total	0	0	0	0	0	0	392	594	1007	2265	4433	

- Notes: 1) Ces demandes d'aciers correspondent à l'application du micro-modèle de l'annexe 3 aux scénarios de l'IIASA, tels qu'ils sont présentés dans IIASA 1/
- 2) Des chiffres négatifs apparaissent pour la demande d'acier entraînée par la production de pétrole de la Région VII. Cela est anormal et prouve que la décroissance de la production pétrolière entre 2025 et 2030 est trop rapide et correspond à un désinvestissement.

Tableau 9. Evolution de la demande d'acier correspondant à une production de pétrole
(par la technologie du pétrole offshore) égale à la demande des régions
importatrices III et V

Région	Année	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
III	Production de pétrole correspondant à la demande de la région III											
	acier carbone	3325	3471	3829	3825	4112	4511	4407	4765	4761	4765	5011
	acier allié	225	235	260	259	279	306	299	323	323	323	340
	acier inox	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8	8
	Total	3556	3712	4095	4091	4398	4825	4714	5096	5092	5096	5359
V	Production de pétrole correspondant à la demande de la région V											
	acier carbone	608	1024	978	1365	1977	2006	2801	2984	3529	3925	4532
	acier allié	41	69	66	93	134	136	190	202	239	266	307
	acier inox	1	2	2	2	3	3	5	5	6	7	8
	Total	650	1095	1046	1460	2114	2145	2996	3191	3774	4197	4847

Notes: 1) Pour la région III, la demande d'acier correspondant à la production de la demande de pétrole est toujours supérieure à la demande d'acier correspondant aux productions internes de pétrole et pétrole synthétique réunis. Les importations de pétrole font la différence.

2) Il n'en est pas de même pour la région V, car elle n'est importatrice de pétrole qu'à partir de l'an 2000.

VI. CONCLUSIONS GENERALES

20. Analyse bibliographique

L'analyse bibliographique n'a pu concerner que les études générales concernant l'énergie, vu que la question n'est pas envisagée par la bibliographie sous l'angle d'une relance possible de l'industrie sidérurgique par le secteur énergétique.

. Elle s'est attachée avant tout à l'exploitation méthodique du rapport du Groupe Energie de l'IIASA. 1/

Comme étude complémentaire, l'analyse d'Arnulf Gruebler 6/ sur la comparaison des chaînes énergétiques a apporté des éléments structurels, mais n'a pas amené d'éléments déterminants sur la question du transport des combustibles fluides.

Tout au long de l'étude on aura remarqué à la fois les qualités et les carences du rapport de l'IIASA, notamment l'effort d'exhaustivité d'un côté, mais de l'autre l'absence de tableaux chiffrés par région rendant compte de l'approche des résultats globaux.

. Les autres titres de la bibliographie concernent tant pour Bechtel 3/ que pour Mitre 7/ la recherche de données brutes, à la fois suffisamment précises et diversifiées.

On notera à ce sujet que ces données vont généralement dans le sens des sources de l'étude de l'IIASA. Il n'y a à relever que les chiffres de l'extraction onshore de pétrole et le caractère trop restreint des données sur le solaire.

. Le contenu de "Environmental Resource Assessment Program" 2/ n'a pas été analysé, faute d'avoir pu obtenir cette publication à temps.

. Les autres titres 4/ 5/ 8/ ne sont mentionnés qu'en référence.

On voit que la bibliographie utilisée est assez pauvre, et qu'il est probable qu'il existe d'autres titres utiles à cette étude ne figurant pas dans les fichiers interrogés.

21. Les problèmes liés à l'étude

Il convient de faire brièvement le point sur les problèmes liés à une telle étude :

- la pauvreté de la bibliographie disponible vient d'être soulignée.
- le nombre des paramètres fait que les données sont éparpillées et que leur correspondance n'est pas toujours aisée à retablir ou à faire.
- les seuls scénarios énergétiques exploitables sont ceux de l'IIASA; il faut d'une part les admettre comme base, d'autre part ne pas oublier que les résultats acquis ne sont que ceux qui leur correspondent. L'existence et la disponibilité d'autres scénarios permettraient de relativiser les estimations et d'apporter des éléments de comparaison.
- la question du transport et de la distribution des combustibles fluides (pétrole, gaz) est abordée de façon encore trop restreinte pour s'intégrer dans la série des technologies composant les chaînes énergétiques. Ne sont disponibles, en effet, que des données brutes par pays; l'extrapolation de ces données au niveau d'une région du globe fait intervenir un facteur d'échelle non encore défini. De ce fait, les estimations selon les chaînes énergétiques sont incomplètes.
- enfin la régionalisation de l'estimation, qui est indispensable, requiert des données homogènes et complètes pour l'ensemble des régions. L'absence de telles données a entravé la démarche devant aboutir, grâce au développement du micro-modèle (cf Annexe 3), à une estimation régionalisée synthétique.

22. La vision globale

Les résultats indiquent tous que jusqu'à l'horizon 2000 le pétrole est dominant. Mais en marge du pétrole, il serait intéressant d'étudier si certaines technologies nouvelles n'ont pas un rôle à jouer, telles que le solaire, par exemple. De telles éventualités ne sont pas envisagées par les scénarios IIASA, dans lesquels le pétrole et le gaz couvrent 70% de la demande d'acier entraînée par le secteur énergétique.

D'autre part, si l'on s'en réfère aux prévisions de Robert U. Ayres, cité dans 8/ p. 21, concernant la consommation primaire de fer et d'acier,

jusqu'à l'an 2000 le rapport entre les quantités d'acier appelées par le scénario global IIASA, ramenées par an, et la moyenne annuelle totale de consommation primaire de fer et d'acier dans le monde reste constant aux environs de 3,7%.

. Après 2000, l'apparition du nucléaire et des pétroles synthétiques induit une accélération dans l'accroissement de la demande globale d'acier, et en particulier d'aciers spéciaux. Mais l'accroissement s'infléchit de nouveau à partir de 2015.

23. Le problème "régionalisé"

L'étude régionalisée d'après les scénarios IIASA ^{1/} fait apparaître, si on la rapporte au scénario sidérurgique UNIDO ^{8/} pp. 58-59, que la part de la demande d'acier induite par le développement du secteur énergétique, pour 1990, où le pétrole reste dominant,

- en Afrique, en Amérique Latine (R.V, R.IV), est relativement faible (environ 2% de la capacité de production)
- mais en revanche est substantielle au Moyen-Orient (R.VI) (environ 20% de la capacité de production).

Ceci repose sur les hypothèses émises par l'IIASA, où la demande de pétrole de la région III était fournie exclusivement par la région VI (Moyen-Orient - Afrique du Nord). Ces hypothèses devront être diversifiées si l'on veut arriver à des conclusions régionales probantes.

24. Avis

L'étude a permis d'établir de façon critique une base de données qui est maintenant exploitable de façon informatisée.

Les scénarios énergétiques de l'IIASA ont permis de tester la méthode. Toutefois certains points restent en suspens.

- 1° Le dimensionnement des réseaux de distribution et de transport du gaz, de l'électricité et du pétrole, reste un problème ouvert qui peut, vu les données rassemblées, peser un poids non négligeable dans la demande d'acier, notamment pour l'Amérique Latine.
- 2° Les scénarios de l'IIASA sont apparus d'un maniement difficile à cause de la mauvaise qualité des données régionalisées. De plus, il apparaît important de pouvoir en varier les hypothèses et en contrôler la cohérence économique par rapport aux scénarios développés par l'ONUDI. ^{2/}

L'élaboration d'un ensemble de scénarios énergétiques cohérents avec les hypothèses des scénarios ONUDI et prenant en compte des hypothèses contrastées semble être l'étape suivante de la régionalisation de la discussion. L'élaboration de la base de données et de son maniement informatisé par le micro-modèle sont un bon point de départ dans cette direction.

Bibliographie

- 1/ IIASA Energy in a finite world
Report by the Energy Systems Program Group of IIASA
(Laxenburg, Austria), Wolf Häfele, Program leader.
t. 1: "Paths to a sustainable future", 225 pp.
t. 2: "A global systems analysis", 837 pp.
Ballinger, 1981

(sauf indication contraire, les références sont
tirées du tome second)
- 2/ PASCAL Interrogation de la Banque de données PASCAL, CNRS,
Paris (Fr):

Environmental Resource Assessment Program
Department of Energy, Pub. No. D.O.E./ET-0020/1,
103 pp.
- 3/ BECHTEL Bechtel National Inc.

Resource Requirements, Impacts, and Potential
Constraints Associated with Various Energy Futures
Annual report prepared for U.S. department of energy
Research and engineering Sechtel National Inc.,
San Francisco, 1978
- 4/ WOCOL Vol. 1: "Coal Bridge to the Future"
Ballinger, 1980

Vol. 2: "Future Coal Prospects: Country and Regional
Assessment"
C. Wilson, Director - Ballinger, 1980
- 5/ INTERFUTURS Face aux futurs
OCDE, 1979
- 6/ GRUEBLER Resource Requirements for Industrial Processes:
A Wellm comparison of energy chains
Arnulf Gruebler, IIASA, WP. 50-80, 1980
- 7/ MITRE Systems description and engineering costs for Solar
related technologies

Vol. 5: "Solar Thermal Electric Systems"
Mitre Corp., Report No. ERHQ 2322/77/1, June 1977
- 8/ ONUDI Scénarios de l'industrie sidérurgique 1990

1ère partie: "Les dossiers"
2ème partie: "Propositions de scénarios"
UNIDO/IS.213, IS/213/Add.1 - 23 février 1981

Installation	Description
E1. Extraction de pétrole brut onshore PETROLE	365 jours opérationnels. Durée de vie: 20 ans. Production: 1.825 barils par jour
E4. Extraction offshore PETROLE	365 jours opérationnels. Durée de vie: 20 ans. Production: 20.000 barils par jour
E5. Extraction en Alaska du Nord PETROLE	365 jours opérationnels. Durée de vie: 20 ans. Production: 180.000 barils par jour
E19. Extraction convention- nelle onshore GAZ	365 jours opérationnels. Durée de vie: 20 ans. Production: 30 millions de pieds cubes/jour
E20. Extraction onshore assistée GAZ	365 jours opérationnels. Durée de vie: 25 ans. Production: 208,2 millions de pieds cubes/jour
E21. Extraction offshore GAZ	365 jours opérationnels. Durée de vie: 20 ans. Production: 250 millions de pieds cubes/jour
E28. Mine à ciel ouvert Est E.U. CHARBON	253 jours opérationnels/an. Durée de vie: 30 ans Production: 4 millions de tonnes/j.
E29. Mine à ciel ouvert Ouest E.U. CHARBON	253 jours opérationnels/an Durée de vie: 30 ans Production: 6 millions de tonnes/j.
E31. Gazéification du charbon GAZ High BTU	330 jours opérationnels. Durée de vie: 25 ans. Entrées de minerai: 27.500 tonnes de lignite/jour. Production: 250 millions de pieds cubes
E34. Liquéfaction du charbon FUEL lourd	330 jours opérationnels. Durée de vie: 25 ans. Entrées de minerai: 10.000 tonnes/jour. Production: 23.710 barils/jour
E51. Centrale au fuel ELECTRICITE	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 30 ans. Capacité: 300 mégawatts Production: 3,854 milliards de Kwh/an Disponibilité: 55%

Installation	Description
E64. Centrale nucléaire LWR ELECTRICITE	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 30 ans. Capacité: 1.100 mégawatts. Production: 6,842 milliards de Kwh/an Disponibilité: 71%
E66. Surrégénérateur ELECTRICITE	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 30 ans. Capacité: 1.000 mégawatts. Production: 6,220 milliards de Kwh/an Disponibilité: 71%
E67. Barrage hydroélectrique ELECTRICITE	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 60 ans. Capacité: 200 mégawatts. Production: 0,981 milliard de Kwh/an Disponibilité: 56%

T1. Transport par pipeline de pétrole brut	360 jours opérationnels/an. Durée de vie: 40 ans. Longueur: 150 miles. Diamètre: 36 inches. Transport: 800.000 barils/jour.
T2. Transport de pétrole d'Alaska par pipeline	350 jours opérationnels/an. Durée de vie: 40 ans. Longueur: 800 miles. Diamètre: 48 inches. Transport: 2.000.000 barils/jour.
T17. Transport de gaz par pipeline	360 jours opérationnels/an. Durée de vie: 40 ans. Longueur: 150 miles. Diamètre: 36 inches. Transport: 830 millions de pieds cubes/ jour.
T18. Installation de distri- bution de gaz	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 40 ans. Débit: 50 millions de pieds cubes/jour.
T21. Ligne H.T. 230 KV alternatif	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 50 ans. Longueur: 500 miles. Capacité: 250 mégawatts.
T22. Ligne H.T. 345 KV alternatif	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 50 ans. Longueur: 500 miles. Capacité: 600 mégawatts.

Installation	Description
T23. Ligne H.T. 500 KV alternatif	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 50 ans. Longueur: 500 miles. Capacité: 1.200 mégawatts.
T24. Ligne H.T. 765 KV alternatif	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 50 ans. Longueur: 500 miles. Capacité: 2.500 mégawatts.
T25. Ligne H.T. ± 400 KV continu	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 50 ans. Longueur: 800 miles. Capacité: 1.500 mégawatts.
T26. Ligne de distribution électricité aérienne	365 jours opérationnels/an. Durée de vie: 50 ans. Capacité totale: 131,6 mégawatts.

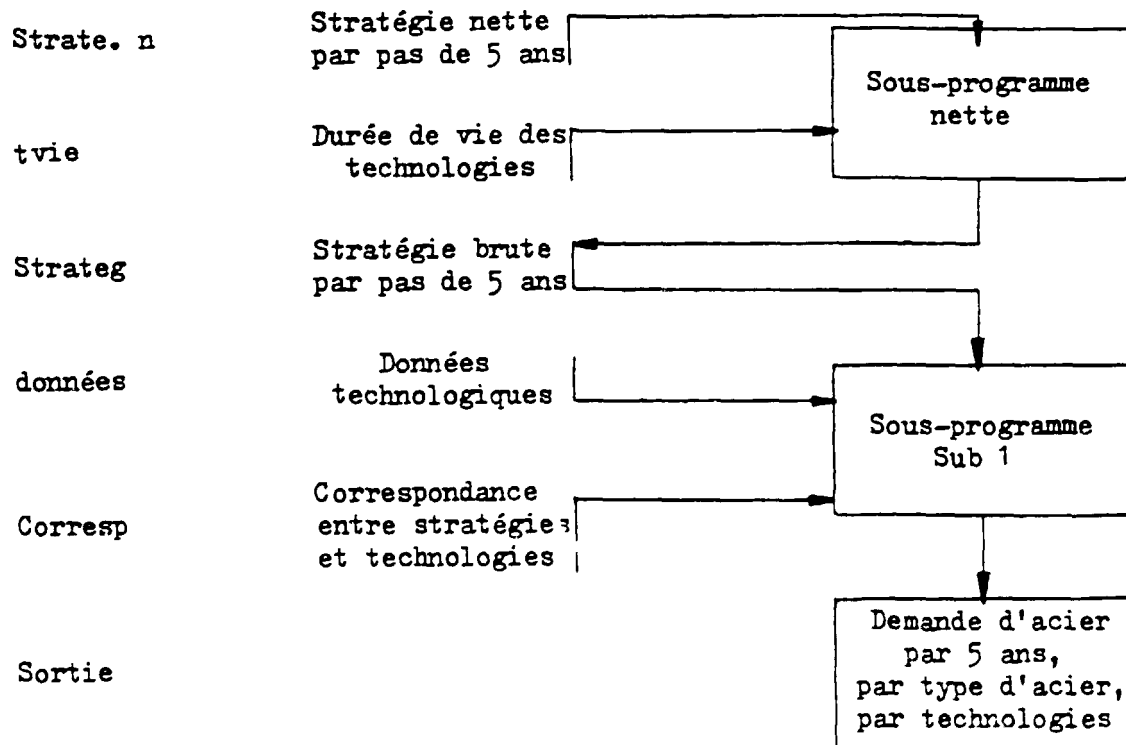
Micro modèle

But du modèle

- étant données
 - (1) . une stratégie énergétique nette par pas de 5 ans
(ou niveau de production par filière)
 - ou bien . une stratégie énergétique brute, accroissement de capacité
- incluant l'investissement de maintien du niveau du stock
(amortissement physique lié à la durée de vie moyenne des
équipements) par pas de 5 ans ;
 - (2) des données technologiques (cf § 3).
- calcule la demande d'acier en tonnes par pas de 5 ans, par type
d'acier (carbone, allié, inox) et par type de technologie.

Organigramme

Nom des fichiers
correspondants



Remarques

- (1) Le programme principal ne fait que gérer l'ensemble des sous-programmes et des fichiers.

- (2) Le sous-programme "nette" est optionnel et est apporté par le programme principal si "1" est répondu à la question de la machine. Si l'on répond "0" seul le sous-programme sub 1 est appelé, prenant directement la stratégie brute dans le fichier "strateg" dont la dernière filière doit être nulle si toutes les technologies du fichier "données" ne sont pas utilisées.
- (3) Le fichier "corresp" établit la correspondance entre stratégies et technologies. Par exemple: affecter la stratégie 1 à la technologie 2 se fait en ayant 1 à la 2ème place dans "corresp".
- (4) La transformation d'une stratégie nette en une stratégie brute opérée par le sous-programme "nette" correspond aux formules suivantes :

Si

$M_1(t)$ est le niveau de la stratégie 1 (production à l'instant t)

et $\Delta_1(t)$ est l'accroissement de capacité annuelle

$t_{vie}(1)$ est la durée de vie de l'équipement 1 utilisé par la stratégie 1

on a pour 5 ans :

$$M_1(t+1) = M_1(t) + 5\Delta_1(t) \quad (1)$$

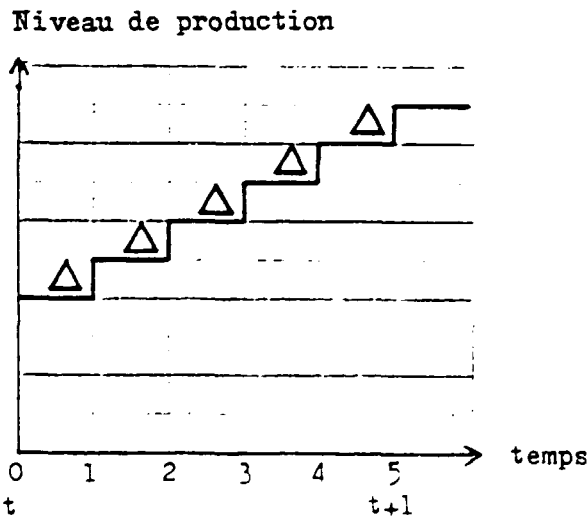
L'investissement brut pendant ces 5 ans est :

$$SM_1(t) = 5\Delta_1(t) + \text{amortissements.}$$

Schéma

$M(t+1)$

$M(t)$



L'amortissement pendant ces 5 ans pour la technologie utilisée dans la stratégie 1 est :

$$\begin{aligned} \text{amortissement 1} &= \frac{5M_1(t)}{t_{vie}(1)} + \frac{4\Delta_1(t)}{t_{vie}(1)} + \frac{3\Delta_1(t)}{t_{vie}(1)} \\ &+ \frac{2\Delta_1(t)}{t_{vie}(1)} + \frac{\Delta_1(t)}{t_{vie}(t)} \\ &= \frac{5}{t_{vie}(t)} (M_1(t) + 2\Delta_1) \quad (2) \end{aligned}$$

d'où en rassemblant les équations (1) et (2) :

$$SM_1(t) = \left[M_1(t+1) - M_1(t) \right] \left(1 + \frac{2}{t_{vie}(t)} \right) + \frac{5M_1(t)}{t_{vie}(1)}$$