

DÉPARTEMENT DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES INTERNATIONALES
BUREAU DE STATISTIQUE

ÉTUDES MÉTHODOLOGIQUES

Série F No 29

**CONCEPTS ET MÉTHODES
D'ÉTABLISSEMENT
DES STATISTIQUES
DE L'ÉNERGIE ET NOTAMMENT
DES COMPTES ET BILANS
ÉNERGÉTIQUES :
RAPPORT TECHNIQUE**



**NATIONS UNIES
New York, 1983**

NOTE

Les cotes des documents de l'Organisation des Nations Unies se composent de lettres majuscules et de chiffres. La simple mention d'une cote dans un texte signifie qu'il s'agit d'un document de l'Organisation.

Déni général de responsabilité

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

ST/ESA/STAT/SER.F/29

PUBLICATION DES NATIONS UNIES

Numéro de vente : F.82.XVII.13

01650

PREFACE

A sa dix-neuvième session, la Commission de statistique avait proposé de réunir un groupe d'experts qui envisagerait d'élaborer une classification internationale de l'énergie et d'adopter une unité de mesure commune pour les comparaisons entre les différents combustibles*. La Commission avait suggéré de recruter un consultant pour effectuer les travaux préparatoires devant faciliter la réunion du groupe d'experts proposé. Un rapport a été établi par M. W. N. T. Roberts, consultant auprès de l'Organisation des Nations Unies, et soumis à la Réunion du Groupe d'experts sur la classification et la mesure dans le domaine des statistiques de l'énergie, qui s'est tenue à New York du 6 au 14 mars 1978. La Commission a ensuite recommandé, lors de sa vingtième session, de "communiquer aux bureaux de statistique nationaux et internationaux et à tous les organismes intéressés le rapport du consultant, modifié comme il convient au vu des débats du Groupe d'experts"**. Le présent document est publié comme suite à cette demande.

Le consultant a complété son rapport après la Réunion du Groupe d'experts pour y incorporer des renseignements sur les sources d'énergie nouvelles et renouvelables.

* Documents officiels du Conseil économique et social, soixante-deuxième session, Supplément No 2 (E/5910), par. 12.

** Ibid., 1979, Supplément No 3 (E/1979/23), par. 23 b) 11).

TABLE DES MATIERES

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
RESUME ET RECOMMANDATIONS		vii
Notes explicatives		xv
 I. STATISTIQUES DE L'ENERGIE ET AUTRES STATISTIQUES ..	 1 - 25	 1
A. Quelques différences importantes	1 - 4	1
B. Le tournant de 1973	5 - 7	2
C. L'analyse énergétique : un nouveau champ d'étude	8 - 9	4
D. Enquêtes sur les utilisations des combustibles	10	5
E. Nouvelles sources d'énergie	11	5
F. Modèles énergétiques	12	6
G. Le problème de sommation	13 - 15	6
H. Bilans énergétiques	16 - 19	7
I. Objectifs et champ du présent manuel	20 - 25	8
 II. NOTIONS FONDAMENTALES	 26 - 49	 10
A. Signification du terme "énergie"	26 - 33	10
B. Signification du terme "statistiques"	34 - 35	13
C. Pourquoi des statistiques de l'énergie sont nécessaires	36 - 38	14
D. Coûts et avantages des données statistiques ..	39 - 40	15
E. Qualité des données	41 - 43	16
F. Caractéristiques essentielles des bilans énergétiques	44 - 49	17
 III. PROBLEMES DE DELIMITATION	 50 - 85	 20
A. Généralités	50 - 51	20
B. Les limites du système	52 - 69	20
1. Les flux énergétiques et non énergétiques	52 - 54	20
2. Sources d'énergie commerciales et non commerciales	55 - 62	21
3. Industries énergétiques et autres	63 - 65	24
4. Production et distribution d'énergie	66 - 69	25
C. Délimitation entre flux et stocks	70 - 85	27
1. Production et déchets	70 - 78	27
2. Production et stocks	79 - 80	29
3. Stocks, consommation et déchets	81 - 85	29

TABLE DES MATIERES (suite)

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
IV. NIVEAUX DE COMPTABILISATION ET UNITES DE COMPTE ...	86 - 157	31
A. Généralités	86 - 87	31
B. Entrée d'énergie primaire dans la demande finale	88 - 92	31
C. Quantité d'énergie primaire entrant dans l'électricité d'origine nucléaire et hydraulique	93 - 105	33
1. Electricité d'origine nucléaire	93 - 99	33
2. Energie hydro-mécanique	100 - 105	35
D. Entrée d'énergie primaire dans les sources d'énergie renouvelables	106 - 115	37
E. Energie animale et humaine	116 - 121	40
F. Entrées de combustibles primaires dans le commerce	122 - 130	41
1. Commerce visible d'énergie	123 - 127	41
2. Commerce invisible d'énergie	128 - 130	43
G. Pouvoir calorifique supérieur et inférieur ...	131 - 135	44
H. Unités de compte	136 - 157	46
1. Généralités	136 - 142	46
2. Tonne d'équivalent charbon (tec)	143 - 146	47
3. Tonne d'équivalent pétrole (tep)	147 - 152	48
4. Autres unités de compte	153 - 157	49
V. BILANS ENERGETIQUES	158 - 273	51
A. Généralités	158 - 160	51
B. Divers schémas de bilans énergétiques	161 - 169	52
C. Le regard rétrospectif : les bilans de "haut en bas"	170 - 237	57
1. Stocks	171 - 178	58
2. Exportations et soutages	179 - 181	60
3. Transformation	182 - 187	61
4. Production combinée de chaleur et d'électricité	188 - 192	63
5. Utilisations non énergétiques	193 - 194	64
6. Utilisateurs finals	195 - 196	65
7. Unités d'origine et unités de compte communes	197 - 202	65
8. Pouvoir calorifique des combustibles	203	66
9. Agrégation des sources d'énergie	204 - 217	67
10. Energie nucléaire	218 - 223	77
11. Energie hydromécanique et géothermique ..	224 - 230	79
12. Traitement de l'électricité primaire	231 - 237	80
D. La prospective : les bilans "de bas en haut" .	238 - 250	85
E. Un bilan à usages multiples	251 - 259	91

TABLE DES MATIERES (suite)

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
F. Autres problèmes relatifs aux bilans	260 - 273	99
1. Double comptage	260	99
2. Production à partir de pompage	261 - 264	99
3. Produits pétroliers retournant aux raffineries	265	100
4. Unités d'origine et unités communes	266 - 267	100
5. Coefficients de conversion	268	101
6. Nombre de chiffres	269 - 270	101
7. Matrices et séries chronologiques	271 - 273	102
VI. CLASSIFICATIONS	274 - 306	103
A. Généralités	274 - 278	103
B. Traitement actuel de l'énergie	279 - 286	104
C. Utilisations finales de l'énergie	287 - 306	107
1. Energie utile	288 - 292	107
2. Utilisation finale par destination	293 - 306	109
VII. AUTRES STATISTIQUES DE L'ENERGIE	307 - 323	114
A. Généralités	307 - 308	114
B. Bilans à court terme et bilans régionaux	309 - 310	114
C. Bilans énergétiques et tableaux entrées/sorties	311 - 313	115
D. Terminologie de la comptabilité nationale	314 - 315	115
E. Statistiques dérivées	316 - 317	116
F. Graphiques de circulation	318 - 321	117
G. Energie et environnement	322	117
H. Collaboration interdisciplinaire	323	118
 <u>Annexes</u>		
I. Production combinée de chaleur et d'électricité et problèmes de mesure		119
II. Le cycle du combustible nucléaire		125
III. Comptabilité nucléaire		130
IV. Principales classifications internationales		136
V. L'énergie dans la NACE et la NIPRO		137
VI. Constitution des données de base		159
VII. Rapports entre divers termes énergétiques		164
VIII. Bilans énergétiques pour les pays en développement		166
BIBLIOGRAPHIE		170

RESUME ET RECOMMANDATIONS

Le présent rapport examine les pratiques actuelles, tant nationales qu'internationales, dans le domaine des statistiques de l'énergie à la lumière de l'évolution significative qui, depuis les événements de 1973, a amené l'intérêt à se porter davantage sur la consommation que sur la production. Une attention particulière est accordée aux problèmes statistiques que posent les sources non commerciales d'énergie et les besoins statistiques des pays moins développés. Les sept chapitres dont se compose le rapport examinent à tour de rôle les questions suivantes : nature des statistiques de l'énergie et types de problèmes de politique auxquels elles s'appliquent; questions conceptuelles et méthodologiques que soulèvent ces problèmes; diversité des conventions qui pourraient être adoptées pour traiter certaines de ces questions; rôle clef joué par les bilans énergétiques globaux quantitatifs; caractéristiques souhaitables de ces bilans, qu'ils servent à analyser le passé ou à élaborer des conjectures raisonnées concernant l'avenir; problèmes de classification que posent les statistiques de l'énergie; enfin, rapports entre ces données et les autres statistiques économiques et cadres comptables.

Le chapitre I traite des similitudes et des différences qui existent entre les statistiques de l'énergie et les autres statistiques, et établit certains parallèles avec l'agriculture. Dans les deux domaines d'étude, une crise de l'approvisionnement physique a favorisé l'innovation statistique, notamment le développement de cadres comptables où les diverses formes d'énergie, nutritionnelle et autres, pouvaient être exprimées dans une unité de compte commune. Le déplacement d'accent, qui est passé des approvisionnements en tant que tels aux utilisations faites des disponibilités, ainsi que les perspectives offertes par de nouvelles sources d'énergie, ont posé de nouveaux défis aux statisticiens de l'énergie. Les modèles énergétiques, l'analyse de l'énergie et les enquêtes sur l'utilisation des combustibles sont cités comme exemples des nouvelles approches analytiques aux problèmes que pose l'économie de l'énergie.

Le chapitre II décrit la nature de l'énergie et la diversité des formes physiques sous lesquelles elle peut être emmagasinée avant d'être utilisée comme source de chaleur, de lumière ou de force motrice. Dans ce chapitre, on passe ensuite en revue les différents niveaux de mesure, depuis "l'énergie primaire" au stade de la production, en passant par "l'énergie secondaire" au stade de la transformation, jusqu'à "l'énergie livrée" au stade de l'utilisation finale, ainsi que les caractéristiques essentielles que doit présenter un bilan énergétique global. La nécessité de bien peser les coûts et les avantages du rassemblement des données ainsi que la question de la qualité des données sont également examinées.

Le chapitre III est consacré à l'étude de deux types de problèmes de délimitation. Le premier concerne le système énergétique pour lequel des statistiques doivent être rassemblées et analysées, et traite des délimitations entre les produits énergétiques et non énergétiques, entre les flux commerciaux et non commerciaux d'énergie, et entre les industries énergétiques et non énergétiques. Le deuxième type de problème a trait aux délimitations entre certains flux et stocks et, notamment, entre la production et les pertes (compte tenu de l'évolution possible de la technologie de la combustion des combustibles

solides et du torchage du gaz), entre la production et les stocks (compte tenu de la réinjection de gaz), et entre la consommation, les pertes et les stocks (compte tenu de la fission partielle des combustibles nucléaires).

Le chapitre IV examine plus en détail certains problèmes touchant les niveaux de comptabilisation et les unités de compte, notamment l'application des concepts d'"équivalent d'énergie primaire" à diverses rubriques : utilisation finale, électricité d'origine nucléaire et hydraulique, sources renouvelables (éolienne, géothermique et biomasse), et commerce extérieur des formes tant visibles qu'invisibles d'énergie. Ce même chapitre examine la question de savoir s'il convient d'exprimer les différentes sources d'énergie dans une unité commune sur la base du pouvoir calorifique supérieur ou inférieur, puis traite des avantages et des inconvénients qu'il y a à convertir divers types d'énergie (charbon, pétrole, gaz, électricité) en une seule unité de compte (par exemple, la tonne d'équivalent pétrole ou le joule), et enfin il se termine par un bref rappel des diverses unités de compte et unités de présentation couramment employées.

Le chapitre V passe en revue trente différents bilans énergétiques publiés par des gouvernements et des instituts de recherche, des organisations internationales et des organismes de recherche ainsi que des grandes sociétés pétrolières internationales. La plupart de ces bilans servent à analyser les données se rapportant aux années écoulées, mais certains servent de cadre comptable pour l'élaboration de projections à court ou à long terme. Malgré leur grande diversité de structure, tous ces comptes ont des caractéristiques communes. Les avantages et les inconvénients des différentes structures sont examinés et les rapports entre les cadres convenant à une analyse rétrospective ou prospective sont analysés. Il est proposé d'adopter un cadre comptable à fins multiples qui pourrait être adopté sur le plan international et, si possible, sur le plan national également. Le cadre recommandé peut être fortement désagrégé dans le cas des pays en développement et peut être ramené à une forme plus agrégée sans modification de sa structure de base dans le cas des pays moins développés.

Au chapitre VI, on examine le traitement de l'énergie dans les classifications internationales types des produits (CIBS, NIPRO), du commerce (CTCI, NIMEXE) et de l'industrie (CITI, NACE) ainsi que dans les classifications plus agrégées de catégories économiques (SCN et GCE). La nécessité de regrouper l'ensemble des industries et produits énergétiques et d'élaborer une nomenclature type des produits pétroliers est soulignée. On envisage ensuite dans ce chapitre la possibilité de mettre au point une classification des utilisations finales de l'énergie, non seulement par utilisateurs, mais également par usages afin de parvenir ultérieurement à mesurer un quatrième niveau du flux énergétique, à savoir la "chaleur utile". On propose dans ce chapitre un cadre permettant de comptabiliser la récupération de chaleur et l'utilisation séquentielle de divers niveaux de température.

Le chapitre VII est consacré à l'étude de la possibilité de fournir des bilans énergétiques pour des périodes plus courtes qu'une année et pour des régions plus petites qu'un pays ainsi qu'à l'opportunité de publier des informations supplémentaires telles que les dosages en pourcentage, les taux de changement et les diagrammes de flux. Les rapports entre les concepts et la terminologie des bilans énergétiques, les tableaux entrées/sorties et les comptes nationaux sont examinés et le besoin de clarté est souligné. Ce chapitre se

termine par un appel pour une consultation permanente et une coopération active entre tous ceux que la question intéresse en tant que producteurs ou utilisateurs de statistiques énergétiques

Ce rapport est suivi de huit annexes traitant de questions techniques.

Recommandations

Des recommandations sont présentées dans diverses parties du texte lorsque l'argumentation développée y conduit logiquement. On trouvera ci-après une liste de ces recommandations dont l'ordre a été modifié afin de regrouper celles qui traitent d'un même grand domaine d'intérêt.

Concepts et terminologie

- 1) L'expression énergie primaire devrait être utilisée pour désigner l'énergie provenant de sources ne comportant que l'extraction ou le captage, avec ou sans séparation des matériaux contigus, nettoyage ou tri avant que l'énergie contenue dans cette source puisse être convertie en chaleur ou en travail mécanique (par. 29; voir aussi 16) ci-dessous).
- 2) L'expression énergie secondaire devrait être utilisée pour désigner l'énergie tirée de toutes les sources d'énergie qui résultent de la transformation de sources primaires. Seul le mot "combustibles" devrait être employé pour décrire les sources d'énergie, qu'elles soient primaires ou secondaires, qui doivent faire l'objet d'une combustion ou d'une fission avant de pouvoir libérer aux fins d'utilisation l'énergie qui est emmagasinée en elles (par. 29).
- 3) Les importations, les exportations et les variations de stocks devraient être traitées dans un bilan énergétique de la même façon que les changements de l'approvisionnement et de l'utilisation d'énergie primaire. Ces flux d'énergie secondaire devraient être appelés "équivalents d'énergie primaire". Les soutages maritimes devraient de même être traités comme faisant partie des flux d'équivalents primaires (par. 30).
- 29) Afin d'éviter toute confusion entre la signification du mot "final" (et "intermédiaire") dans les comptes nationaux, les tableaux d'entrées/sorties et autres analyses économiques, d'une part, et dans les bilans énergétiques de l'autre, les tableaux et les textes qui se rapportent aux flux concernant les industries de transformation d'énergie et/ou les utilisateurs finals d'énergie devraient toujours indiquer clairement ce que l'on entend par "final" (et, le cas échéant, "intermédiaire") (par. 315).

Champ des bilans énergétiques

- 7) a) Un bilan énergétique global devrait comprendre tous les flux d'énergie, y compris les sources dites "non commerciales". La couverture de ces sources devrait être aussi étendue que possible. Lorsque l'on sait que ces sources sont importantes mais qu'il existe peu de données,

il conviendrait de prendre des mesures telles que des enquêtes par sondage pour améliorer le volume et la qualité des données;

- b) L'autoproduction d'électricité à partir de combustibles achetés, en association ou non avec la production de chaleur, devrait être traitée comme faisant partie du secteur de transformation;
 - c) L'autoproduction provenant de l'hydroélectricité propre d'une industrie devrait être traitée en tant que production primaire d'électricité;
 - d) La vapeur ou l'eau chaude produites par la combustion de déchets industriels (ou urbains) ou par la chaleur, exothermique ou autre, récupérée dans l'industrie devrait être consignée en tant que production primaire;
 - e) Chaque méthode de production d'électricité qui fournit une partie appréciable du volume total d'approvisionnement électrique devrait se voir assigner une ligne séparée dans le bilan énergétique (par. 62).
- 6) Les bilans énergétiques devraient porter uniquement sur toutes les disponibilités et utilisations des sources d'énergie primaires et secondaires et indiquer clairement l'utilisation de ces sources à des fins non énergétiques (par. 54; voir aussi 8) ci-dessous).
- 8) a) Les bilans énergétiques devraient porter uniquement sur tous les produits hydrocarbonés énumérés dans une liste qui serait soit incorporée soit jointe au bilan (chap. V);
- b) Les problèmes que soulèvent la définition et l'obtention de données plus complètes sur les flux énergétiques bruts et nets entre, d'une part, les raffineries de pétrole et, d'autre part, les installations pétrochimiques devraient être étudiés de manière plus approfondie. Des tableaux annexes à un bilan énergétique global pourraient utilement montrer de manière aussi complète que possible au moins les principaux flux de sous-produits énergétiques (et de chaleur récupérée) dans les grandes branches de l'industrie chimique (par. 65; voir aussi 6) ci-dessus).
- 13) Un bilan énergétique devrait indiquer tous les flux à chaque niveau pouvant être comptabilisé correctement avec les données existantes, afin de faire apparaître clairement la relation entre les entrées d'énergie primaire en transformation, les sorties d'énergie secondaire et les pertes en cours de transformation. A certaines fins, l'équivalent en entrée de combustible primaire de la quantité d'énergie secondaire livrée aux utilisateurs finals est utile en tant que statistique supplémentaire, mais il peut être difficile de l'estimer faute de données suffisantes (par. 92).
- 27) Les bureaux de statistique nationaux et internationaux devraient envisager de publier des estimations des quantités d'énergie utile consommées par chaque secteur d'utilisation finale. Ces estimations devraient s'accompagner d'une explication détaillée de la méthodologie employée (par. 292).

Entrées d'énergie primaire servant à la production d'électricité dans les centrales nucléaires et hydrauliques et dans les formes renouvelables d'énergie

- 14) La quantité d'énergie primaire entrant dans l'électricité d'origine nucléaire devrait en principe être définie comme étant la chaleur dégagée par les réacteurs pendant la période comptable. Dans la pratique, il faudra peut-être avoir recours à une valeur de remplacement, à savoir le chiffre obtenu en divisant la production d'électricité d'origine nucléaire par le rendement moyen de toutes les centrales nucléaires (par. 99).
- 15) L'entrée d'énergie primaire à l'hydroélectricité devrait être définie comme étant la valeur énergétique de l'électricité elle-même. L'équivalent énergétique en combustible fossile devrait être présenté comme statistique supplémentaire, calculée, pour des raisons de simplicité, sur la base soit du rendement thermique moyen de toutes les centrales classiques existant dans le pays concerné, soit d'un rendement standard de 35 p. 100 (par exemple) (par. 105).
- 16) L'énergie primaire correspondant aux sources dites renouvelables d'énergie devrait être définie comme suit et appliquée à la production du premier stade d'un processus de captage d'énergie qui fournit une quantité mesurable de chaleur, de courant électrique ou d'énergie mécanique :

Solaire	Biomasse	Production de chaleur du système de fermentation, de distillation ou de combustion
	Cellule photo-voltaïque	Production d'énergie électrique
	Autre système collecteur	Production de chaleur du système
Eau et air		Production mécanique, thermique ou électrique du système
Géothermique et thermique marin		Production de chaleur de l'installation de captage

Les économistes et les ingénieurs qui travaillent sur les coefficients de conversion de ces techniques auront peut-être besoin, en outre, d'évaluer l'"énergie potentiellement récupérable" qui pourrait être captée (par. 114).

Importations et exportations

- 17) Les importations et exportations de sources d'énergie secondaires devraient être comptabilisées dans un bilan énergétique global en termes du contenu énergétique des combustibles (ou de l'électricité) qui traversent réellement les frontières. Si l'on a besoin d'une analyse plus détaillée de l'entrée d'énergie primaire dans le commerce extérieur, cette analyse peut être faite, mais elle devrait constituer un complément du bilan global et non en faire partie. Le commerce des produits non énergétiques dérivés de sources

d'énergie primaires (par exemple, lubrifiants, noir de charbon, électrodes) devrait figurer dans le bilan énergétique principal (par. 127).

- 18) Le commerce international de l'énergie "incorporée" mérite d'être pris en considération dans une évaluation détaillée des problèmes énergétiques. Néanmoins, il faut commencer par construire un bilan énergétique global sur la base, entre autres flux, du seul commerce visible de sources d'énergie (par. 130).

Unités de compte et coefficients de conversion

- 25) Les bilans énergétiques devraient comporter, dans l'intitulé de colonne correspondant à chaque source d'énergie, le coefficient de conversion moyen (approprié à l'expression des unités d'origine indiquées (ou implicites) dans cette colonne en termes de l'unité de compte commune indiquée dans le bilan). Ces coefficients moyens devraient être explicités, dans des notes de bas de page ou dans un texte d'accompagnement, par une description claire des méthodes et des étapes suivies pour effectuer les conversions qui ne seraient pas définies d'une manière adéquate par les coefficients moyens (par. 268).
- 5) Les bureaux de statistique nationaux et internationaux, et les organismes qui les conseillent ou qui entreprennent des travaux pour eux, devraient toujours définir clairement les unités de compte ou de présentation employées dans une analyse publiée. Les coefficients de conversion et les méthodes appliquées pour convertir les unités physiques d'origine dans l'unité ou les unités communes retenues devraient également être exposés, ou une source publiée facilement accessible devrait être citée. Il faudrait aussi préciser si les unités énergétiques sont définies sur la base du pouvoir calorifique supérieur ou inférieur (par. 48; voir aussi 19) et 20) ci-dessous).
- 19) Lorsque l'on exprime le contenu énergétique de sources d'énergie fossiles primaires et secondaires en termes d'une unité de compte énergétique commune, il convient d'utiliser le pouvoir calorifique inférieur (PCI) de préférence au pouvoir calorifique supérieur (PCS). S'il arrive un jour que la récupération d'une partie significative de la différence entre le PCS et le PCI dans les effluents gazeux devienne une possibilité pratique et paraisse devoir entrer dans la réalité, il faudra peut-être reconsidérer cette base recommandée (par. 135).
- 20) Etant donné que le joule et ses multiples obtenus en l'élevant à des puissances de 10^3 sont les seules unités d'énergie du SI, les bureaux statistiques internationaux et nationaux devraient envisager d'adopter le joule (1 joule = 0,239 calorie) comme unité de compte rigoureuse dans les bilans énergétiques. La tep (1 tep = 10^7 kcal PCI) et/ou la tec (1 tec = 7×10^6 kcal PCI) peuvent être utilisées comme unités de présentation supplémentaires. Chaque fois qu'elles sont utilisées, ces unités devraient être clairement définies en termes de joules et la méthode employée pour convertir les données d'origine en tep ou tec devrait être clairement décrite (par. 157).

Exactitude des données

- 4) Les bureaux statistiques nationaux et internationaux devraient envisager sérieusement d'essayer d'évaluer la sensibilité de chaque grand agrégat publié dans leurs statistiques de l'énergie à des erreurs de plus ou moins (par exemple) 5 ou 10 p. 100 dans les éléments les moins fiables de ces agrégats (par. 43).
- 24) Il faudrait toujours indiquer clairement le rapport entre les données en unités d'origine utilisées pour un bilan énergétique et celles publiées dans les statistiques courantes de chaque industrie énergétique (par. 267).

Structure et classification des bilans énergétiques

- 21) Les bilans énergétiques globaux devraient être construits sous forme de matrices ayant les caractéristiques suivantes :

Les colonnes indiquent les sources d'énergie (produits énergétiques)

Les lignes indiquent les flux à partir des origines vers les utilisations d'énergie (transactions énergétiques)

Des sous-matrices séparées indiquent respectivement :

- a) Les disponibilités de sources primaires et d'équivalents;
 - b) Les entrées en transformation (affectées du signe -) et les sorties (affectées du signe +); les pertes de transformation dans la colonne total (affectées du signe -); l'autoconsommation des industries énergétiques; les pertes de transport et autres;
 - c) Les utilisations finales (par. 253).
- 26) Les classifications et définitions existantes des hydrocarbures bruts et des produits dérivés devraient être examinées dans le but de dresser un ensemble international convenu de désignations, groupements et définitions (par. 286).
 - 28) Les bureaux statistiques nationaux devraient envisager de construire des analyses d'utilisation finale du type illustré dans le tableau faisant suite au paragraphe 306 (par. 306).

Couverture de flux particuliers

- 9) Les bilans énergétiques publiés, que ce soit pour des sources d'énergie particulières ou pour toutes les sources d'énergie dans un seul tableau, devraient toujours indiquer clairement si les flux représentent la production, les livraisons, les réceptions ou la consommation; et la couverture des variations de stocks (et des niveaux de stocks) devrait préciser si les stocks des producteurs, importateurs, transformateurs, distributeurs et utilisateurs finals sont compris (par. 69).

- 10) La production de charbon devrait être définie comme étant la quantité extraite du sol moins le rebut et les déchets de cribbage plus la quantité récupérée à partir du rebut (par. 76).
- 11) Toute production de gaz associé devrait être traitée comme faisant partie de la production de gaz, et les brûlés à la torche devraient être indiqués. De cette façon, le volume de la production de pétrole et de gaz n'accusera pas un "changement d'échelle" lorsque l'utilisation d'une partie du gaz change. Par analogie, la production totale de gaz des cokeries et des hauts fourneaux devrait être enregistrée dans un bilan énergétique, les quantités rejetées étant indiquées sous forme de pertes (par. 78).
- 12) Toute production de gaz, qu'il s'agisse de gaz associé ou non associé à du pétrole brut, devrait être enregistrée nette de l'injection de gaz dans les gisements de gaz ou de pétrole. Si le gaz injecté est extrait une deuxième fois ultérieurement, il devrait alors être traité comme étant produit pour la première fois (par. 80).
- 22) La production d'électricité à partir d'une installation à accumulation par pompage ne devrait pas être ajoutée à l'électricité produite par d'autres méthodes (car celle-ci comprend déjà l'électricité qui est redistribuée dans le temps au moyen des pompes) lorsque l'on dresse un bilan énergétique. L'écart entre les entrées et les sorties de pompage devrait être traité comme faisant partie de l'autoconsommation de l'industrie électrique (par. 264).
- 23) Les matières retournées aux raffineries de pétrole devraient être comptabilisées comme entrées en raffinage même si elles ont déjà été comptabilisées précédemment dans les sorties de raffinage. Le combustible de raffinerie devrait également être inclus à la fois dans la production et dans l'autoconsommation (par. 265).

NOTES EXPLICATIVES

On entend par "tonne" (t) la tonne métrique, sauf indication contraire.

Outre les abréviations des systèmes de classification indiquées à l'annexe IV, les sigles ci-après ont été utilisés :

AIE	Agence internationale de l'énergie
CAEM	Conseil d'assistance économique mutuelle
CBI	Confederation of British Industry
CEE	Commission économique pour l'Europe
CEE	Communauté économique européenne
CEREN	Centre d'études régionales sur l'économie de l'énergie (France)
CME	Conférence mondiale de l'énergie
ENI	Ente Nazionale Idrocarburi
ERG	Energy Research Group
FEA	Federal Energy Agency
IEE	Institut de l'économie énergétique (Japon)
IEJE	Institut économique et juridique de l'énergie (France)
FIIHE	Fédération internationale des instituts de hautes études
MIC	Ministère de l'industrie et du commerce (Italie)
NEDO	National Economic Development Office
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OIW	Oesterreichisches Institut für Wirtschaft
OSCE	Office statistique des Communautés européennes
OSZ	Oesterreichisches Statistisches Zentralamt
SI	Système international d'unités
UNIPED	Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique

Les abréviations techniques et spéciales ci-après ont été utilisées :

BTU	British thermal unit
EJ	exajoule
GJ	gigajoule
GWh	gigawatt heure
J	joule
kcal	kilocalorie
kg	kilogramme
kg-U	kilogramme de teneur en uranium actif
kg-Th	kilogramme de teneur en thorium actif
kg-U+kg-U235	kilogramme de teneur en uranium actif ou uranium actif 235
kg-Pu+kg-Pu239.241	kilogramme de plutonium actif ou plutonium actif 239.241
kWh	kilowatt heure
m ³	mètre cube
m ³ +kcal	mètre cube ou kilocalorie
MJ	mégajoule
n.d.a. (dans les tableaux)	non désigné ailleurs
PCI	pouvoir calorifique inférieur
PCS	pouvoir calorifique supérieur
Pu	plutonium
t	tonne
t+kcal	tonne ou kilocalorie
t-U	tonne de teneur en uranium actif
t-Th	tonne de teneur en thorium actif
Tcal	téracalorie
tec	tonne équivalent charbon
TJ	térajoule
Th	thorium
tep	tonne équivalent pétrole
U	uranium

I. STATISTIQUES DE L'ENERGIE ET AUTRES STATISTIQUES

A. Quelques différences importantes

1. A première vue, les statistiques de l'énergie pourraient sembler n'être qu'une branche parmi d'autres du vaste champ des données économiques, tout comme les statistiques relatives à l'agriculture, à la sidérurgie, aux transports, à la distribution, à la main-d'oeuvre, etc. En réalité cependant, les statistiques de l'énergie ont leurs caractéristiques propres qu'elles ne partagent que partiellement avec quelques autres branches des données économiques. Nombreuses sont les industries qui écoulent leur production auprès de presque toutes les autres industries de l'économie, mais il y en a peu qui, comme l'industrie chimique, la métallurgie, la papeterie et l'imprimerie et les industries énergétiques prises dans leur ensemble, desservent par leur production principale toutes les autres activités économiques sans exception ainsi que toutes les catégories de consommateurs finals au sens de la comptabilité nationale (voir chap. II). La production de l'industrie énergétique a des caractéristiques plus hétérogènes que celle de toute autre industrie hormis les produits chimiques : elle comprend des solides, des liquides, des gaz et de l'électricité, le seul point commun de tous ces éléments étant qu'ils peuvent tous produire de la chaleur. Ils diffèrent grandement entre eux quant à la facilité avec laquelle ils peuvent être utilisés pour produire non seulement de la chaleur, mais aussi de la lumière ou de la force motrice. Ils diffèrent aussi considérablement quant à leur aptitude à être stockés, transportés, maîtrisés et utilisés. Ils peuvent être transformés entre eux dans certains sens, mais cela coûte cher. Ils peuvent se substituer l'un à l'autre à court terme et dans une certaine mesure, selon les utilisations auxquelles on les destine et l'équipement dont on dispose pour les exploiter. La quantité d'énergie contenue dans une source énergétique donnée qui est effectivement convertie en chaleur utile ou en travail dépend de l'efficacité du système, de la machine ou du procédé employé pour réaliser la conversion, et cette efficacité de conversion varie considérablement d'un usage à l'autre et même, pour le même usage, d'un utilisateur à l'autre. Par certains côtés, la production et l'utilisation d'énergie ressemble plus à l'agriculture qu'à d'autres activités économiques. Dans les deux cas, dans de nombreux pays en développement, la production et l'autoconsommation en dehors du marché sont plus importantes que les flux commerciaux. Les "biens énergétiques" (par exemple, bois de feu ou énergie hydraulique) peuvent ne pas être typiques d'une économie de marché, mais l'énergie obtenue - chaleur ou force motrice, en général - pourrait, en d'autres circonstances, tout aussi bien avoir été produite par du charbon ou du pétrole. Les industries énergétiques produisent en outre certains produits non énergétiques dont il faut tenir compte lorsqu'on étudie leur activité.

2. Dans l'industrie manufacturière dans son ensemble, la production d'un bien déterminé est en général concentrée dans un très petit nombre d'industries; en fait, les activités industrielles sont en général définies en fonction des caractéristiques de leur principale production. Dans le secteur énergétique, un type de produit particulier (l'électricité) est dans une large mesure un "produit secondaire" dans beaucoup d'industries en dehors de celle dont c'est le "produit principal" (à savoir l'industrie électrique alimentant le réseau public). Une grande partie de cette électricité "autoproduite" est consommée à l'intérieur

même de l'industrie qui la produit, mais une partie est également vendue au réseau public. En outre, une proportion importante de cette autoproduction résulte de systèmes qui combinent chaleur et énergie (fournissant simultanément de l'électricité et de la vapeur récupérée). La plus grande partie de la vapeur est utilisée dans l'industrie même qui la produit, mais il peut arriver que de faibles quantités soient vendues, soit à des établissements voisins opérant dans d'autres secteurs d'activité, soit au réseau de chauffage urbain. Parfois, l'apport de chaleur nécessaire pour un processus industriel provient lui-même de la chaleur résiduelle récupérée à partir d'une opération à plus haute température dans le même établissement, ce qui permet de réduire la quantité totale d'énergie achetée. Dans certaines industries, à la fois dans des pays développés et dans des pays en développement, la chaleur ou la vapeur sont produites en brûlant les déchets de fabrication (copeaux de bois, bagasse, etc.). Ces activités qui produisent de l'énergie en dehors de l'industrie énergétique proprement dite posent des problèmes lorsqu'on cherche à définir les limites du système énergétique entrant dans le champ des statistiques de l'énergie. Le problème se complique encore du fait que la chaleur produite par des réactions exothermiques dans l'industrie chimique peut être récupérée et utilisée pour la production de vapeur ou à d'autres fins. Cette chaleur est une production d'énergie secondaire à partir d'une charge de matière première chimique non énergétique.

3. Les statistiques énergétiques font apparaître plus clairement que bien d'autres branches des données économiques tout un ensemble de problèmes conceptuels dont quelques-uns seulement se posent dans la plupart des autres branches. Ces statistiques ont de nombreux points communs avec la comptabilité nationale. Bien souvent, comme on le verra plus loin dans le présent manuel, il n'existe pas de réponse unique et évidente quant à la manière de mesurer une quantité d'énergie ou de faire l'addition de deux ou plusieurs stocks ou flux d'énergie. Il est souvent nécessaire d'admettre une convention acceptable pour la solution d'un problème déterminé. Parfois il est très difficile de déterminer l'avantage relatif de diverses solutions. Dans certains cas, il peut même être souhaitable d'adopter deux conventions en même temps, même si cette procédure a pour résultat d'arriver à deux totaux ou sous-totaux différents qui incorporent les deux bases différentes retenues pour traiter tel ou tel chiffre analysé.

4. Une autre caractéristique d'application plus générale qui apparaît lorsqu'on examine le fondement des statistiques énergétiques est l'importance qu'il y a à essayer de comprendre les principes conceptuels qui devraient être appliqués dans les cas particuliers afin d'assurer la cohérence dans tous les cas, tout en reconnaissant que - comme dans d'autres domaines d'analyse - sur le plan quantitatif la non-application rigoureuse des principes en question se traduit souvent par des résultats négligeables. Il est néanmoins important dans de tels cas de reconnaître explicitement qu'on a décidé de ne pas appliquer tel ou tel principe.

B. Le tournant de 1973

5. L'évolution survenue au cours des 25 dernières années dans l'approvisionnement de diverses sources d'énergie - charbon, pétrole et gaz naturel notamment - et les changements qu'elle a entraînés dans la structure de l'utilisation de ces diverses sources d'énergie, s'ajoutant à l'interaction de l'offre et de la demande, ont

considérablement modifié les dimensions et la forme des industries énergétiques nationales et des échanges internationaux de différents types de combustibles. Il n'est pas surprenant dans ce contexte que l'étendue, le champ et le degré de perfectionnement des statistiques énergétiques varient beaucoup d'un pays à l'autre. Ces statistiques commencent en général sous la forme de séries de données indépendantes nécessaires pour la gestion de tel ou tel type d'industrie énergétique. Les statistiques de la production électrique et, jusqu'à une époque récente, de la production de gaz ont, par la force des choses, donné lieu à certains chevauchements des domaines des divers combustibles puisque toutes deux étaient tributaires d'au moins deux matières premières pour la production de la source d'énergie qui leur est propre. En même temps cependant, en raison du long délai entre la construction d'une nouvelle centrale électrique ou d'une nouvelle raffinerie et l'accroissement de la production d'électricité ou de produits pétroliers, et aussi en raison de la durée économique relativement longue de ces installations une fois construites, les décisions d'investissement devaient nécessairement s'accompagner d'une tentative pour prévoir la demande future d'énergie dans son ensemble et la part du marché revenant à la production de l'industrie intéressée par l'investissement envisagé. Cependant, mises à part ces décisions d'investissement, avant la crise énergétique de 1973 on ne s'intéressait guère, au plan national ou international 1/, à l'établissement de statistiques détaillées reliant entre elles les différentes formes d'énergie et suivant les approvisionnements depuis leur origine dans la production intérieure ou les importations, à travers la transformation en formes dérivées d'énergie et jusqu'à l'utilisation finale des énergies primaires ou dérivées.

6. Les événements de 1973, avec la réduction de l'approvisionnement de pétrole et la multiplication par dix du prix du brut, ont provoqué soudain un intérêt tout à fait nouveau pour le pétrole dans le contexte de l'ensemble de la situation énergétique. Il fallait répondre d'urgence aux questions suivantes : quelle est l'importance relative du pétrole? Quels sont les effets directs et indirects de la hausse du prix du pétrole sur le prix de divers produits industriels? 2/ Dans quelle mesure était-il possible de mieux ou de moins utiliser les combustibles de toutes sortes afin de réduire, entre autres, les besoins de pétrole importé? Quelles étaient les perspectives en matière de réserves pétrolières dans les zones de production traditionnelles ainsi que les possibilités économiques de recherche et de production dans des zones jusqu'alors négligées comme sources probables de pétrole brut? Quelles incidences les énormes investissements nécessaires risquaient-ils d'avoir sur les marchés financiers et la structure des compagnies? Quelle orientation fallait-il donner à la recherche et au développement pour tenter de trouver des sources d'énergie de substitution au pétrole? Quels obstacles économiques et technologiques fallait-il surmonter pour capter une partie de l'énergie contenue dans le vent, les vagues, les marées et le rayonnement solaire? A quel rythme fallait-il puiser dans les réserves de pétrole nouvellement découvertes dans le plateau continental de l'Europe du Nord-Ouest? A quel rythme fallait-il exploiter les mines de houille existantes et creuser de nouveaux puits? Quelle pouvait ou devrait être la part de l'électricité d'origine nucléaire dans l'ensemble de l'approvisionnement énergétique?

1/ On peut citer comme exception l'intérêt qu'ont manifesté l'OSCE (Luxembourg) et, plus récemment, l'OCDE lors de l'établissement du document "Perspectives énergétiques à l'horizon 1985" (1975).

2/ Voir par exemple NEDO (1974a) et (1975).

7. A mesure que l'on s'est inquiété davantage du nombre d'années ou de décennies pendant lesquelles on pouvait compter sur les sources existantes d'énergie non renouvelables, et à mesure que s'est accrue l'attention portée à la nécessité de trouver des sources d'énergie de substitution et de mieux utiliser les sources disponibles, les analystes de l'énergie et les responsables des politiques énergétiques ont radicalement changé leur domaine d'intérêt, délaissant les problèmes spécifiques de telle ou telle industrie énergétique pour s'intéresser au problème que pose l'évaluation des perspectives globales de l'ensemble des approvisionnements et des utilisations énergétiques de tous genres. Cette évolution s'est accompagnée d'un autre déplacement d'intérêt où l'on a vu le souci de l'utilisation des divers combustibles prendre le pas sur les préoccupations antérieures qui étaient essentiellement axées sur l'approvisionnement.

C. L'analyse énergétique : un nouveau champ d'étude

8. Quelques pays (par exemple, les Pays-Bas, la Norvège et la Pologne) s'intéressent activement depuis un certain temps au contenu énergétique des produits manufacturés en tant que donnée statistique à prendre en considération dans les décisions de gestion industrielle. La situation sur la scène mondiale de l'énergie après 1973 a suscité un nouvel intérêt pour ce que l'on en est venu à appeler "l'analyse énergétique". L'activité des économistes, des ingénieurs, des physiciens et des statisticiens a été si grande dans ce domaine qu'un atelier spécial 3/ a été organisé en 1974 par la Fédération internationale des instituts de hautes études (FIIHE) dans le but de rechercher un accord sur les concepts et la terminologie. Un deuxième atelier 4/ a été réuni une année plus tard pour explorer de manière plus approfondie l'interface entre l'analyse énergétique et la science économique, notamment les questions de la mesure de l'efficacité et de l'intégration des informations énergétiques aux informations économiques sur les relations de comportement.

9. L'analyse énergétique a pour objet d'identifier et de quantifier non seulement l'apport direct d'énergie facilement reconnaissable et mesurable dans un processus ou dans un produit, mais aussi les apports indirects d'énergie situés en amont. Ces derniers peuvent être déterminés d'une manière toujours plus étendue, en commençant par l'énergie servant à l'extraction, au transport et à la transformation des sources d'énergie utilisées dans un processus donné. Ce champ peut être étendu aux apports d'énergie correspondants, nécessaires pour fournir la matière première et les autres apports non énergétiques entrant dans le processus. En élargissant encore ce champ, on peut y inclure les entrées énergétiques dans les biens d'équipement utilisés dans le processus et dans les industries d'approvisionnement situées en amont ainsi que le contenu énergétique des biens importés et exportés. Ce type d'analyse peut partir soit d'une "reconnaissance" des entrées en amont dans un produit ou dans un processus donné 5/, soit d'une conversion en termes quantitatifs de la valeur monétaire estimée des apports énergétiques directs et indirects dans une vaste gamme de produits ou

3/ Voir FIIHE (1974).

4/ Ibid. (1975).

5/ Voir par exemple NEDO (1974), Chapman, Leach et Slessor (1974) et Scroczyński et Szpilewicz (1977).

d'industries, les données de base contenues dans les tableaux entrées/sorties constituant dans ce cas le point de départ 6/. L'utilité pratique de ce type d'analyse a été controversée 7/, mais il est peu probable que l'intérêt qu'on y porte disparaisse.

D. Enquêtes sur les utilisations des combustibles

10. Il est un deuxième domaine où l'activité analytique et statistique s'est intensifiée : c'est l'étude au niveau de l'installation ou de l'établissement - y compris les bâtiments commerciaux, publics et résidentiels - de l'utilisation de l'énergie selon la fin recherchée (par exemple, chauffage, lumière, force motrice). Dans certains pays, les industries énergétiques s'intéressaient bien sûr à faire des prévisions portant sur les possibilités de développer les ventes d'appareils assurant l'utilisation du secteur énergétique qui leur était propre. Des enquêtes périodiques auprès des propriétaires de ce type d'appareils sont menées dans certains pays, mais les enquêtes systématiques sur l'utilisation des combustibles en fonction des fins sont rares. Des enquêtes sur l'utilisation des combustibles ou des contrôles énergétiques de ce genre avaient rarement été tentées auparavant en raison du coût élevé du recueil des données par rapport à l'ampleur limitée (en termes monétaires) des économies d'énergie qui auraient pu en résulter et du peu d'intérêt qu'avaient de telles économies avant 1975. De nos jours, par contre, les études de ce genre ont pris une importance considérable dans un certain nombre de pays 8/.

E. Nouvelles sources d'énergie

11. De tous les changements résultant de la crise pétrolière de 1973, l'évolution la plus spectaculaire est peut-être l'attention que l'on accorde maintenant aux sources d'énergie nouvelles ou renouvelables. Historiquement, ces sources - rayonnement solaire, vent, marées et vagues et roches chaudes souterraines - sont plus vieilles que les combustibles fossiles (mais peut-être contemporaines des atomes que l'homme arrive maintenant à séparer par la fission nucléaire et aspire à créer par la fusion nucléaire). Beaucoup d'efforts ont été consacrés à la recherche de moyens pour arrêter le déboisement dû à l'utilisation du bois pour le chauffage. Les bouses de vache seraient peut-être mieux utilisées comme engrais que comme combustible séché pour la cuisson et le chauffage. D'autres sources d'énergie pourraient être plus efficaces que les poêles à bois et à charbon de bois. Le séchage des récoltes et le traitement des aliments s'effectueraient peut-être de plus en plus au moyen de la chaleur et de la force mécanique fournies par des appareils actionnés par le soleil, l'eau ou le vent, avec ou sans électricité comme étape intermédiaire. Le Brésil a mis en route un programme de culture de la canne à sucre et du manioc en vue d'en extraire de l'alcool qui servira de carburant dans les véhicules automobiles. Fidji étudie

6/ Voir Wright (1974) et (1975), Bullard et Herenden (1975), ECE (1976), Bureau central des statistiques des PaysOBas (1976) et Longva (1977).

7/ Voir Leach (1975), Webb et Pearce (1975) et Common (1977).

8/ Voir CBI (1975) et Department of Energy du Royaume-Uni (1976) et (1977).

la possibilité d'utiliser l'huile de coco transformée pour remplacer le gasoil dans les moteurs diesel. Le Mexique a mis à l'étude l'utilisation de pompes actionnées par l'énergie solaire pour irriguer des zones qui sont actuellement inutilisables pour l'agriculture. Statistiquement parlant, ces nouvelles sources posent un nombre de problèmes conceptuels et pratiques que nous aborderons plus tard dans le présent document.

F. Modèles Énergétiques

12. Au cours des dix dernières années environ, un nombre croissant d'organismes publics et autres, à l'échelon national et international, ont mis au point et exploitent des modèles mathématiques du système d'approvisionnement et d'utilisation de l'énergie en vue d'évaluer les effets probables des différents scénarios énergétiques sur l'offre, la demande et le prix de chaque principale source d'énergie ainsi que l'incidence et la portée probables de diverses formes de production d'électricité sur les autres formes d'approvisionnement et d'utilisation énergétiques. Il devient de plus en plus important que les gouvernements et autres responsables puissent comparer les résultats des différentes études et évaluations, notamment au niveau international. Il est légitime que les hypothèses puissent varier entre les différents chercheurs, mais les données de base et les conventions devraient en principe être communes à tous. Cet accord sur les données de base concerne non seulement la cohérence interne de tel ou tel décompte de l'approvisionnement et de l'utilisation d'une source d'énergie donnée, mais aussi la cohérence entre les différents comptes de combustibles dans un pays déterminé (ainsi, les affectations de charbon et de produits pétroliers à la production d'électricité doivent concorder avec les entrées de ces deux types de combustibles utilisés par l'industrie électrique au cours de période comptable en cause). Ensuite, il faut qu'il y ait une cohérence dans le temps des données relatives à un pays déterminé et de même qu'il doit y avoir une cohérence entre pays, aussi bien chronologiquement qu'à un moment déterminé. Ce besoin de cohérence interne et externe s'applique, bien entendu, aux statistiques énergétiques portant sur plusieurs sources d'énergie à toutes fins analytiques et pas seulement dans le cas des modèles de type général mentionnés plus haut.

G. Le problème de sommation

13. Malgré les caractéristiques très différentes des sources d'énergie solides, liquides, gazeuses et électriques, toutes peuvent néanmoins se substituer l'une à l'autre dans une certaine mesure pour de nombreux usages. Il est donc logiquement possible et économiquement nécessaire d'avoir un cadre comptable général où toutes les sources d'énergie - du moins celles qui sont pertinentes pour l'analyse - puissent être exprimées sous forme d'une seule unité de compte, de manière que chaque flux puisse être suivi depuis son origine au moment de la production ou de l'importation jusqu'à sa transformation et sa livraison (avec ou sans transformation) à l'exportation ou à des utilisateurs finals intérieurs.

14. En dehors du champ des statistiques énergétiques, c'est peut-être seulement dans le domaine de l'agriculture et de l'alimentation que le problème de sommation se pose d'une manière aussi aiguë. Dans les deux domaines - énergie et agriculture - la solution traditionnelle consistant à avoir recours aux prix

et aux valeurs n'est pas satisfaisante pour tous les usages, car les prix sont influencés par les forces du marché et des politiques sociales et fiscales qui ne reflètent pas forcément la valeur énergétique intrinsèque et les autres caractéristiques des biens en cause. Le prix d'une même source d'énergie peut varier selon les usagers ou les utilisations. Les prix peuvent évoluer dans le temps, même si les caractéristiques énergétiques des combustibles demeurent constantes ou ne changent que très peu. Il est intéressant de noter que l'énergie et l'agriculture (y compris l'alimentation) sont deux domaines où les statistiques ont recours à une unité énergétique - la kilocalorie - qui sert dans certains cas de principale unité comptable non monétaire, et cela n'est pas surprenant puisque ces deux secteurs ont un rapport étroit avec l'énergie.

15. Il est également intéressant de noter que c'était une crise de l'approvisionnement énergétique - due à la perturbation non de la production mais de la distribution internationale des produits agricoles pendant la deuxième guerre mondiale - qui a fait faire un bond en avant au développement de statistiques agrégées des produits agricoles. La crise a donné naissance à une innovation statistique : une grande importance s'est attachée soudain à la présentation de toutes les statistiques alimentaires sous forme de stocks et de flux interdépendants permettant une évaluation de chaque type de denrée alimentaire à la fois dans l'absolu et par rapport à l'ensemble des produits vivriers. (Des bilans alimentaires d'ensemble ont été mis au point en Amérique du Nord et au Royaume-Uni pour servir de base à la répartition des aliments et à la programmation des importations à cette époque difficile et des enquêtes sur les ménages ont été introduites pour contrôler l'utilisation finale des produits alimentaires primaires et dérivés).

H. Bilans Énergétiques

16. Un bilan énergétique global fait apparaître dans un cadre comptable cohérent les stocks et les flux de toutes les formes d'énergie depuis leur origine jusqu'à leur utilisation finale. Un tel bilan fournit une base d'analyse et de synthèse rigoureuse qui assure précisément le type de cohérence mentionné plus haut. Si elle ne remplace pas des statistiques détaillées sur les différentes formes de sources énergétiques primaires et secondaires (voir plus loin), la compilation d'un bilan énergétique global constitue un test clef de la cohérence interne et externe, tant à l'intérieur de bilans distincts des produits énergétiques qu'entre ceux-ci. Un tel bilan énergétique constitue en même temps un cadre indispensable pour l'élaboration d'analyses plus poussées qui ne peuvent trouver place facilement dans le bilan général lui-même.

17. Dans le cas de pays qui ont une économie relativement simple et un système statistique pas trop compliqué, une forme condensée du bilan énergétique global constitue un guide précieux pour déterminer le type et le champ des données de base dont certaines au moins sont nécessaires pour construire un système de statistiques énergétiques nationales. Parallèlement, les pays et les instituts économiques plus avancés peuvent utiliser - et ils le font - des bilans énergétiques simplifiés pour présenter les résultats de leurs analyses plus détaillées.

18. Certains pays publient depuis de longues années des bilans énergétiques sous une forme ou une autre. D'autres pays n'ont introduit que récemment un tel système global de comptabilisation des approvisionnements et des utilisations. Un certain nombre de ces bilans seront examinés plus loin dans le présent rapport. Depuis plus de vingt ans, l'Office statistique des communautés européennes (OSCE), à Luxembourg, élabore pour chacun des six membres originaires de la Communauté économique européenne (CEE) un bilan énergétique d'ensemble assez détaillé. Depuis l'entrée du Royaume-Uni, du Danemark et de l'Irlande, l'OSCE effectue le même travail pour ces derniers pays. Le Bureau de statistique des Nations Unies publie depuis de nombreuses années un bilan général très simple des combustibles primaires. En 1974, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a sorti pour la première fois pour chacun de ses pays membres un bilan énergétique global qui est plus simple que celui établi par l'OSCE.

19. A peu près n'importe lequel de ces bilans énergétiques nationaux ou internationaux aurait pu servir de cadre pour l'analyse, à l'échelon national, régional ou mondial, des tendances et des perspectives de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie, mais les résultats auraient été différents dans chaque cas en raison des différences significatives en matière d'unités de compte, de facteurs de conversion, de classifications et de conventions adoptés pour consigner les multiples flux d'énergie de différents types affectés à différents usages.

I. Objectifs et champ du présent manuel

20. Il fallait manifestement revoir toutes ces diverses pratiques nationales et internationales, et c'est ce qui a été fait dans le cadre de la préparation du présent manuel. Son but immédiat est d'encourager la discussion des principaux problèmes, de fournir des directives concernant un certain nombre de conventions et de concepts et d'identifier certains domaines qui ne peuvent être explorés complètement aux fins d'une harmonisation des conventions tant que l'on n'en saura pas plus sur l'évolution probable de la technologie énergétique.

21. On ne méconnaît pas que certains compilateurs et utilisateurs de bilans énergétiques hésiteront peut-être à modifier leurs pratiques courantes en raison du fait que l'innovation statistique peut entraîner une discontinuité, encore que cela ne soit pas obligatoire. Cette réticence ne devrait pas empêcher les utilisateurs et les producteurs de statistiques énergétiques d'adopter un domaine aussi large que possible de conventions, pratiques, cadres, classifications et unités comptables communément admises, à usage de comparaisons internationales et aux fins de publication par les organisations internationales.

22. L'adoption d'un système international normalisé n'empêcherait pas les pays de s'écarter des conventions d'un tel système dans leurs statistiques nationales lorsqu'ils ont de bonnes raisons de le faire, mais elle garantirait l'existence d'une base internationale communément acceptée pour l'établissement de comparaisons entre statistiques nationales à diverses fins. En matière énergétique probablement plus que dans tout autre contexte, aucun pays n'est plus une île - si jamais il l'a été - et les comparaisons internationales sont une partie inévitable des études, tant nationales qu'internationales, sur ce qui constitue peut-être le facteur le plus important de toute activité économique, hormis l'effort humain.

23. Le présent manuel examine non seulement ce qui est souhaitable en matière de termes statistiques pour les sources d'énergie actuellement importantes, mais aussi comment les sources nouvelles et renouvelables pourraient être intégrées dans le cadre comptable proposé. Comme on l'a signalé plus haut, il cherche à déterminer comment un cadre comptable normalisé pourrait être simplifié sans nuire à sa structure essentielle pour l'adapter à l'usage de pays dont l'économie énergétique et le système statistique sont encore relativement peu évolués.

24. Le présent manuel traite essentiellement des problèmes de conceptualisation, de classification, de comptabilisation et de mesure dans les domaines de la production, de la conversion et de l'utilisation de l'énergie, par le moyen d'unités physiques ou énergétiques d'un genre ou d'un autre. Il ne s'attache pas aux problèmes statistiques que posent la définition et la mesure des réserves énergétiques, des ressources ou des prix et des valeurs monétaires, sauf dans la mesure où ces problèmes émergent dans l'interface entre les préoccupations de ce manuel et les autres domaines d'études connexes.

25. L'adoption d'un cadre normalisé pour les biens de produits énergétiques et pour les bilans énergétiques globaux apporterait un avantage non négligeable dans la mesure où il permettrait à toutes les principales organisations internationales de s'accorder sur un ensemble harmonisé de questionnaires relatifs à l'énergie, de sorte que les pays n'auraient qu'à remplir les tableaux une fois pour toutes. Ainsi, les membres de la CEE ne rendraient compte qu'une seule fois à l'OSCE (Luxembourg) et les mêmes données seraient envoyées à l'OCDE (Paris) ainsi qu'à la Commission économique pour l'Europe (CEE), à Genève, qui recevrait également du Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM), à Moscou, les chiffres correspondants pour les pays membres de cette organisation; la CEE transmettrait au Bureau de statistique des Nations Unies, à New York, les chiffres concernant tous ses pays membres et le Bureau de New York recevrait à son tour des chiffres analogues de ses bureaux régionaux pour ce qui concerne les pays membres des diverses régions. Ce système permettrait non seulement de corriger la situation actuelle où, dans la plupart des pays, un personnel spécialisé déjà insuffisant et des ressources précieuses sont absorbés par le travail qu'exige la réponse à au moins deux questionnaires différents utilisant des unités et conventions différentes, mais assurerait également la cohérence entre les données publiées par les différentes organisations internationales conformément à un système international convenu de comptabilité énergétique. Il ne fait pas de doute qu'une telle manière de procéder serait à l'avantage de tous ceux qu'intéressent l'analyse énergétique et les problèmes politiques au niveau tant national qu'international.

II. NOTIONS FONDAMENTALES

A. Significations du terme "énergie"

26. Les mots "énergie" et "statistiques de l'énergie" ont été utilisés sans que leur sens soit défini. Avant de poursuivre, il serait sans doute utile d'en préciser la signification. On entend par "énergie" la capacité d'effectuer un travail ou de produire de la chaleur; l'énergie peut être considérée comme du "travail emmagasiné". La chaleur produite peut être d'une intensité telle qu'il y a émission de lumière. La chaleur, la lumière, la force motrice et la réaction chimique produites par l'électricité ou produisant de l'électricité couvrent suffisamment, aux fins de la présente étude, le champ des manifestations de l'"énergie". Les sources d'énergie combustibles peuvent être transformées en énergie mécanique (ou force motrice) ^{9/} avec ou sans transformation ultérieure en électricité. L'énergie mécanique et l'électricité peuvent aussi être tirées de l'énergie cinétique que contient une masse d'eau qui se déplace d'un niveau à l'autre (barrage sur un cours d'eau, marées ou vagues) ou une masse d'air qui se déplace d'une zone de haute pression à une zone de basse pression. La chaleur peut être produite par la combustion ou la fission d'un combustible approprié, par la compression d'un milieu liquide ou gazeux adéquat, par le passage d'un courant électrique dans une matière déterminée, par le captage des rayons du soleil, par les roches chaudes situées sous la surface de la terre ou par certaines réactions chimiques exothermiques autres que la combustion. (Une réaction exothermique est une transformation qui dégage de la chaleur. Une réaction endothermique est une transformation qui absorbe de la chaleur.)

27. Chaque source d'énergie a ses avantages et ses inconvénients. Les combustibles fossiles et fissiles ainsi que l'eau peuvent être assez facilement stockés. L'énergie géothermique est, de par sa nature même, emmagasinée sous terre jusqu'à ce qu'elle soit libérée. L'énergie solaire, éolienne et celle des vagues ne peuvent être stockées en l'état, mais - mise à part la photosynthèse - chaque source d'énergie peut être transformée en une forme stockable, ainsi l'eau pompée à un niveau d'où elle pourra par la suite être relâchée, actionnant une turbine pour en tirer au moins une partie de son énergie initiale. Les sources d'énergie liquides et gazeuses sont particulièrement faciles à transporter (par oléoduc ou citerne mobile) et bien entendu les combustibles solides peuvent être transportés par route ou voie ferrée (et aussi par oléoduc s'ils peuvent être fluidifiés). L'électricité est, parmi toutes les formes d'énergie, la plus commode à transporter, maîtriser et appliquer à des utilisations diverses, mais elle ne se prête pas, du moins pour le moment, à un emmagasinage économique en grande quantité.

28. On a pris l'habitude de désigner les sources d'énergie que l'on rencontre dans la nature, telles que la houille, le pétrole brut et le gaz naturel, sous le nom de "combustibles primaires" et de réserver à celles qui sont dérivées de ces combustibles primaires - telles que le coke, les produits pétroliers et le

^{9/} A strictement parler, la force (ou puissance) est la quantité d'énergie disponible (ou quantité de travail effectué) par unité de temps.

gaz de ville - l'appellation de "combustibles secondaires". (Il faudrait maintenant ajouter à la liste des combustibles primaires les matières fissiles.) Selon une définition plus puriste, on pourrait aussi dire que les combustibles primaires sont ceux qui ne sont dérivés d'aucune autre source d'énergie. Qu'ils soient primaires ou secondaires, les combustibles peuvent être transformés en électricité, de sorte que l'on pourrait affirmer que l'électricité devrait être appelée un "combustible tertiaire". Une telle terminologie paraît inutilement compliquée et, de plus, l'électricité en tant que telle n'est pas un combustible mais une forme d'énergie qui, par ailleurs, peut être produite autrement qu'au moyen de combustibles fossiles (énergie hydraulique ou rayonnement solaire, par exemple).

29. Une autre solution serait de distinguer entre les "vecteurs d'énergie" ou les "sources d'énergie", d'une part, et l'"énergie" à proprement parler, d'autre part. Selon cette terminologie, l'électricité est une forme d'énergie et toutes les autres formes d'énergie - chaleur, lumière, force motrice - sont dérivées soit de la combustion, soit de la fission ou du captage de sources d'énergie. L'appellation "source d'énergie" pourrait fort bien s'appliquer non seulement aux matières fossiles et fissiles, mais aussi aux roches chaudes et aux sources renouvelables : rayonnement solaire, vent, eau (en mouvement ou localisée en un endroit approprié) et biomasse. Toutefois, les statistiques sur les disponibilités et les utilisations de l'énergie se rapportent généralement aux quantités d'énergie que l'on peut tirer de chaque source et il est donc commode de définir l'énergie "dérivée" des sources primaires comme étant de l'énergie primaire, toutes les autres énergies étant considérées comme des énergies secondaires. Il convient de noter cependant que le terme "secondaire" ne signifie pas "de qualité inférieure" - bien au contraire, l'énergie secondaire est le plus souvent beaucoup plus utile que l'énergie primaire dont elle provient.

RECOMMANDATIONS :

- 1) L'expression énergie primaire devrait être utilisée pour désigner l'énergie provenant de sources ne comportant que l'extraction ou le captage, avec ou sans séparation des matériaux contigus, nettoyage ou tri avant que l'énergie contenue dans cette source puisse être convertie en chaleur ou en travail mécanique.
- 2) L'expression énergie secondaire devrait être utilisée pour désigner l'énergie tirée de toutes les sources d'énergie qui résultent de la transformation des sources primaires. Seul le mot "combustibles" devrait être utilisé pour décrire les sources d'énergie, qu'elles soient primaires ou secondaires, qui doivent faire l'objet d'une combustion ou d'une fission avant de pouvoir libérer aux fins d'utilisation l'énergie qui est emmagasinée en elles.

30. Pour être complet, il faut mentionner deux autres concepts dès à présent, bien que certains aspects de ces concepts seront traités plus à fond par la suite. Par extension de l'idée que l'énergie primaire n'est dérivée d'aucune autre forme d'énergie (nous négligeons, par définition, les apports d'énergie directs et indirects aux processus d'extraction, de préparation et de transport des sources d'énergie primaire), les importations et les réductions de stocks des sources secondaires équivalent, pour un pays donné, à des augmentations de l'énergie primaire dont il dispose. Les exportations (et le combustible en soute) ainsi que

les augmentations de stocks sont des "accroissements négatifs". Ainsi, d'une manière générale, les mouvements nets du commerce et des stocks d'énergie secondaire équivalent à des variations dans les disponibilités d'une énergie qui est "primaire" sous l'angle du pays en cause et peut commodément être appelée "équivalent d'énergie primaire".

RECOMMANDATION :

- 3) Les importations, les exportations et les variations de stocks devraient être traitées dans un bilan énergétique de la même façon que les variations de l'approvisionnement et de l'utilisation d'énergie primaire. Ces flux d'énergie secondaire devraient être appelés équivalents d'énergie primaire. Les soutes maritimes devraient, de même, être traitées comme faisant partie des flux d'"équivalents primaires".

31. Le deuxième concept découle des considérations suivantes. Lorsque les sources primaires (charbon, pétrole, gaz naturel, par exemple) sont converties en sources secondaires plus pratiques et, à bien des égards, plus utiles (coke, carburant pour automobiles, électricité) dans les industries de transformation (cokeries, raffineries de pétrole, centrales électriques), d'importantes quantités d'énergie primaire sont consommées ou perdues au cours de l'opération. Dans le cas de l'électricité autre que celle d'origine hydraulique, ces pertes atteignent environ les deux tiers des entrées de source primaire et sont déversées dans l'atmosphère sous forme de chaleur résiduelle. Ces émissions ont une importance pour les statisticiens de l'environnement, pour qui elles constituent une forme de pollution atmosphérique, et pour les économistes de l'énergie, pour qui elles constituent une source potentiellement récupérable de chaleur.

32. Quoi qu'il arrive à cette chaleur résiduelle, l'énergie qu'elle contient représente le coût énergétique 10/ de la production de la quantité correspondante d'énergie secondaire. Même si l'utilisateur final ne reçoit et n'utilise que le coke, les produits pétroliers ou l'électricité, sa demande ne peut être satisfaite qu'en lui imputant comme entrée aux industries de transformation la quantité d'énergie primaire et secondaire dont celles-ci ont besoin pour assurer la production en question. Cette quantité représente la valeur énergétique totale d'une ou de plusieurs sources dérivées d'énergie calculée sur la base d'une entrée d'énergie primaire (ou d'équivalent de combustible fossile). Elle indique la quantité d'énergie qui serait nécessaire (dans la réalité ou en partant d'une hypothèse déterminée) pour alimenter en énergie directe le processus de transformation aboutissant à la production d'une quantité donnée d'énergie secondaire. Nous reviendrons plus tard sur la question des hypothèses.

33. Le coût énergétique direct, défini de cette façon, est relativement faible dans le cas de produits combustibles solides, de produits pétroliers et de gaz manufacturé et il n'en est pas tenu compte dans certains bilans énergétiques de

10/ A strictement parler, la chaleur résiduelle ne contient que le coût énergétique direct. Il y a aussi toutes les entrées énergétiques indirectes liées aux opérations d'extraction, de préparation, de transport et de transformation. Voir chapitre I, section C.

utilisée pour produire de la vapeur servant soit directement comme force motrice de transmission, soit, par l'intermédiaire de la production de courant électrique, comme moyen de distribuer de la force motrice ailleurs dans l'usine, soit encore, sous forme de vapeur, pour distribuer de la chaleur pour le chauffage de locaux ou les opérations industrielles. Une partie du coke utilisé dans les hauts fourneaux sert de matière première chimique plutôt que de combustible. On pourrait aussi dire que l'électricité utilisée dans l'électrolyse constitue une utilisation non énergétique d'une source d'énergie, à moins que l'on n'élargisse le concept de l'énergie en l'étendant à toute l'énergie chimique.

54. Si un bilan énergétique s'efforce de couvrir toutes les formes d'approvisionnement et d'utilisation de l'énergie, on pourrait alors avancer qu'il devrait tenter d'englober toutes les formes d'énergie qui sont dérivées de ce que l'on considère normalement comme des utilisations non énergétiques des sources d'énergie, ou comme des sources non énergétiques. Si, par contre, un bilan énergétique ne cherche à comptabiliser que les utilisations faites des sources d'énergie primaires et secondaires, il doit alors laisser de côté l'énergie dérivée de toute utilisation des sources d'énergie autre que celle à des fins énergétiques déterminées : lorsque l'on utilise le cadre comptable fourni par un bilan énergétique comme base pour un exercice de prévision, ou comme moyen pour présenter le résultat de prévisions, les chiffres relatifs à l'énergie au sens le plus strict refléteront implicitement l'évolution de la production et de l'utilisation de sources d'énergie non enregistrées en tant que telles.

RECOMMANDATION :

- 6) Les bilans énergétiques devraient porter uniquement sur toutes les disponibilités et utilisations des sources d'énergie primaire et secondaire et indiquer clairement l'utilisation de ces sources à des fins non énergétiques.

2. Sources d'énergie commerciales et non commerciales

55. Lorsque l'on évoque les sources d'énergie non commerciales, on pense d'abord en général à des choses telles que le bois de feu, les déchets de canne à sucre (bagasse) et le fumier animal séché. Ces produits - dont certains font l'objet d'échanges commerciaux dans les centres urbains et les villes de certains pays en développement -, auxquels on peut ajouter la force motrice fournie par les animaux de trait et par l'homme, ne sont pas négligeables du point de vue des bilans énergétiques, car ils représentent non seulement une grande partie de la consommation totale d'énergie dans ces pays, mais également une demande potentielle de combustibles fossiles ou d'électricité d'origine commerciale dans les années à venir. Si l'on retient ce critère toutefois, il existe aussi d'autres importantes sources non commerciales d'énergie ("non commerciales" dans le sens qu'elles ne passent pas par le marché) et ces sources sont plus importantes dans les pays développés que dans les régions peu développées du monde.

56. Un exemple de ce type est la chaleur autoproduite, qu'elle provienne de sous-produits de combustibles dans les processus pétrochimiques, ou de chaleur exothermique d'origine non combustible exploitée dans d'autres secteurs de l'industrie chimique. D'autres exemples sont l'utilisation de déchets dans les industries du bois et du papier et celle de la chaleur récupérée à partir des

C. Pourquoi des statistiques de l'énergie sont nécessaires

36. L'attention a déjà été attirée sur les modifications intervenues depuis le début des années 70 dans les domaines d'intérêt auxquels s'attachent les spécialistes des questions énergétiques et les responsables des politiques. Avant d'aller plus loin, il serait utile d'examiner une fois de plus certaines des incidences statistiques de quelques-uns des problèmes économiques et politiques qui sont maintenant au premier plan des préoccupations mondiales. On peut les résumer comme suit :

<u>Sujet</u>	<u>Problèmes statistiques</u>
a) Epuisement des réserves de combustibles fossiles	Compatibilité entre les concepts utilisés pour définir les "réserves" et la "production" Relation entre les utilisations énergétiques et non énergétiques
b) Demande future d'énergie	Signification de "demande" Rapports entre les combustibles commerciaux et non commerciaux Autoproduction industrielle Comparabilité des utilisations énergétiques et de la production industrielle. Remplacement de l'énergie animale ou humaine par des combustibles fossiles ou autres sources dans le transport, le pompage et autres utilisations
c) Rôle de l'électricité d'origine nucléaire	Traitement des combustibles nucléaires et de l'énergie d'origine nucléaire dans un bilan énergétique
d) Champ des économies d'énergie	Mesure de l'énergie effectivement utilisée à diverses fins et dans divers processus et produits
e) Effets directs et indirects des changements de prix des sources d'énergie	Relation entre les données monétaires concernant l'énergie (et autres biens et services) dans les tableaux entrées/sorties et les données physiques concernant les flux d'énergie dans les bilans énergétiques
f) Protection de l'environnement	Traitement des émissions de chaleur
g) Production combinée de chaleur et d'électricité	Relation entre les entrées d'énergie et la production combinée
h) Impact des sources d'énergie renouvelables	Mesure de l'équivalent d'entrée d'énergie primaire

Sujet

Problèmes statistiques

- 1) Dépendance à l'égard des importations

Divers concepts de la consommation et de la dépendance à l'égard des importations
Commerce visible et invisible de l'énergie

37. Cette liste pourrait être allongée, mais elle suffit déjà pour attirer l'attention sur toute une série de problèmes statistiques qu'il faut résoudre lors de l'élaboration d'un système intégré de statistiques de l'énergie. On peut même se demander si un seul système est capable de satisfaire toutes ces demandes variées et bien d'autres encore. Répondre par la négative serait faire preuve de pessimisme, car c'est précisément la prolifération des systèmes de données énergétiques, des conventions, unités et classifications comptables qui a produit la confusion où l'on se trouve actuellement lorsqu'on tente de mettre en corrélation les évaluations faites par différents spécialistes de l'analyse énergétique ou les recommandations de différents conseillers en matière de politique.

38. Il restera bien sûr un besoin d'autres types de données énergétiques pour des analyses spéciales et d'autres fins particulières qui ne peuvent trouver facilement leur place dans un système fondamental général, mais les données employées pour de telles analyses devraient en principe être compatibles avec les informations contenues dans le système fondamental de comptes et de bilans énergétiques et de tableaux annexes et - si les données en question concernent les flux ou les stocks - elles devraient pouvoir être dérivées du système général.

D. Coûts et avantages des données statistiques

39. Il faut évidemment trouver un point d'équilibre (au sens coût/avantages) entre le caractère plus ou moins complet, précis et à jour d'un bilan et le coût de l'opération ainsi que celui des erreurs que pourraient entraîner des décisions de politique fondées sur un système de données plus imparfait. Comme nous le verrons plus loin lorsque nous examinerons "l'énergie utile" (à savoir l'énergie effectivement convertie en chaleur, lumière ou force motrice par les usagers finals), il est facile d'insérer dans un bilan global des lignes et des colonnes qui, si elles étaient remplies, fourniraient des renseignements d'un grand intérêt pour certains spécialistes, mais le coût de l'opération serait très élevé si l'on voulait recueillir auprès de toutes les catégories d'utilisateurs finals des données de la même qualité que celles figurant dans les autres parties du bilan. Il faut distinguer entre ce qu'il est nécessaire de connaître et ce qu'il serait agréable de savoir.

40. Le coût du rassemblement, du contrôle et de l'analyse ne devrait pas dépasser l'avantage que représente la différence entre les décisions prises en toute connaissance de cause et celles qui seraient prises si l'on n'avait pas accès aux données en question. Ce principe est plus facile à énoncer qu'à mettre en application. Il n'est pas aisé de définir toutes les décisions qui sont, ou seront, matériellement influencées par l'existence ou l'absence de telle ou telle information statistique. Il est encore plus difficile d'évaluer

les avantages ou les inconvénients à long terme de certaines décisions. Ce problème est encore compliqué par la multiplicité des frontières spatiales, institutionnelles et sociales au-delà desquelles on ne ferait plus intervenir la notion de rentabilité. Malgré toutes ces difficultés d'ordre pratique, il convient néanmoins de ne pas perdre de vue le principe énoncé plus haut.

E. Qualité des données

41. Un autre vœu qu'il est plus facile de formuler que de mettre en oeuvre concerne la qualité des statistiques de l'énergie (entre autres). Ce problème a été soulevé périodiquement dans divers domaines statistiques. Il est relativement facile d'assigner des marges d'erreur et des niveaux de probabilité correspondant à des estimations fondées sur des enquêtes par sondage correctement conçues, et on peut procéder de manière à peu près analogue - mais forcément moins rigoureuse - pour des estimations tirées d'enquêtes sur listes et de recensements partiels (y compris une réponse incomplète à ce qui était prévu à l'origine comme devant être un recensement complet).

42. En principe, les chiffres enregistrés pour les stocks et les flux d'entrées et de sorties du secteur énergétique lui-même et de ses principaux clients industriels (sidérurgie ou industrie chimique, par exemple) devraient être assez exacts, mais comme nous le verrons dans le chapitre suivant, beaucoup dépend de la définition donnée d'un stock ou flux spécifique. Deux séries de statistiques sur le même sujet peuvent avoir un grand degré d'exactitude tout en étant peu comparables.

43. Les véritables difficultés apparaissent avec la construction d'un compte complet de l'approvisionnement et de l'utilisation pour n'importe quelle source d'énergie, et naturellement elles ne font qu'augmenter lorsqu'il s'agit d'intégrer dans un bilan énergétique global deux de ces comptes ou davantage. Ces bilans, qu'ils portent sur des sources distinctes ou sur toutes les sources dans un système énergétique donné, comprennent des éléments interdépendants ayant un niveau de fiabilité très variable, et il est parfois presque impossible d'attribuer des marges de confiance aux agrégats. Ces difficultés ne doivent cependant pas être considérées comme des barrières infranchissables, mais plutôt comme des obstacles à surmonter sur la voie du progrès. Même si l'on ne peut évaluer les diverses marges de fiabilité à assigner à chaque composante d'un agrégat, la sensibilité de ces agrégats aux erreurs supposées dans leurs principales composantes mérite d'être étudiée. On peut ainsi projeter un éclairage intéressant sur la fiabilité des taux de changement et des pourcentages calculés pour les totaux.

RECOMMANDATION :

- 4) Les bureaux statistiques nationaux et internationaux devraient envisager sérieusement d'essayer d'évaluer la sensibilité de chaque grand agrégat publié dans leurs statistiques de l'énergie à des erreurs de plus ou moins (par exemple) 5 ou 10 p. 100 dans les éléments les moins fiables de ces agrégats.

F. Caractéristiques essentielles des bilans Énergétiques

44. Tout système de comptes Énergétiques devrait être fondé solidement sur la première loi de la thermodynamique qui stipule que la quantité d'énergie contenue dans un système fermé est fixe et ne peut être ni augmentée ni diminuée sans apport extérieur ou fuite en dehors du système. Un bilan Énergétique portant sur une seule source d'énergie (charbon, par exemple) ou sur un groupe de sources Énergétiques étroitement liées (produits pétroliers, par exemple) est un bilan de produits Énergétiques. Un tel bilan indiquera les origines (production, importation, prélèvement sur stock) et les utilisations (exportation, augmentation de stock, transformation dans une autre source d'énergie, usage non Énergétique, consommation finale) exprimées au moins dans les unités d'origine (par exemple, tonnes) spécifiques à la source d'énergie en question. Il peut aussi être exprimé dans une unité d'énergie (kilocalorie ou térajoule, par exemple). Toutefois, un bilan de produit Énergétique ne donne pas la production d'énergie secondaire (électricité, par exemple) qui résulte de la transformation de la source considérée. Dans un tel bilan, la transformation est l'une des utilisations, parmi d'autres, de la source Énergétique en question. L'ordre le plus commode pour disposer les divers éléments du bilan est examiné au chapitre V. La compilation des données de base sera étudiée plus en détail à l'annexe VI.

45. Un bilan Énergétique global est un compte d'approvisionnement et d'utilisation qui indique (de préférence dans un seul tableau) les origines et les utilisations de toutes les sources d'énergie employées dans un pays donné pendant l'année (ou autre période de temps). Ce type de bilan doit nécessairement comptabiliser toutes les formes d'énergie en unité commune et montrer les rapports entre les entrées et les sorties des industries de transformation. On verra au chapitre V que le meilleur ordre de disposition des lignes n'est pas exactement le même que pour un bilan de produit Énergétique. Ce chapitre traite aussi des diverses unités communes possibles.

46. Un tel système devrait être aussi complet que possible dans les limites qui lui ont été assignées. Tous les stocks et les flux de formes d'énergie existantes devraient en principe être comptabilisés, et on devrait pouvoir faire entrer dans le système sans changer les règles toutes les formes connues d'énergie utilisables à l'avenir (énergie solaire, marémotrice, éolienne, biomasse, etc.). Pour des raisons de principe cependant, il peut être préférable de dresser un bilan incomplet que pas de bilan du tout. Le système devrait éviter le double comptage tout en indiquant l'ensemble des approvisionnements et utilisations d'énergie pertinentes. Il devrait aussi faire apparaître explicitement les flux de chaleur résiduelle dans l'environnement. Ultérieurement, il faudrait pouvoir incorporer l'énergie provenant de l'environnement, avec l'introduction et la diffusion des pompes à chaleur. Le système devrait également, en principe, être conceptuellement compatible avec d'autres analyses économiques telles que les comptes nationaux et surtout les tableaux d'échanges interindustriels.

47. Ces considérations donnent une vue un peu trop simplifiée de la question. S'il faut éviter le double comptage dans la mesure où il est source d'erreurs et de confusion, il faut le rechercher dans la mesure où il aide à mieux comprendre les flux des différentes formes d'énergie entre les divers secteurs de l'économie (par exemple les échanges entre les raffineries et les usines chimiques associées, le recyclage des lubrifiants de récupération par les

raffineries de pétrole). S'il n'est pas toujours possible d'arriver à une comparabilité complète entre les statistiques de l'énergie et les autres statistiques économiques, pour la bonne raison que deux types de données peuvent être nécessaires pour des fins tout à fait différentes, la relation conceptuelle entre les deux types d'information devrait cependant être explicitée (par exemple, par une sorte de "tableau de transition").

48. Il existe diverses unités comptables communes auxquelles on peut recourir - et nous reviendrons sur ce point ultérieurement - mais une information insuffisante sur les unités employées dans des statistiques énergétiques publiées peut entraîner une grande confusion et beaucoup de perte de temps chez le lecteur.

RECOMMANDATION :

- 5) Les bureaux de statistiques nationaux et internationaux, et les organismes qui les conseillent ou qui entreprennent des travaux pour eux, devraient toujours définir clairement les unités de compte ou de présentation employées dans une analyse publiée. Les facteurs de conversion et les procédures appliquées pour convertir les unités physiques d'origine dans l'unité ou les unités communes retenues devraient également être exposés, ou une source publiée facilement accessible devrait être citée. Il faudrait aussi préciser si les unités énergétiques sont définies sur la base du pouvoir calorifique supérieur ou inférieur (voir chapitre IV, section G).

49. Quel que soit le schéma adopté (c'est-à-dire l'ordre de présentation des divers stocks, flux, origines et utilisations de l'énergie), un bilan énergétique global devrait faire apparaître deux - ou de préférence trois - niveaux de mesure. Premièrement, il y a les sources d'énergie primaire, qui peuvent être livrées soit aux industries de transformation (raffineries, centrales électriques, usines de gaz et fabricants de combustibles solides), soit aux utilisateurs finals (à l'intérieur ou à l'extérieur du pays). Par convention, ces sources et flux sont souvent désignés sous le nom d'"entrée de combustible primaire" ^{14/}. Deuxièmement, il y a les sources d'énergie - qu'elles soient primaires ou secondaires - qui sont livrées aux usagers finals. (On entend par "usagers finals" tous les utilisateurs en dehors des industries qui produisent ou transforment les sources primaires, ces industries étant appelées collectivement "industries énergétiques" puisque la production d'énergie primaire ou secondaire est leur principe activité.) ^{15/} Ces flux sont désignés collectivement sous le nom de "chaleur livrée". Un terme plus général serait "énergie livrée". Ce dernier flux n'indique pas combien de chaleur, de lumière ou de travail les usagers

^{14/} Selon la terminologie recommandée précédemment, il faudrait parler d'"entrée d'énergie primaire".

^{15/} Les usagers finals comprennent l'industrie, la distribution et les autres services (qui sont tous des "consommateurs intermédiaires" au sens de la comptabilité nationale). L'autoproduction d'électricité par l'industrie et la production de gaz de haut fourneau pourraient être considérées comme faisant partie des activités des industries énergétiques ou comme une utilisation parmi d'autres de l'énergie livrée aux usagers finals. Ce point sera examiné plus avant dans les chapitres qui suivent.

finals tirent de la quantité d'énergie qui leur est livrée. Ce troisième niveau de mesure est "l'énergie utile", mais elle est très difficile à mesurer avec suffisamment de précision pour être incluse dans une section régulière d'un bilan global. (Nous reviendrons sur ce problème au chapitre VI.) 16/

16/ L'OSCE (Luxembourg) a publié des "bilans de l'énergie utile", se terminant par "l'utilisation finale de l'énergie", sur la base à la fois de l'énergie livrée et de l'énergie utile, pour 1975, 1978 et 1980.

III. PROBLEMES DE DELIMITATION

A. Généralités

50. Au chapitre II (par. 36), nous avons énuméré un certain nombre de sujets relatifs à la politique et à l'analyse énergétiques en signalant les problèmes statistiques que soulève l'examen de ces sujets. Dans le présent chapitre, nous allons étudier de manière plus approfondie la nature de ces problèmes, les choix qu'ils présentent et l'interdépendance entre les solutions théoriques et les applications pratiques des données statistiques. Comme on l'a déjà fait ressortir, il n'existe souvent pas de pratique statistique unique qui réponde à tous les besoins. Il est cependant nécessaire d'essayer de se mettre d'accord sur un cadre comptable de base relativement complet et servant de norme, que l'on pourra enrichir et dont on pourra s'écarter, selon des procédures nettement définies, à des fins particulières et clairement reconnues.

51. Les sections ci-après sont consacrées à l'étude de deux grandes catégories de problèmes de délimitation. En premier lieu, il y a les limites possibles du système de données énergétiques dans son ensemble. En deuxième lieu, il y a les problèmes de délimitation qui se posent entre un certain nombre de stocks et de flux à l'intérieur du système général des données. La relation entre le commerce visible et le commerce invisible en matière d'énergie est examinée au chapitre IV, section F.

B. Les limites du système

1. Les flux énergétiques et non énergétiques

52. Certaines sources d'énergie primaire (par exemple, le charbon ou le gaz naturel) et certaines sources d'énergie dérivée (par exemple, le naphte) peuvent être utilisées soit comme combustibles, soit comme matières premières pour l'industrie pétrochimique. Certains produits pétroliers (par exemple, le bitume, les lubrifiants et les cires) ne sont presque jamais utilisés comme combustibles. Le coke de pétrole est couramment utilisé comme matière première non énergétique dans l'industrie, mais dans certains pays il est également employé comme combustible de raffinerie. En général, dans la plupart des bilans énergétiques existants (voir chap. V), l'utilisation à des fins non énergétiques de produits pétroliers (et parfois de gaz naturel) est comptabilisée explicitement et distinguée de l'utilisation énergétique des sources primaires et secondaires d'énergie.

53. Malheureusement, ce traitement ne résoud pas entièrement le problème. La majeure partie des processus chimiques qui utilisent les hydrocarbures comme matière première donnent naissance à des sous-produits combustibles dont la plupart servent à produire une partie de la chaleur qu'exigent ces processus. De plus, dans un secteur tout à fait différent de l'industrie chimique, tel que la fabrication d'acide sulfurique et d'acide nitrique, la chaleur est dégagée par des réactions chimiques exothermiques qui ne nécessitent aucun apport extérieur de chaleur. Une partie de cette chaleur secondaire est captée et

utilisée pour produire de la vapeur servant soit directement comme force motrice de transmission, soit, par l'intermédiaire de la production de courant électrique, comme moyen de distribuer de la force motrice ailleurs dans l'usine, soit encore, sous forme de vapeur, pour distribuer de la chaleur pour le chauffage de locaux ou les opérations industrielles. Une partie du coke utilisé dans les hauts fourneaux sert de matière première chimique plutôt que de combustible. On pourrait aussi dire que l'électricité utilisée dans l'électrolyse constitue une utilisation non énergétique d'une source d'énergie, à moins que l'on n'élargisse le concept de l'énergie en l'étendant à toute l'énergie chimique.

54. Si un bilan énergétique s'efforce de couvrir toutes les formes d'approvisionnement et d'utilisation de l'énergie, on pourrait alors avancer qu'il devrait tenter d'englober toutes les formes d'énergie qui sont dérivées de ce que l'on considère normalement comme des utilisations non énergétiques des sources d'énergie, ou comme des sources non énergétiques. Si, par contre, un bilan énergétique ne cherche à comptabiliser que les utilisations faites des sources d'énergie primaires et secondaires, il doit alors laisser de côté l'énergie dérivée de toute utilisation des sources d'énergie autre que celle à des fins énergétiques déterminées : lorsque l'on utilise le cadre comptable fourni par un bilan énergétique comme base pour un exercice de prévision, ou comme moyen pour présenter le résultat de prévisions, les chiffres relatifs à l'énergie au sens le plus strict refléteront implicitement l'évolution de la production et de l'utilisation de sources d'énergie non enregistrées en tant que telles.

RECOMMANDATION :

- 6) Les bilans énergétiques devraient porter uniquement sur toutes les disponibilités et utilisations des sources d'énergie primaire et secondaire et indiquer clairement l'utilisation de ces sources à des fins non énergétiques.

2. Sources d'énergie commerciales et non commerciales

55. Lorsque l'on évoque les sources d'énergie non commerciales, on pense d'abord en général à des choses telles que le bois de feu, les déchets de canne à sucre (bagasse) et le fumier animal séché. Ces produits - dont certains font l'objet d'échanges commerciaux dans les centres urbains et les villes de certains pays en développement -, auxquels on peut ajouter la force motrice fournie par les animaux de trait et par l'homme, ne sont pas négligeables du point de vue des bilans énergétiques, car ils représentent non seulement une grande partie de la consommation totale d'énergie dans ces pays, mais également une demande potentielle de combustibles fossiles ou d'électricité d'origine commerciale dans les années à venir. Si l'on retient ce critère toutefois, il existe aussi d'autres importantes sources non commerciales d'énergie ("non commerciales" dans le sens qu'elles ne passent pas par le marché) et ces sources sont plus importantes dans les pays développés que dans les régions peu développées du monde.

56. Un exemple de ce type est la chaleur autoproduite, qu'elle provienne de sous-produits de combustibles dans les processus pétrochimiques, ou de chaleur exothermique d'origine non combustible exploitée dans d'autres secteurs de l'industrie chimique. D'autres exemples sont l'utilisation de déchets dans les industries du bois et du papier et celle de la chaleur récupérée à partir des

fours à coke et des hauts fourneaux. Si l'on veut qu'un bilan énergétique enregistre tous les flux d'énergie, on peut soutenir qu'il devrait comprendre ces opérations. Par contre, étant donné que ces flux d'énergie récupérée sont liés à la production principale des industries en question, cette énergie ne représente une diminution de la demande (ou une augmentation de l'approvisionnement) de combustibles commerciaux que dans la mesure où cette chaleur récupérée est livrée à des consommateurs extérieurs à l'industrie qui la produit.

57. Un autre cas est l'énergie captée par l'industrie, le commerce ou les particuliers au moyen de panneaux solaires, d'éoliennes ou de pompes à chaleur. Dans la mesure où cette énergie se substitue à celle qui était précédemment achetée sur le marché, elle entraîne une diminution dont il importe de tenir compte dans les projections de la demande future. Dans la mesure où elle constitue un apport supplémentaire pour l'utilisateur, on pourrait la considérer comme une augmentation conditionnelle de la demande commerciale, car si l'utilisateur s'habitue à son surcroît de consommation, il se peut qu'il s'adresse au circuit commercial lorsque son système d'autoproduction ne fonctionne pas. Ces phénomènes s'inscriront cependant (avec un certain retard) dans l'évolution de la tendance de la demande et n'exigent pas forcément une quantification séparée.

58. Cet argument, fondé sur la diminution de la demande future d'énergie commerciale, pourrait être poussé encore plus loin. L'installation d'une meilleure isolation des toits, des murs et des fenêtres se traduit par une baisse de la demande de sources d'énergie provenant du secteur commercial. Ce serait toutefois pousser un principe trop loin que d'inscrire l'énergie nationale ne provenant pas du marché sous forme d'énergie obtenue grâce à l'isolation. Il est pourtant vrai que sans cette amélioration de l'isolation ou sans ces panneaux solaires, ces éoliennes et ces pompes à chaleur, la demande de combustibles commerciaux serait plus élevée.

59. Il y a deux cas où le principe de substitution (c'est-à-dire le fait de compter l'énergie autoproduite comme un achat qui s'effectuerait sur le marché commercial si l'autoproduction n'avait pas lieu) est appliqué dans certains bilans. Le premier cas est la production de méthane ou d'un autre gaz de qualité inférieure à partir de déchets et l'incinération des ordures urbaines pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité. Le deuxième cas est celui où une industrie manufacturière produit sa propre électricité, souvent en association avec la production de chaleur pour un processus de fabrication. La façon la plus simple de traiter ce dernier cas serait d'enregistrer les combustibles achetés par l'industrie en question sous la rubrique "utilisation énergétique finale" et de considérer les utilisations faites de ces combustibles comme une affaire entièrement interne à l'industrie. Une autre possibilité serait de ne tenir compte que de la quantité d'électricité autoproduite vendue effectivement à l'extérieur. Le problème est plus difficile à résoudre lorsque d'importantes quantités d'électricité d'origine hydraulique sont produites par une industrie pour son propre usage et constituent sa principale ou unique source d'énergie. Si cette électricité n'était pas comptabilisée dans le bilan d'un pays tel que la Norvège, il apparaîtrait que la production de certaines grandes industries (aluminium et engrais, par exemple) s'effectue sans apport énergétique, alors qu'elle est, de par sa nature même, grande consommatrice d'énergie. D'une manière analogue, les sucreries tirent parfois toute la chaleur et la vapeur dont elles ont besoin pour leurs opérations de l'incinération de la bagasse. On examinera au chapitre VI la question des données qu'il serait souhaitable de recueillir concernant tout

l'éventail des utilisations de l'énergie dans les secteurs d'utilisation finale mais, en tout état de cause, une façon de traiter l'hydroélectricité autoproduite serait d'inclure dans le bilan énergétique d'ensemble (au besoin sous forme d'un tableau annexe) une analyse détaillée de l'autoproduction (et de la récupération) d'énergie dans les secteurs d'utilisation finale.

60. Dans la plupart des bilans nationaux et internationaux, cependant, toute l'électricité autoproduite est traitée comme si elle était achetée sous forme d'électricité et la quantité de combustible qu'on estime nécessaire à sa production est déduite de l'utilisation industrielle de combustible et affectée à un secteur élargi de production électrique (qui distingue en général les installations industrielles des centrales du réseau public). Pour justifier ce traitement, on fait valoir que la production d'électricité aurait pu, au moins théoriquement, être entièrement livrée par les centrales industrielles au réseau de distribution public. L'évaluation de l'entrée en combustibles pour la production électrique des centrales mixtes fournissant chaleur et électricité (cas particulier de la tentative de répartir les entrées en combustibles entre deux produits associés) soulève un problème difficile qui sera examiné de manière plus détaillée au chapitre V.

61. Ce traitement de l'autoproduction industrielle a pour effet de réduire le niveau total de l'énergie fournie au secteur industriel dans la partie d'un bilan énergétique qui traite de la consommation finale d'énergie : l'entrée de combustibles primaires pour la production d'électricité (avec ou sans une production associée de chaleur industrielle) est remplacée en tant qu'entrée par la valeur énergétique de l'électricité produite. (Ce qui est le contraire de la substitution plus courante, statistiquement parlant, de la production d'électricité par l'entrée de combustible primaire théoriquement nécessaire pour produire cette électricité dans le cas de centrales nucléaires et hydroélectriques - voir chapitre IV.)

62. Sur le plan de la conceptualisation, il peut se présenter des options dans le cas des sources d'énergie ne passant pas explicitement par le marché dans les pays développés. Par contre, lorsqu'il s'agit de pays peu développés, l'exclusion de combustibles non commerciaux reviendrait à éliminer jusqu'à la moitié ou davantage du total estimé d'énergie "inanimée". L'énergie fournie par les animaux et les êtres humains (énergie "animée") pour le transport, la culture, la récolte et le traitement des aliments ainsi que pour le ramassage du bois - c'est-à-dire pour les tâches qui, dans les pays développés, seraient entièrement ou en grande partie effectuées à l'aide de diverses machines mécaniques ou électriques consommant de l'énergie - représente un autre élément, probablement encore plus important, de l'approvisionnement et de l'utilisation énergétiques dans les pays en développement. Les données concernant ces sources énergétiques non commerciales sont fragmentaires, même lorsqu'il s'agit de sources (bois de feu par exemple) qui font l'objet d'un volume de transactions non négligeable sur les marchés commerciaux épars; mais tous ces flux, qu'ils soient commerciaux ou non au sens ordinaire, devraient être en principe comptabilisés lorsqu'on s'efforce de construire des bilans énergétiques pour les pays en développement. Comme on l'a signalé plus haut, ces sources d'énergie représentent une demande potentielle de sources traditionnelles d'énergie commerciale et/ou de sources non commerciales telles que le biogaz, l'énergie éolienne ou l'énergie hydraulique.

RECOMMANDATION :

- 7) a) Un bilan énergétique global devrait comprendre tous les flux d'énergie, y compris les sources dites "non commerciales". La couverture de ces sources devrait être aussi étendue que possible. Lorsque l'on sait que ces sources sont importantes mais qu'il existe peu de données, il conviendrait de prendre des mesures telles que des enquêtes par sondage pour améliorer le volume et la qualité des données.
- b) L'autoproduction d'électricité à partir de combustibles achetés, en association ou non avec la production de chaleur, devrait être traitée comme faisant partie du secteur de transformation.
- c) L'autoproduction provenant de l'hydroélectricité propre d'une industrie devrait être traitée en tant que production primaire d'électricité.
- d) La vapeur ou l'eau chaude produites par la combustion de déchets industriels (ou urbains) ou par la chaleur exothermique ou autre récupérée dans l'industrie devraient être consignées en tant que production primaire.
- e) Chaque méthode de production d'électricité qui fournit une partie appréciable du volume total d'approvisionnement électrique devrait se voir assigner une ligne séparée dans le bilan énergétique.

3. Industries énergétiques et autres

63. Dans l'étude et les recommandations ci-dessus concernant les utilisations énergétiques et non énergétiques des sources d'énergie ainsi que les sources d'énergie commerciales et autres, on a déjà touché à certains aspects de ce problème de délimitation. Ainsi, la production d'énergie thermique dans l'industrie chimique ou de gaz dans les hauts fourneaux, ou encore d'électricité et de chaleur dans d'autres secteurs industriels, n'implique pas forcément qu'il faille inclure dans la section transformation d'un bilan énergétique l'ensemble de ces activités productrices d'énergie dérivée. Une possibilité serait de ne considérer comme faisant partie du secteur de transformation dans un bilan global que la quantité d'énergie dérivée vendue à l'extérieur de l'industrie productrice. Il s'agirait là cependant d'une démarche plutôt restrictive et les recommandations qui précèdent s'inspirent d'une version plus large des approvisionnements et des utilisations d'énergie.

64. Le problème de délimitation est un peu différent dans le cas des raffineries de pétrole et de l'industrie pétrochimique. Il n'est pas rare que les grandes compagnies soient actives dans les deux domaines et recherchent des économies techniques ainsi qu'une certaine souplesse par le biais d'installations intégrées combinant un éventail complet d'activités allant du raffinage du pétrole brut à la production de matières plastiques finies. Les flux de matières à base d'hydrocarbures et de leurs dérivés peuvent être très complexes dans ce type d'installation, et en particulier les flux nets risquent de ne pas être faciles à classer ou à chiffrer. Selon un point de vue, étant donné que c'est la technologie pétrochimique qui est à la base de toute la gamme d'activités, toute

subdivision qui classerait d'un côté le raffinage du pétrole et de l'autre la pétrochimie constitue une classification artificielle qui soulève davantage de problèmes statistiques qu'elle n'en résout.

65. Néanmoins, sur le plan de la production, il y a une nette distinction entre les produits pétroliers sources d'énergie et les nombreux produits plastiques et chimiques qui ne sont pas destinés à être des sources d'énergie. Les classifications économiques internationales existantes se fondent sur les différences reconnaissables entre les produits caractéristiques des diverses activités industrielles. Malgré les problèmes très réels que peuvent parfois poser l'obtention de données complètes sur tous les flux véritablement énergétiques qu'il est recommandé d'englober dans un bilan énergétique, les arguments avancés pour traiter non seulement le raffinage, mais aussi toutes les autres activités de l'industrie du pétrole et des produits chimiques connexes comme faisant partie de l'industrie énergétique ne sont pas convaincants. La façon la plus pratique de cerner les activités industrielles à inclure consiste à indiquer les produits devant être couverts.

RECOMMANDATION :

- 8) a) Les bilans énergétiques devraient porter uniquement sur tous les produits hydrocarbonés énumérés dans une liste qui serait soit incorporée, soit jointe au bilan (voir chap. V).
- b) Les problèmes que soulèvent la définition et l'obtention de données plus complètes sur les flux énergétiques bruts et nets entre, d'une part, les raffineries de pétrole et, d'autre part, les installations pétrochimiques devraient être étudiés de manière plus approfondie. Des tableaux annexes à un bilan énergétique global pourraient utilement montrer de manière aussi complète que possible au moins les principaux flux de sous-produits énergétiques (et de chaleur récupérée) dans les grandes branches de l'industrie chimique.

4. Production et distribution d'énergie

66. La production d'énergie (ou, à proprement parler, la production d'une source d'énergie) peut se définir aux fins qui nous intéressent de la manière suivante :

a) Pour les sources d'énergie primaires, il s'agit de la séparation d'une source d'énergie primaire de sa réserve ou de son élément de base (cas des combustibles fossiles et fissiles et de la chaleur géothermique) ou du captage de l'énergie des flux (rayonnement solaire) et de l'énergie cinétique (vent et masse d'eau en mouvement). L'énergie nucléaire est justiciable d'au moins trois traitements différents que nous évoquerons ultérieurement. Pour les besoins de la présente définition de travail, le combustible nucléaire est assimilé en gros au combustible fossile.

b) Pour les sources d'énergie secondaires, il s'agit d'une production obtenue à partir de cette source après transformation d'une ou de plusieurs sources primaires et/ou secondaires. La distribution d'énergie est son transport ou sa transmission à l'intérieur d'un pays par route, rail ou voie fluviale

(ou, plus rarement, par voie aérienne), soit encore par conduite ou par cable à haute tension depuis son lieu de production à son lieu de transformation ou autre utilisation.

67. Ces distinctions peuvent paraître pédantes et évidentes, mais il est important d'en avoir conscience, car elles influent sur le degré de cohérence (ou d'incohérence) ^{17/} de la définition des limites dans lesquelles les stocks peuvent être aisément mesurés, et dans ou à travers lesquelles il convient de mesurer tous les flux afférents à un système d'ensemble de statistiques de l'énergie. (Ces distinctions sont également très importantes lorsque l'on examine les définitions de certains flux particuliers et l'opportunité d'intégrer ou non ces flux dans un système de données énergétiques. Cette partie de la discussion sera reprise dans la prochaine section.)

68. Un manque de cohérence dans l'application de la distinction entre production et distribution est parfois presque inévitable en raison du fait que la nature de chaque source énergétique impose des contraintes en matière de stockage et de méthodes spécifiques de distribution. Les combustibles solides peuvent être transportés par conduite, mais il est rare qu'ils le soient; le pétrole brut est en général transporté par oléoduc ou par bateau citerne et il en est de même des produits pétroliers liquides, encore que des camions ou des wagons citernes soient également utilisés pour les livraisons relativement petites; le gaz voyage normalement par gazoduc, mais dans certains cas il est liquéfié pour être transporté par mer, par route ou par rail; l'électricité est toujours transmise par cable. Il s'ensuit que les utilisateurs, qu'ils soient intermédiaire (au sens énergétique, c'est-à-dire des industries de transformation) ou finals (là aussi au sens énergétique, c'est-à-dire des utilisateurs finals dans les secteurs de l'agriculture, de l'industrie, des transports, de la distribution, des services ou des usages ménagers) sont reliés d'une manière très précise aux fournisseurs de sources énergétiques transmises par conduite ou par cable, mais peuvent être autonomes grâce à un service de distribution indépendant ayant ses propres moyens de transport et de stockage dans le cas des carburants solides, de certains gaz et de la plupart des produits pétroliers.

69. Compte tenu de ce qui précède et du fait que l'électricité et la plupart des gaz ne sont pas entreposables en dehors des industries productrices, il s'ensuit que les flux parvenant aux utilisateurs finals peuvent être plus facilement enregistrés sous forme de livraisons que de consommation et qu'il est plus facile d'obtenir les chiffres relatifs aux changements de stocks pour les industries énergétiques que pour les utilisateurs finals. Les variations des stocks de combustibles entreposables peuvent intervenir à deux stades ou plus entre la production et l'utilisation finale, de sorte que la production, les livraisons, les réceptions et la consommation peuvent toutes différer entre elles.

RECOMMANDATION :

- 9) Les bilans énergétiques publiés, que ce soit pour des sources d'énergie particulières ou pour toutes les sources d'énergie dans un seul tableau, devraient toujours indiquer clairement si les flux représentent la production, les livraisons, les réceptions ou la consommation; et la couverture des variations de stocks (et des niveaux de stocks) devrait

^{17/} Voir, par exemple, Slessor (1978).

préciser si les stocks des producteurs, importateurs, transformateurs, distributeurs et utilisateurs finals sont compris.

C. Délimitation entre flux et stocks

1. Production et déchets

70. La définition de la "production" dans la section précédente est indépendante de ce que devient l'élément produit. Le concept de production a une existence propre. Il traduit (lorsqu'il est exprimé par unité de temps) la vitesse d'épuisement d'une réserve ou d'une ressource limitées et il indique en même temps le flux matériel directement attribuable, entre autres facteurs, au capital investi en machines ou en équipement spécifiquement installés pour rendre cette production possible.

71. Il s'agit là de deux aspects importants du processus de production, et il ne fait pas de doute que pour lier la production, soit aux réserves de sources énergétiques, soit aux investissements en équipement producteur d'énergie, la "production" doit être définie de cette manière puriste; lorsque l'on fait entrer la "production" dans un bilan complet, il faut assurer la cohérence entre la couverture des approvisionnements et des utilisations de l'énergie. Cela signifie que si, comme on l'a recommandé plus haut, un bilan énergétique global ne porte que sur les formes commerciales d'énergie, alors la production doit être définie comme ne s'appliquant qu'à la production commercialisable.

72. Le charbon, le pétrole brut ou le gaz naturel produits au cours des phases d'exploration et de développement en vue de la préparation d'une production commerciale à grande échelle peuvent être commercialisables en ce qui concerne la qualité et autres caractéristiques de la source d'énergie extraite. L'électricité produite avant la mise en service d'une nouvelle centrale électrique constitue certainement une production commercialisable. Néanmoins, il peut arriver que cette production ne soit pas toute effectivement fournie aux utilisateurs qui doivent figurer dans un bilan énergétique.

73. Il y a encore d'autres problèmes. Après extraction du puit, le charbon est trié et nettoyé. La quantité rejetée comme étant non commercialisable sera déterminée en fonction de la taille et des autres caractéristiques du charbon considéré commercialisable à un moment donné, et cette quantité sera mise à l'écart sous forme de déchets (terrill). A cette époque, et peut-être pendant de nombreuses années, cette appréciation demeurera valable. Mais il peut arriver dans un avenir indéterminé, à une époque où le charbon et les autres combustibles seront devenus plus rares (ou parce que le revenu des consommateurs aura subi une baisse brutale en raison d'une dépression économique majeure), que le charbon qui avait été rejeté comme étant non commercialisable redevienne commercialisable.

74. Si le charbon non commercialisable a été exclu des statistiques de commercialisation lorsqu'il a été extrait et, de ce fait a été exclu de l'approvisionnement, il est évident que lorsque le charbon provenant du "stock" sur terrill deviendra commercialisable plus tard, il faudra le traiter comme s'il avait été produit pour la première fois et non pas le considérer comme un prélèvement sur stock.

75. Dans cet exemple, on n'aurait probablement pas pu prévoir avec certitude au départ que le charbon non commercialisable deviendrait un jour commercialisable, et même si cette possibilité avait été envisagée lors de l'extraction on lui aurait affecté un taux de probabilité extrêmement faible. De nos jours, au début des années 80, on pourrait attribuer un coefficient de probabilité plus élevé à l'idée que du charbon qui est actuellement inutilisable pourrait à l'avenir trouver une utilisation économique comme combustible.

76. Néanmoins, si l'on faisait entrer dans la "production" le charbon mis au rebut, on aurait un stock toujours croissant de charbon inutilisable dans les conditions actuelles. Il convient de noter cependant que définir la production comme excluant le charbon de rebut risque de causer une incohérence entre la production (considérée comme le taux d'épuisement des réserves) et le niveau des réserves, dans la mesure où le taux moyen réel de charbon utilisable par tonne de matière extraite diffère du taux présumé lors de l'estimation du niveau des réserves.

RECOMMANDATION :

- 10) La production de charbon devrait être définie comme étant la quantité extraite du sol moins le rebut et les déchets de criblage plus la quantité récupérée à partir du rebut.

77. Un problème conceptuel assez semblable se pose à propos du brûlage à la torche du méthane mélangé au pétrole brut. Statistiquement parlant, il s'agit là d'un problème plus immédiat. Bien que le brûlage se pratique à une échelle non négligeable au Moyen-Orient et ailleurs depuis plusieurs décennies, ce n'est que depuis les événements de 1973 que la possibilité de trouver d'autres utilisations pour les gaz brûlés est devenue économiquement envisageable. En ce qui concerne le pétrole et les gaz associés découverts sur le plateau continental européen en mer du Nord, on avait le choix entre, soit maximiser la production de pétrole brut et de la partie des gaz associés qui pouvait être transportée à terre sans danger par oléoduc ou navire-citerne (à savoir l'éthane, le propane, le butane et les condensats de C⁵ et au-dessus) - ce qui signifiait le torchage du méthane à la plateforme de production - soit retarder le transport à terre du pétrole brut jusqu'au moment où un système de gazoduc aurait été mis en place. Le Gouvernement du Royaume-Uni a opté initialement pour la première solution.

78. On peut tirer deux conclusions de cet exemple. D'abord, la production d'un gaz de grande valeur commerciale est brûlée ou l'a été. Deuxièmement, l'intention dès le départ était de transporter le méthane à terre à l'avenir, si possible. A la différence du charbon de rebut, on savait dès le commencement de l'exploitation du pétrole brut en mer du Nord ce que l'on comptait faire à l'avenir avec le gaz rejeté. Dans ce cas, par conséquent, la production de gaz associé fait partie de la production commercialisable, même si elle n'a été ni commercialisée ni stockée. Ce gaz a été brûlé, ce qui a provoqué un dégagement (très faible) de chaleur dans le milieu ambiant (voir plus loin).

RECOMMANDATION :

- 11) Toute production de gaz associé devrait être traitée comme faisant partie de la production de gaz, et les brûlés à la torche devraient être indiqués. De cette façon, le volume de la production de pétrole

et de gaz n'accusera pas un "changement d'échelle" lorsque l'utilisation totale de gaz des cokeries et des hauts fourneaux devrait être enregistrée dans un bilan énergétique, les quantités rejetées étant indiquées sous forme de pertes.

2. Production et stocks

79. Au lieu de transporter à terre ou de brûler les gaz associés, une autre solution consisterait à les réinjecter dans le gisement d'où ils proviennent. On peut en faire de même avec les gaz non associés. Dans le premier cas, le but de l'opération peut être de maintenir la pression à laquelle est soumise le pétrole dans le gisement afin de pouvoir en extraire une plus forte proportion. On peut aussi avoir l'intention, mais ce n'est pas forcément le cas, de réextraire le gaz ultérieurement pour l'utiliser à terre. Lorsqu'il s'agit de gaz réinjecté dans des gisements de gaz, le but est de conserver ce gaz pour l'exploiter ultérieurement.

80. Cette réinjection constitue manifestement un cas de constitution de stock dans des gisements à prédominance de gaz. Dans le cas de gaz associés dans les gisements de pétrole, toutefois, il n'y a aucune certitude que le gaz sera réextrait, de sorte que le gaz réinjecté pourrait être traité sur le plan statistique soit comme une constitution de stock, soit comme une utilisation "injection" de la "production", ou encore on pourrait l'exclure de la rubrique "production". C'est le deuxième traitement qui serait le plus simple et le plus informatif. Tout bien pesé, la convention la plus simple pour les bilans énergétiques serait d'exclure toute réinjection de gaz. (Comme nous le verrons plus loin, il peut être utile de faire apparaître la réinjection dans les statistiques détaillées établies par l'industrie pétrolière et gazière pour son usage propre.)

RECOMMANDATION :

- 12) Toute production de gaz, qu'il s'agisse de gaz associé ou non associé à du pétrole brut, devrait être enregistrée nette de l'injection de gaz dans les gisements de gaz ou de pétrole. Si le gaz injecté est extrait une deuxième fois ultérieurement, il devrait alors être traité comme étant produit pour la première fois.

3. Stocks, consommation et déchets

81. Les combustibles nucléaires et leurs dérivés posent des problèmes très semblables à ceux que soulèverait le charbon si toutes les chaudières commerciales existantes - en raison par exemple des matériaux utilisés pour leur construction - ne pouvaient brûler qu'une partie du combustible qui les alimente et si le charbon partiellement brûlé était récupéré des cendres et recyclé pour alimenter la même chaudière, ou une autre, plus tard, ce recyclage ayant lieu trois fois ou davantage. Un tel processus correspondrait, grosso modo, à ce qui se passe dans le cas de la plupart des réacteurs nucléaires actuels (connus sous le nom de réacteurs "thermiques"). L'analogie peut être poussée plus loin si l'on suppose que les cendres traitées, dont on ne peut plus extraire de matière combustible pour aucune chaudière commerciale existant de nos jours, pourraient néanmoins être utilisées comme source de chaleur dans un nouveau processus dont

on sait qu'il fonctionne mais qui n'est pas encore opérationnel sur le plan commercial : les déchets laissés par la technologie actuelle constitueraient le combustible d'une nouvelle technologie. La nouvelle génération de réacteurs nucléaires qui feront peut-être un jour entrer cette hypothèse dans la réalité sont les réacteurs surgénérateurs 18/.

82. Ces processus nucléaires soulèvent deux problèmes statistiques dans le domaine conceptuel. Premièrement, nous avons une entrée à un processus de transformation qui n'est qu'en partie consommée pendant une période comptable donnée, de sorte que la différence entre l'entrée de la source d'énergie primaire (combustible nucléaire) et la sortie de la source d'énergie dérivée (chaleur, électricité ou les deux à la fois) ne représente pas une perte en cours de fabrication, sauf dans la mesure où elle est très faible comparée à la quantité d'énergie emmagasinée dans l'apport initial. Deuxièmement, l'une des composantes de cette différence est un résidu qui ne peut pas être utilisé par ce processus de transformation particulier ni par aucun autre processus actuellement en usage commercial. Ainsi, sous l'angle du processus de transformation actuel, ce résidu représente un déchet ou une perte. Pourtant il est presque sûr (ou du moins hautement probable) que ce déchet deviendra une matière première qui sera utilisée dans un nouveau processus d'ici dix à quinze ans.

83. Il est clair que le cadre comptable du bilan énergétique devrait pouvoir faire apparaître séparément la partie de l'entrée de combustible nucléaire au cours d'une année qui est utilisée pendant cette période, la partie qui est récupérable pour recyclage au cours des périodes comptables suivantes et la partie qui est récupérable mais ne peut être recyclée pour produire de la chaleur en l'état actuel de la technologie nucléaire commerciale. Nous reviendrons plus loin sur la façon de résoudre ce problème dans un bilan énergétique global.

84. L'énergie nucléaire pose un troisième problème statistique. Du fait du rapport très faible entre l'énergie produite au cours d'une année et l'énergie emmagasinée dans le combustible nucléaire qui passe par un réacteur au cours de cette même année, il s'ensuit que la quantité totale d'énergie dans le combustible que contient le coeur d'un réacteur est extrêmement importante comparée à son dégagement de chaleur annuel.

85. Cette grande provision d'énergie, dont seule une très faible partie est "exploitée" au cours d'une période comptable donnée, ressemble plus à "un fonds de roulement" qu'à un simple stock de combustible. En outre, pendant les années que dure la mise en route d'un programme d'énergie nucléaire, les quantités d'énergie emmagasinée que représente la charge initiale de combustible dans le coeur des réacteurs des nouvelles centrales sont très importantes par rapport aux quantités d'énergie emmagasinées dans le combustible partiellement utilisé qui est retiré des réacteurs opérationnels. Il faut donc prévoir, dans un bilan énergétique global, des subdivisions appropriées de la rubrique variations de stocks. Nous reviendrons plus tard sur ce point.

18/ On trouvera à l'annexe II une description plus détaillée de la nature de l'énergie nucléaire.

IV. NIVEAUX DE COMPTABILISATION ET UNITES DE COMPTE

A. Généralités

86. Le chapitre II s'est terminé sur une brève description des trois niveaux de mesure que devrait, théoriquement, faire apparaître un bilan énergétique global. Rappelons brièvement de quoi il s'agissait :

a) L'énergie primaire et ses équivalents : disponibilités provenant de la production, des retraits de stocks ou des importations nettes d'énergie primaire et disponibilités - de provenance autre que la production - en équivalents. (Les équivalents d'énergie primaire sont les flux provenant des échanges nets ou des stocks de sources secondaires d'énergie. Ces deux derniers flux, dont l'un, ou tous deux, peuvent être négatifs, sont l'équivalent des flux d'énergie primaire pour ce qui concerne le pays intéressé.);

b) L'énergie livrée : livraisons aux utilisateurs final d'énergie primaire à partir de la production, des stocks ou des importations nettes plus énergie secondaire provenant de la transformation, des stocks ou des importations nettes;

c) L'énergie utile : énergie réellement convertie en chaleur utile ou en travail obtenue par les utilisateurs finals à partir des sources d'énergie primaire ou secondaire qui leur sont livrées, avec un parc donné d'équipements, d'appareils et de processus et un mode de fonctionnement donné de ces dispositifs.

87. Dans le même chapitre, on définissait l'"entrée d'énergie primaire" ou "équivalent de combustible fossile" d'une source d'énergie secondaire comme étant la quantité d'énergie primaire qui serait nécessaire, dans la réalité ou selon une hypothèse déterminée, comme apport direct d'énergie au processus de transformation qui produit une énergie secondaire spécifique (électricité, par exemple). Le présent chapitre étudie plus en détail certains cas particuliers de l'application et de l'interprétation de ce concept.

B. Entrée d'énergie primaire dans la demande finale

88. Ce concept s'applique aisément aux industries de transformation classiques (centrales thermiques, raffineries de pétrole, fours à coke et usines de gaz) encore que, comme on l'a signalé au chapitre II, il soit en général réservé à l'électricité, et il illustre le fait que la demande des utilisateurs finals correspond en réalité au montant total d'énergie primaire nécessaire pour satisfaire leurs besoins en énergie secondaire (ce qui tient compte automatiquement des pertes en cours de fabrication des industries de transformation et de distribution).

89. On a parfois soutenu que la demande finale d'énergie ne devrait être comptabilisée que de cette façon ou sous forme d'énergie utile 19/. Selon ce

19/ Voir La Revue de l'énergie (janvier 1976).

raisonnement, une analyse de l'utilisation finale en termes d'énergie livrée, notamment si elle sert à faire des prévisions, implique à tort que x unités d'électricité peuvent se substituer à x unités d'une autre source d'énergie et qu'une telle substitution arithmétique laisserait inchangé le niveau global d'utilisation d'énergie par le secteur en question (industrie manufacturière, par exemple) et par l'économie dans son ensemble. La substitution de l'électricité à une autre source d'énergie, ou vice versa, implique en réalité l'échange d'une unité d'électricité contre trois unités d'une autre source en termes d'entrée d'énergie primaire, font remarquer les tenants de cette thèse, et ils soutiennent que ce n'est qu'en comptabilisant la consommation électrique en termes de quantité d'énergie primaire à l'entrée que l'on peut éviter des substitutions erronées lorsque l'on examine, par exemple, les modifications éventuelles d'une prévision.

90. Cet argument n'est pas très convaincant dans la mesure où une analyse de l'utilisation de l'énergie finale sur cette base peut conduire à des erreurs d'interprétation. Le lecteur innocent peut penser (à tort) qu'une substitution 1:1 entre l'électricité et une autre source d'énergie laisse les usagers finals avec la même quantité d'énergie. Une objection plus sérieuse à la présentation de l'utilisation d'énergie finale uniquement en termes d'entrée de combustible primaire est que ce procédé "préempte" toute la chaleur résiduelle de la production d'électricité et l'impute aux secteurs consommateurs d'électricité : si la récupération de la chaleur résiduelle se fait dans les centrales par le truchement d'une production combinée de chaleur et d'électricité et si cette chaleur doit être comptabilisée en tant que source d'énergie dans la partie approvisionnement du bilan, nous obtenons alors une production de chaleur sans entrée correspondante 20/. Même en l'absence de récupération de chaleur - et même si cette récupération est inférieure à 100 p. 100 - l'émission de chaleur résiduelle dans l'environnement devrait en tout état de cause, pourrait-on soutenir, être attribuée à l'industrie dont elle provient 21/.

91. Les utilisateurs finals d'énergie demandent effectivement l'énergie utile que leur matériel ou leurs processus peuvent transformer en chaleur, travail ou lumière utiles à partir des sources d'énergie qui leur sont livrées. Ces usagers accepteront de remplacer une source d'énergie par une autre sur une base paritaire (1:1) à condition de disposer de la même quantité d'énergie utile dans des conditions analogues de coût et de commodité. Si on disposait de données complètes sur l'énergie utile - condition qui est loin d'être remplie pour le moment - ce niveau de comptabilisation serait sans doute le plus important pour analyser les tendances passées de l'utilisation d'énergie et essayer d'en prévoir l'évolution future, ou encore pour étudier les incidences des structures futures de la consommation.

20/ Voir Ramain (1977).

21/ L'émission de chaleur résiduelle ne se produit pas seulement dans les centrales électriques. En fin de compte, toute l'énergie utilisée retourne à l'environnement sous forme de chaleur : voir Nebbia (1975) qui voudrait voir comptabiliser toutes les pertes dans le milieu ambiant.

92. Le manque de données suffisantes sur l'énergie utile signifie que, pour le moment, l'énergie livrée constitue le dernier niveau auquel on puisse pousser un bilan énergétique global 22/. Cette limite a pour résultat, entre autres, que les seules pertes comptabilisées sont celles des industries de transformation alors que les pertes très considérables qui se produisent lorsque l'énergie livrée est transformée en énergie utile n'apparaissent pas (cette conversion a un rendement de 80 p. 100 ou plus pour l'électricité, mais de moins de 50 p. 100 pour de nombreux autres usages). Il ne s'ensuit pas cependant qu'un bilan énergétique ne devrait indiquer que la quantité de combustible primaire entrant dans les sources d'énergie livrées aux utilisateurs finals 23/.

RECOMMANDATION :

- 13) Un bilan énergétique devrait indiquer tous les flux à chaque niveau pouvant être comptabilisé correctement avec les données existantes, afin de faire apparaître clairement la relation entre les entrées d'énergie primaire en transformation, les sorties d'énergie secondaire et les pertes en cours de transformation. A certaines fins, l'équivalent en entrée de combustible primaire de la quantité d'énergie secondaire livrée aux utilisateurs finals est utile en tant que statistique supplémentaire, mais il peut être difficile de l'estimer faute de données suffisantes.

C. Quantité d'énergie primaire entrant dans l'électricité d'origine nucléaire et hydraulique

1. Electricité d'origine nucléaire

93. Les principales caractéristiques physiques du processus de fission nucléaire sont décrites à l'annexe II. Dans toutes les centrales nucléaires actuellement en service, la chaleur dégagée par le processus est convertie en vapeur puis, par l'intermédiaire de turbines, en électricité. A l'avenir, il se pourrait que la chaleur d'origine nucléaire soit appliquée plus directement à une série limitée d'opérations industrielles à haute température (telles que l'extraction du métal contenu dans des minerais) avec éventuellement récupération de la chaleur pour des usages basse température. Dans l'état actuel de la technologie nucléaire, le problème est de savoir comment traiter l'électricité d'origine nucléaire dans un bilan énergétique.

94. Trois approches sont possibles. La plus simple est de comptabiliser la production d'électricité telle quelle et de ne pas tenir compte des entrées énergétiques en amont. La plus répandue consiste à exprimer l'électricité

22/ C'est la situation courante dans les pays développés. En Inde, par contraste, les statistiques de l'énergie sont exprimées depuis dix ans ou plus sur la base d'une unité de mesure (la tonne de remplacement charbon) qui traduit l'énergie utile que l'on peut, dans la pratique, tirer de chaque source d'énergie. Voir Chatterjee (1971).

23/ Voir P. Ramain, "Equivalences entre électricité et combustibles - éléments pour une discussion critique", Revue de l'énergie, 1976. M. Ramain développe son argumentation dans son livre (1977).

produite 24/ en termes de contenu énergétique des combustibles fossiles qu'il aurait fallu pour produire la même quantité d'énergie dans une centrale classique. La troisième solution serait de chiffrer la quantité de chaleur dégagée par les réacteurs d'une centrale nucléaire pendant la même période.

95. La deuxième méthode est basée sur la notion d'un modèle de substitution partielle 25/, qui postule un choix d'investissement entre une centrale classique et une centrale nucléaire, et une décision qui dépendrait essentiellement de la quantité de combustible fossile qui serait économisée dans le dernier cas. C'est ainsi que l'économiste formule le problème en termes de coût d'opportunité d'une centrale nucléaire.

96. Cette approche a beaucoup d'avantages dans le contexte limité d'une décision d'investissement à prendre, surtout si l'on considère le déclin prévu des disponibilités de pétrole vers l'an 2000. Une fois prise cependant, et plus cette décision s'éloigne dans le passé, moins il pourrait sembler justifié de retenir par la suite un coût d'opportunité historique. Que cette approche soit retenue ou non après la décision, plusieurs questions n'en demeurent pas moins sans réponse : quelles centrales fonctionnant aux combustibles fossiles devraient servir de base pour définir le coefficient de rendement à appliquer à la quantité prévue d'électricité d'origine nucléaire? Et ces centrale devraient-elles être :

Toutes les centrales thermiques classiques existantes?

Les centrales de base existantes? 26/

Les nouvelles centrales classiques qui seraient construites si la centrale nucléaire ne l'est pas?

La ou les centrales existantes qui seront les prochaines à être définitivement fermées lorsque la centrale nucléaire sera construite (et que celle-ci viendra, en somme, remplacer)?

Le dernier modèle de centrale classique à combustible fossile?

Dans la pratique, les deux principes appliqués sont d'utiliser soit (pour des raisons de simplicité) le rendement thermique moyen de toutes les centrales classiques existantes (c'est ce que fait l'OSCE), soit celui des centrales classiques construites la même année que chaque centrale nucléaire (c'est ce que fait le Royaume-Uni).

24/ Il y a au moins trois niveaux différents de mesure de la production d'électricité : production moins autoconsommation des centrales = quantités disponibles (ou livrées) moins quantités utilisées pour le pompage = livraisons nettes.

25/ Voir OCDE (1977).

26/ Une fois mise en route, la chaleur dégagée par un réacteur ne peut être arrêtée complètement puis relancée avec la même souplesse que dans une centrale classique. C'est pourquoi les centrales nucléaires sont utilisées en continu pour couvrir la charge de base.

97. Quelle que soit la base retenue, elle illustre le caractère subjectif de l'hypothèse qui définit l'entrée de combustible primaire en rapport avec une production objectivement mesurable d'énergie. Il serait souhaitable d'avoir un concept plus objectif de l'entrée de combustible primaire pour éviter, entre autres, ce caractère arbitraire.

98. Les trois raisons qui incitent à rechercher un traitement plus rigoureux de l'entrée directe d'énergie affectée à l'électricité d'origine nucléaire sont la nécessité de faire apparaître la dépendance d'un pays à l'égard de sources énergétiques importées, la nécessité de tenir compte de la probabilité future d'une utilisation industrielle directe de la chaleur nucléaire et l'anomalie que constitue le fait de traiter une source d'énergie primaire nettement définissable (les matières fissiles) tout à fait différemment des autres sources d'énergie primaire à peu près semblables (les combustibles fossiles). Quel que soit le cadre comptable adopté pour le bilan énergétique, il doit être suffisamment solide pour pouvoir accueillir, sans renier aucun principe important, l'énergie nucléaire et les autres formes nouvelles ou renouvelables d'énergie sur une base cohérente. Nous reviendrons plus tard sur la question de l'adaptation détaillée des bilans existants aux stocks et aux flux de combustibles nucléaires. Une telle adaptation est d'autant plus nécessaire que se développent les échanges d'éléments de combustibles nucléaires et de combustible irradié.

99. Sans poursuivre à ce stade le détail de la comptabilisation des combustibles nucléaires, il est clair que l'énergie primaire entrant dans l'électricité d'origine nucléaire est la chaleur dégagée par le combustible nucléaire dans le cœur du réacteur. Cette chaleur nucléaire sert à alimenter les générateurs turbo-électriques et pourra peut-être, dans une dizaine d'années, servir à des processus industriels à haute température. La quantité de chaleur dégagée peut être directement mesurable ou on peut la calculer à partir des rendements thermiques supposés ou connus des centrales nucléaires. Les Etats-Unis et la Suède utilisent cette dernière méthode.

RECOMMANDATION :

- 14) La quantité d'énergie primaire entrant dans l'électricité d'origine nucléaire devrait en principe être définie comme étant la chaleur dégagée par les réacteurs pendant la période comptable. Dans la pratique, il faudra peut-être avoir recours à une valeur de remplacement, à savoir le chiffre obtenu en divisant la production d'électricité d'origine nucléaire par le rendement moyen de toutes les centrales nucléaires.

2. Energie hydro-mécanique

100. L'énergie hydro-mécanique 27/ présente une importance considérable dans nombre de pays développés 28/ et a une grande importance potentielle dans beaucoup

27/ Cette appellation générale utile est employée par Guyol (1977).

28/ L'Autriche, le Canada, l'Islande, la Norvège, le Portugal, l'Espagne, la Suède, la Suisse, la Nouvelle-Zélande, la Turquie et les Etats-Unis sont classés "pays hydro-énergétiques" par l'OCDE.

de pays en développement. En raison des distances qui sont souvent très grandes entre les sites favorables aux installations hydrauliques et les marchés pour les produits des industries qui pourraient utiliser cette énergie directement, celle-ci est en général transformée en électricité par des turbines, et non reliée directement à des transmissions actionnant des machines. (Dans les pays moins développés, des petites installations utilisant l'énergie hydraulique pourraient être implantées dans divers sites ne convenant pas à la construction de grandes centrales électriques).

101. Ainsi l'énergie hydraulique et l'énergie nucléaire se partagent jusqu'à présent la caractéristique d'être presque entièrement transformées en électricité avant d'être utilisées comme sources d'énergie. Il en résulte que l'hydro-électricité a été traitée sur le plan statistique de la même manière que l'électricité d'origine nucléaire dans la plupart des bilans énergétiques, à savoir que l'on a comptabilisé soit le pouvoir calorifique de l'électricité produite, soit la quantité de combustible fossile qu'il aurait fallu utiliser pour produire la même quantité d'électricité dans une centrale thermique classique. Certains pays où cette forme d'énergie est abondante imputent à l'hydro-électricité une entrée théorique d'énergie primaire calculée sur la base du rendement mécanique des turbines.

102. Comme pour l'électricité d'origine nucléaire, le modèle de substitution partielle peut se défendre en matière d'hydro-électricité dans le contexte de décisions politiques qui impliquent un choix réel entre une centrale actionnée par combustible fossile, par combustible fissile ou par énergie hydro-mécanique. Mais, pareillement, ce traitement n'est d'un intérêt très contestable en dehors des limites de ces problèmes. Si l'on retient cette approche, la question se pose encore une fois de savoir quelle catégorie de centrale à combustible fossile il faut considérer comme alternative à une centrale hydraulique. Dans le cas de l'hydraulique, à la liste des solutions de rechange indiquées au paragraphe 96 il faut ajouter les centrales de pointe (qui pourraient être des centrales équipées de turbines à gaz) puisque, contrairement aux centrales nucléaires, les centrales hydrauliques peuvent facilement être arrêtées et remises en route.

103. Dans les pays où l'énergie hydraulique est abondante, l'option nucléaire peut ne pas être très réelle, et même si elle l'est, on peut soutenir qu'il est préférable d'exprimer l'équivalent de combustible primaire de l'électricité nucléaire en termes de coût d'opportunité plutôt qu'en termes de combustible fossile. Dans au moins trois de ces pays (Canada, Norvège et Nouvelle-Zélande), on croit fermement que l'alternative à l'hydro-électricité bon marché ne réside pas dans des centrales à combustible fossile ou fissile, mais dans la combustion directe de combustibles solides ou liquides pour la production de la plus grande partie de la chaleur destinée au chauffage des immeubles et d'une partie de la chaleur de procédé. Il y a une autre objection à l'application de la notion d'entrée de combustible primaire à l'hydro-électricité : en effet, une telle sortie théorique impute à l'hydro-électricité une certaine quantité de chaleur résiduelle récupérable qui n'existe pas. Cette représentation erronée est inacceptable dans le contexte de la conservation de l'énergie.

104. A proprement parler, l'entrée d'énergie primaire à l'hydro-électricité est l'énergie cinétique captée dans la chute d'eau. Toutefois, l'énergie hydraulique produite commercialement se présente toujours sous la forme d'électricité et il n'est pas utile, dans le contexte d'un bilan énergétique, de poursuivre le purisme

conceptuel au point de quantifier un flux d'énergie qui n'est pas directement exploité commercialement à d'autres fins que la production d'électricité.

105. Cependant, ne comptabiliser l'hydro-électricité dans un bilan que sous forme d'électricité risque de compliquer l'interprétation des comparaisons d'énergie primaire totale entre pays ou dans le temps, et il est coutumier dans ces comparaisons d'exprimer l'entrée primaire théorique à l'hydro-électricité en termes d'équivalent de combustible fossile. Il importe cependant de reconnaître que cette procédure est un artifice statistique destiné à éliminer une cause de variabilité, et non un ajustement réaliste ramenant à une base de technologie uniforme.

RECOMMANDATION :

- 15) L'entrée d'énergie primaire à l'hydro-électricité devrait être définie comme étant la valeur énergétique de l'électricité elle-même. L'équivalent énergétique en combustible fossile devrait être présenté comme statistique supplémentaire calculée, pour des raisons de simplicité, sur la base soit du rendement thermique moyen de toutes les centrales classiques existant dans le pays concerné, soit d'un rendement standard de 35 p. 100 (par exemple).

D. Entrée d'énergie primaire dans les sources d'énergie renouvelables

106. L'expression "sources d'énergie renouvelables" est une étiquette commode pour désigner l'énergie que l'on peut tirer de la biomasse, des différences de température dues au rayonnement solaire qui produisent les courants océaniques profonds ou que l'on trouve dans les roches souterraines, des différences de pression atmosphérique qui produisent les vents et des différences naturelles ou artificiellement créées dans le niveau de masses d'eau.

107. La biomasse comprend la végétation terrestre et aquatique et ses résidus (par exemple, bois de chauffage, brindilles, feuilles mortes, coques de fruits sauvages) ainsi que les plantes cultivées et leurs résidus (par exemple, paille de céréales et enveloppes de graines, tiges de jute, bagasse). Ce terme recouvre également les produits animaux et leurs résidus (par exemple, graisse, bouses) mais ne s'applique pas au travail animal ou humain fourni dans l'agriculture ou au cours d'autres activités de production. (L'énergie animale et humaine sera examinée dans la section suivante.) On peut considérer que la biomasse est une forme d'énergie solaire transformée.

108. Toute la biomasse n'est pas forcément renouvelable. L'exploitation des forêts pour le bois de feu peut parfois être assimilée à une véritable activité "extractive" qui cause trop souvent des dommages irréparables entraînant même la destruction complète du couvert forestier. Par contre, le bois de feu peut aussi être tiré de parcelles boisées bien gérées qui ont été plantées, expressément à cette fin, d'essences à croissance rapide. L'énergie géothermique, elle aussi, peut être renouvelable ou non selon la profondeur que l'on prend en considération pour définir la source de chaleur, selon la précision avec laquelle on connaît les limites de la masse de roches chaudes, et selon que la quantité de chaleur extraite d'une masse rocheuse relativement isolée est supérieure ou inférieure à celle

qu'elle peut recevoir à partir d'une source de chaleur géothermique plus importante à laquelle elle est reliée.

109. Le rayonnement solaire peut être utilisé de diverses façons. Comme nous l'avons déjà dit, il peut être transformé en matière organique par des cultures étendues de végétation terrestre ou aquatique. Ces matières peuvent ensuite être traitées par fermentation ou distillation pour produire de l'alcool, par digestion pour donner du gaz combustible, ou encore elles peuvent être séchées pour servir à la combustion directe. Le rayonnement solaire peut aussi être transformé directement en électricité au moyen de cellules solaires ou être capté sous forme de chaleur par des panneaux et ensuite emmagasiné et utilisé sous forme d'eau chaude. Avec un équipement suffisamment perfectionné on peut concentrer optiquement les rayons du soleil et produire des températures assez élevées pour faire évaporer certains corps tels que le fréon, ou transformer l'eau en vapeur actionnant des machines thermiques, ou encore, à des températures encore plus élevées, procéder directement à des opérations industrielles telles que l'extraction des métaux contenus dans les minerais.

110. Des différences de pression dans des masses d'eau ou d'air peuvent être exploitées grâce à un équipement approprié capable d'intercepter l'énergie contenue dans les chutes d'eau, les rivières et les marées ou réagir aux mouvements des vagues et des vents. L'énergie mécanique ainsi captée peut être transformée en électricité ou, d'une manière plus simple, utilisée pour chauffer un milieu approprié par un effet de compression. A la différence de l'électricité, cette chaleur peut être assez facilement emmagasinée.

111. Par analogie avec le traitement théorique que l'on pourrait préconiser (mais qui n'est pas en fait recommandé) pour l'énergie hydro-mécanique, l'entrée de combustible primaire attribuée aux nouveaux systèmes mécaniques pourrait être l'énergie captée par ceux-ci. On pourrait soutenir que cette base de calcul ne ferait pas apparaître le rendement du dispositif par rapport à la quantité totale d'énergie primaire à laquelle il a théoriquement accès : le frottement et d'autres défauts inévitables (ou parfois évitables) se traduisent par la perte d'une partie de l'énergie cinétique contenue dans les courants d'eau ou d'air qui viennent frapper un système collecteur.

112. En étendant cette notion aux collecteurs solaires, on pourrait soutenir que l'énergie théoriquement disponible est contenue dans les radiations qui pénètrent dans l'atmosphère terrestre, et que l'homme pourrait réduire au moins la pollution dont il est l'auteur, et peut-être aller plus loin et disperser une partie au moins des nuages naturels afin d'augmenter la proportion d'énergie qui atteint la surface du globe. Un tel raisonnement serait toutefois assez pédant et peu utile. Il semblerait suffisant de considérer la chaleur solaire récupérée comme étant une mesure de l'énergie primaire tirée du rayonnement du soleil.

113. Dans le cas de matières se prêtant à la fermentation, la digestion et la combustion, et de l'électricité produite directement à partir du rayonnement solaire, le contenu énergétique de la matière, ou de l'électricité produite, semblerait une mesure suffisante de l'entrée d'énergie primaire correspondant à ces méthodes de captage de l'énergie solaire.

114. Toutes ces propositions doivent bien sûr être considérées en fonction des recommandations faites au chapitre III concernant la démarcation entre les formes commerciales et non commerciales d'énergie.

RECOMMANDATION :

- 16) L'énergie primaire correspondant aux sources dites renouvelables d'énergie devrait être définie comme suit et appliquée à la production du premier stade d'un processus de captage d'énergie qui fournit une quantité mesurable de chaleur, de courant électrique ou d'énergie mécanique :

Solaire	Biomasse	Production de chaleur du système de fermentation, de distillation ou de combustion
	Cellule photo-voltaïque	Production d'énergie électrique
	Autre système collecteur	Production de chaleur du système
Eau et air		Production mécanique, thermique ou électrique du système
Géothermique et thermique marin		Production de chaleur de l'installation de captage

Les économistes et les ingénieurs qui travaillent sur les coefficients de rendement de ces techniques auront peut-être besoin, en outre, d'évaluer l'énergie potentiellement récupérable qui pourrait être captée. Dans le cas des sources primaires fondamentales d'énergie renouvelable (bois de feu et matériaux analogues, résidus végétaux et animaux), la quantité d'énergie primaire en cause est le contenu énergétique estimé de chaque source d'énergie.

115. Avant d'en terminer avec cette partie de la discussion, il convient de noter qu'il existe d'autres dichotomies en matière de classification en dehors de celles que nous avons déjà examinées (à savoir sources commerciales/non commerciales et renouvelables/non renouvelables). L'une de celles-ci est l'opposition classique/non classique où le terme "classique" recouvre les combustibles fossiles, les grandes installations hydrauliques et géothermiques, et (sous l'angle d'un pays développé) le terme "non classique" s'applique à toutes les sources renouvelables mentionnées ci-dessus ainsi que (du moins en principe) aux sources d'énergie d'origine humaine et animale. (La place de l'énergie nucléaire n'est plus évidente : elle était non classique jusqu'à ce que son usage soit assez répandu. Certains pays pourraient maintenant la considérer comme étant classique, du moins dans leur propre contexte. En outre, du point de vue d'un pays en développement, le bois de feu, le charbon de bois et les déchets agricoles ne peuvent guère être considérés comme non classiques). L'autre principale dichotomie qui apparaît parfois dans le groupe des énergies renouvelables distingue entre les sources traditionnelles et non traditionnelles. Les énergies renouvelables traditionnelles sont la biomasse et (en principe) les sources animales et humaines, et les énergies non traditionnelles (parfois appelées aussi

nouvelles) sont le biogaz, le solaire, le vent, les marées, le mini-hydraulique, le thermique marin et le carburant alcool. Une classification à quatre volets qui recouvre tous les types de combustibles serait : commercial/traditionnel/non classique/d'origine animale et humaine. (Ce schéma est explicité à l'annexe VII. Il faudra revoir toute classification de ce genre dans cinq à dix ans, car les appréciations sur le "non classique" auront peut-être changé d'ici là.)

E. Energie animale et humaine

116. Dans certaines régions du monde (par exemple en Asie du Sud), les charrettes à boeufs et autres véhicules à traction animale assurent une forte proportion des transports terrestres, non seulement pour les matériaux et produits agricoles mais aussi pour les passagers et les marchandises générales. Dans les régions montagneuses (au Népal, par exemple), ce sont les hommes, les femmes et les enfants qui portent - sur la tête, sur les épaules ou sur le dos - la plupart des marchandises. Dans certaines régions de plaines (au Bangladesh, par exemple), c'est au moyen de "cyclo-pousses" à pédales et de charrettes à bras que s'effectue, même en zone urbaine, la majeure partie des transports de passagers et de marchandises.

117. Dans d'autres régions aussi (par exemple en Afrique), ce sont les femmes et les animaux qui vont chercher l'eau et qui portent les produits au marché. Dans tous les pays en développement du monde, les travaux de la terre sont effectués par les hommes et les femmes, avec leur seule force musculaire ou à l'aide de buffles ou d'autres animaux. Il s'ensuit que tout compte global des disponibilités d'énergie et de leur utilisation dans la plupart des pays en développement aura de graves lacunes s'il ne comprend pas une estimation de l'apport que fournit à l'activité économique l'énergie humaine et animale.

118. Avant d'aller plus loin, il nous faut examiner un problème conceptuel. La quantité de force musculaire humaine qui entre, sous forme d'apport énergétique, dans l'activité économique représente, c'est vrai, une demande potentielle de combustibles fossiles et/ou d'électricité, mais en même temps cette force musculaire est la manifestation physique du travail en tant que facteur de production. En termes de comptabilité nationale, le travail est quantifié comme une des parts de revenu de la valeur ajoutée (les autres parts étant le loyer, les profits et l'intérêt). Dans ce contexte particulier, l'apport d'énergie humaine - que ce soit sous forme de force musculaire ou de puissance intellectuelle - ne peut être traité en même temps (ou en substitution) comme une entrée énergétique, sauf si l'on considère les chiffres inchangés comme représentant déjà la valeur monétaire de l'énergie humaine.

119. Il n'en est pas moins vrai que la force musculaire humaine est une source d'énergie importante, surtout dans les pays en développement, et ne devrait pas être ignorée, du moins lorsqu'on évalue la fourchette probable dans laquelle évoluera à l'avenir la demande d'un pays en développement pour des sources d'énergie fossiles et autres. Il est également édifiant (et salutaire) de montrer le degré estimé de dépendance d'un pays à l'égard de cette forme particulière d'énergie à un moment déterminé. La force musculaire animale ne pose pas le même genre de problème conceptuel, et le montant estimatif de cette énergie devrait également être compris dans les comptes énergétiques d'un pays en développement.

120. En principe, la quantité d'énergie intellectuelle absorbée par les activités économiques couvertes par les comptes nationaux devrait aussi être incluse, au moins dans la mesure où cette énergie (et une partie de l'effort purement physique qui y est associé) peut être remplacée par des appareils électroniques qui consomment de l'électricité (et influent donc sur la demande d'énergie primaire). Dans la pratique cependant, cet élément particulier de la demande énergétique ne semble guère justifier un effort de quantification séparée.

121. Pour chiffrer dans la réalité la quantité de force musculaire humaine et animale absorbée par une tâche donnée, on pourrait se baser sur le nombre estimé d'heures-cheval-vapeur (exprimées en joules) de travail effectué pour porter, tirer ou pousser diverses charges sur diverses distances et dans diverses conditions de pente et de terrain pendant un an. Si les mesures nécessaires pour appliquer cette formule peuvent être effectuées de manière satisfaisante, nous suggérons alors qu'une base d'estimation plus utile serait d'exprimer toutes les tâches à effectuer en termes de quantités estimées de combustible fossile qui seraient nécessaires pour assurer ce même travail avec des moyens mécanisés. Dans l'élaboration de projections, il faudrait bien sûr faire des hypothèses réalistes concernant les changements probables de nature en même temps que de volume d'au moins certaines des diverses tâches (par exemple, la probabilité que l'adduction d'eau par canalisations éliminera le besoin de faire des voyages par routes et pistes pour transporter l'eau). L'équivalent de combustible fossile des utilisations actuelles et futures d'énergie humaine et animale est la donnée statistique qui aurait le plus grand intérêt pratique pour l'élaboration d'une politique énergétique.

F. Entrées de combustibles primaires dans le commerce

122. Deux sortes de problèmes se posent en ce qui concerne le commerce extérieur. L'un a trait au commerce visible de sources énergétiques (y compris le commerce de produits non énergétiques des industries de l'énergie). L'autre touche à la question plus large du commerce invisible ou de l'énergie "séquestrée", à savoir de l'énergie incorporée dans des produits qui, de toute évidence, sont non énergétiques.

1. Commerce visible d'énergie

123. La convention généralement suivie dans les bilans énergétiques est d'inscrire les importations et exportations de sources d'énergie dérivées sous la forme qu'elles ont réellement dans le commerce. Cette procédure est claire et sans ambiguïté, mais on pourrait soutenir que cela revient à appliquer un traitement différent aux exportations, d'une part, et à la consommation intérieure, de l'autre. Dans une partie précédente du présent chapitre, il a été admis que l'entrée d'énergie primaire dans la production d'électricité peut constituer une donnée statistique utile du fait qu'elle indique les ressources d'énergie primaire qui sont nécessaires pour satisfaire une demande donnée d'électricité. Cette demande peut concerner le marché intérieur ou le marché d'exportation. La quantité de combustible primaire nécessaire est indépendante du marché qui consomme en fait l'électricité. On pourrait donc avancer que si la demande intérieure des usagers finals peut s'exprimer utilement en termes d'entrée de combustible primaire, il peut en être de même pour la demande d'exportation.

124. Si l'on accepte ce principe, la question se pose alors de savoir si les importations d'électricité ne devraient pas aussi, pour des raisons de cohérence, être exprimées en termes d'entrée de combustible primaire. Tout compte fait, l'électricité importée met à la disposition du pays importateur l'énergie de qualité supérieure qu'il aurait dû, sans cela, produire pour lui-même à partir d'une quantité trois fois supérieure environ d'énergie primaire 29/. De manière analogue, on pourrait soutenir que si les exportations d'électricité sont exprimées sur la base de l'entrée d'énergie primaire par le pays exportateur, alors, pour des raisons de cohérence internationale, le pays importateur devrait comptabiliser ses importations d'électricité sur la même base. D'un autre côté, le recours à l'entrée d'énergie primaire pour l'électricité importée aurait pour résultat d'imputer au pays importateur une certaine quantité de chaleur résiduelle récupérable, et le recours à l'entrée d'énergie primaire pour l'électricité exportée aurait pour effet de réduire la quantité de chaleur résiduelle théoriquement récupérable par le pays exportateur.

125. L'application du même principe au commerce extérieur de produits pétroliers soulève une question plus difficile et, au niveau des concepts, elle ne peut être écartée par l'argument qui a été invoqué plus tôt dans ce manuel pour justifier la non-application du concept de l'entrée de combustible primaire aux livraisons de produits pétroliers (à savoir que la perte totale d'énergie dans l'opération de raffinage est très faible comparée à la production de raffinage, et beaucoup plus faible encore comparée aux pertes d'environ 65 p. 100 dans les centrales électriques). La difficulté provient du fait que dans le cas de la consommation intérieure totale on retrouvera probablement toute la gamme des produits pétroliers dans les mêmes proportions qu'à la sortie de la raffinerie, alors que les importations se composeront vraisemblablement d'une gamme de produits limitée et différente.

126. Il n'est donc pas facile de lier les deux flux commerciaux à la quantité de combustible primaire (en l'occurrence, pétrole brut) qui est nécessaire pour les exportations ou pour la production des produits importés si, au lieu de les importer, le pays les produisait. On ne saurait se contenter d'imputer à chaque produit la quantité totale de pétrole brut qui serait nécessaire à sa fabrication. car pour un produit donné (qui ne représente probablement qu'environ 10 p. 100 du brut total) la quantité de brut importé serait dix fois supérieure à celle du produit en question. En appliquant cette formule à chaque produit (dont chacun représenterait une proportion assez différente du total des produits obtenus à partir du brut) on serait amené à compter plusieurs fois le même brut originel dont ces produits sont issus, et même alors tous les produits qui pourraient normalement être dérivés de ce brut ne se rencontreraient pas dans les importations ou les exportations du pays en question et les diverses quantités dérivées de brut d'origine ne coïncideraient probablement pas en volume 30/.

29/ "L'entrée d'énergie primaire" ou "l'équivalent de combustible fossile" peuvent comprendre les sources d'énergie secondaires (fuel, par exemple) utilisées par les industries de transformation.

30/ On a déjà signalé la convention adoptée par l'AIE, qui consiste à imputer à chaque produit pétrolier le taux moyen d'utilisation de combustible et de pertes en raffinerie. Tous les produits sont multipliés par 1,065 pour obtenir l'équivalent de pétrole brut.

127. On rencontrerait le même genre de difficulté avec les importations de coke ou d'autres combustibles solides ainsi qu'avec les produits non énergétiques tirés d'autres sources d'énergie primaire. La conclusion de toutes ces considérations est que la manière la plus simple, tout en étant satisfaisante, d'enregistrer les flux commerciaux est de les comptabiliser en termes de contenu énergétique des sources d'énergie ou de l'électricité qui passent réellement les frontières.

RECOMMANDATION :

- 17) Les importations et exportations de sources d'énergie secondaires devraient être comptabilisées dans un bilan énergétique global en termes du contenu énergétique des combustibles (ou de l'électricité) qui traversent réellement les frontières. Si l'on a besoin d'une analyse plus détaillée de l'entrée d'énergie primaire dans le commerce extérieur, cette analyse peut être faite, mais elle devrait constituer un complément au bilan global et non en faire partie. Le commerce des produits non énergétiques dérivés de sources d'énergie primaires (par exemple, lubrifiants, noir de charbon, électrodes) devrait figurer dans le bilan énergétique principal.

2. Commerce invisible d'énergie

128. Une mesure statistique de la dépendance (ou de l'indépendance) d'un pays à l'égard de l'étranger en matière d'énergie est le rapport entre ses importations énergétiques et son utilisation intérieure d'énergie. Ce rapport peut être défini de plusieurs façons selon la manière dont on traite les mouvements de stocks, les exportations, les soutes et les produits non énergétiques. Le point sur lequel il faut insister à ce stade de la discussion c'est que tout ratio qui est défini uniquement en termes de stocks et de flux de sources d'énergie visibles fournira un tableau sensiblement différent de celui que l'on obtiendrait en tenant également compte du commerce invisible de l'énergie, c'est-à-dire de l'énergie "séquestrée" qui entre dans tous les produits qui sont importés ou exportés.

129. Pour illustrer cette affirmation, supposons un pays qui importe de grandes quantités de minerais métalliques et qui exporte de l'aluminium et d'autres produits métalliques. Ce pays aura besoin d'importantes quantités de chaleur à haute température et, à moins qu'il ne possède de l'hydro-électricité en abondance, il lui faudra soit produire, soit importer, de grandes quantités de sources énergétiques primaires ou secondaires. Si ce même pays remplace maintenant ses importations de minerais par des importations de produits métallurgiques semi-finis tout en conservant inchangés le volume et la composition de ses exportations, il pourra réduire considérablement sa consommation apparente d'énergie à partir de sources nationales ou étrangères. Cette baisse du taux de ses importations visibles par rapport à son utilisation totale d'énergie masque la persistance de la dépendance énergétique du pays puisque ses importations comprennent maintenant de l'énergie "incorporée" dans les produits métalliques semi-finis.

130. Pour certaines évaluations détaillées de l'approvisionnement et de l'utilisation énergétiques globales d'un pays, il faut tenir compte aussi bien du commerce invisible que du commerce visible d'énergie, mais une telle analyse dépasse le cadre du bilan énergétique global tel que nous l'envisageons dans le présent manuel 31/.

31/ Voir Nebbia (1975) et Longva (1977).

RECOMMANDATION :

- 18) Le commerce international de l'énergie "incorporée" mérite d'être pris en considération dans une évaluation détaillée des problèmes énergétiques. Néanmoins, il faut commencer par construire un bilan énergétique global sur la base, entre autres flux, du seul commerce visible de sources d'énergie.

G. Pouvoir calorifique supérieur et inférieur

131. L'énergie emmagasinée dans les combustibles fossiles peut être mesurée à deux niveaux. Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) mesure la quantité totale de chaleur qui est produite par la combustion, mais une partie de cette chaleur reste "enfermée" à l'état latent dans l'évaporation (ou la condensation, selon que l'on considère l'énergie initialement absorbée ou l'énergie restituée plus tard) de toute eau présente dans le combustible avant la combustion, ensemble avec l'eau produite par le processus de combustion. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) exclut cette chaleur latente et constitue la partie de la chaleur dégagée par le processus de combustion qui peut être directement captée et utilisée. La différence entre le PCS et le PCI est de l'ordre de 2,5 p. 100 pour l'anthracite, entre 3 et 7 p. 100 pour les charbons bitumineux et sous-bitumineux, de 9 à 10 p. 100 pour le lignite, entre 7 et 9 p. 100 pour les combustibles liquides et de l'ordre de 10 p. 100 pour les gaz.

132. Une approche rigoureusement thermodynamique de la comptabilité énergétique exigerait l'évaluation du PCS de tous les combustibles jusqu'au stade de l'énergie livrée aux utilisateurs finals 32/. Dans une optique de conservation, il a déjà été recommandé que la quantité de chaleur résiduelle rejetée dans l'atmosphère par les centrales et autres dispositifs de transformation de l'énergie soit clairement indiquée dans un bilan énergétique 33/. Il s'ensuit logiquement qu'en principe le PCS devrait être utilisé comme base de calcul du contenu énergétique des combustibles fossiles 34/.

133. Dans la pratique, cependant, le responsable énergétique d'une usine ne peut être tenu responsable d'une perte d'énergie qui lui échappe. Bien qu'il soit obligé de prendre livraison du PCS pour pouvoir accéder au PCI (un peu comme on ne peut en général obtenir des oeufs frais sans coquille, bien que l'on jette les coquilles), il ne peut être tenu responsable que pour le bon - ou le mauvais - emploi du PCI. Dans l'état actuel de la technologie, la chaleur latente de la condensation de la vapeur d'eau ne peut être récupérée dans les gaz d'échappement : en effet, si ces gaz étaient refroidis au-dessous d'une certaine température,

32/ La FIIHE (1974) recommande cette approche. Seul le PCS peut être mesuré directement.

33/ Voir aussi note de bas de page 21.

34/ On pourrait aussi soutenir que le PCS constitue la seule base appropriée pour évaluer le contenu énergétique des matières entrant dans des processus pétrochimiques qui n'entraînent pas la production de vapeur d'eau avec perte consécutive de la chaleur latente de condensation dans les gaz d'échappement.

ils ne s'échapperaient plus de la cheminée d'une chaudière et l'affaiblissement du courant d'air entraînerait soit une diminution du rendement de la chaudière, soit l'emploi d'une source d'énergie pour actionner un ventilateur servant à chasser les gaz de la cheminée. La condensation de l'eau cause des problèmes de corrosion avec SO_2 et d'autres éléments résiduels et exige l'emploi d'acier inoxydable ou autres matériaux coûteux résistant à la corrosion. Une autre considération pratique dont il faut tenir compte est que la teneur "naturelle" en humidité des combustibles solides dépend en grande partie de la pluie tombée pendant le transport et le stockage, de sorte que le PCI constitue une meilleure indication de l'énergie que l'on peut effectivement obtenir à partir des combustibles solides lorsque l'on veut faire des comparaisons dans le temps et entre pays (à moins que la teneur en humidité des combustibles solides ne soit réduite à un niveau standard avant la mesure du PCS).

134. Une approche plus pragmatique partirait de la constatation que l'écart entre le PCS et le PCI est relativement faible dans les données concernant le passé et le présent, et très faible comparé aux erreurs de prévision dans l'évaluation de l'avenir. Cet écart ne représente en outre qu'une partie minime de la quantité totale de chaleur résiduelle rejetée dans l'atmosphère, dont, pour des raisons pratiques, seule une partie peut être récupérée. Il serait, en principe, possible de satisfaire les besoins des thermo-dynamiciens et des statisticiens de l'environnement ainsi que ceux des statisticiens de l'énergie et d'autres analystes en ouvrant dans le bilan énergétique une ligne spéciale destinée à montrer cette cause particulière de pertes en cours de transformation. Le bilan pourrait alors indiquer les flux, évalués en PCS pour les approvisionnements de combustibles fossiles jusqu'au stade des entrées dans les industries de transformation compris, et évalués en PCI pour les livraisons de toutes les sources d'énergie aux utilisateurs finals, la différence entre le PCS et le PCI pour les combustibles fossiles étant consignée dans la nouvelle ligne de la rubrique "pertes". Un tel système représenterait toutefois une complication hors de proportion avec le gain d'information utile qu'elle apporterait à un bilan énergétique; de plus, le degré de précision avec lequel sont mesurés et attribués les pouvoirs calorifiques relatifs à chaque source d'énergie ne justifie sans doute pas un tel affinement dans la présentation.

135. L'habitude qu'ont certains pays de mesurer la valeur énergétique des gaz en PCS n'implique pas forcément qu'il faille comptabiliser les gaz sur la même base dans un bilan énergétique global. L'OSCE (Luxembourg) publie depuis longtemps des tableaux concernant les gaz en PCS, tout en traitant les gaz en termes de PCI dans ses bilans énergétiques globaux. Tout bien pesé, cette dernière formule paraît constituer une base plus satisfaisante pour agréger le contenu énergétique potentiellement utilisable de toutes les sources d'énergie prises dans leur ensemble.

RECOMMANDATION :

- 19) Lorsque l'on exprime le contenu énergétique de sources d'énergie fossiles primaires et secondaires en termes d'une unité de compte énergétique commune, il convient d'utiliser le pouvoir calorifique inférieur (PCI) de préférence au pouvoir calorifique supérieur (PCS). S'il arrive un jour que la récupération d'une partie significative de la différence entre le PCS et le PCI dans les effluents gazeux devienne une possibilité pratique et paraisse devoir entrer dans la réalité, il faudra peut-être reconsidérer cette base recommandée.

H. Unités de compte

1. Généralités

136. Les quatre principales sources d'énergie - charbon, pétrole, gaz et électricité - fournissent un très bon exemple du problème qui revient constamment en statistique, à savoir comment additionner "un âne et un boeuf". Lorsque l'on prend en considération les produits dérivés du charbon (coke, gaz de cokeries, gaz de hauts fourneaux, agglomérés, etc.), les différents types de gaz (gaz naturel et gaz d'usine pour ne mentionner que les deux principaux types), les divers produits pétroliers dont les caractéristiques sont multiples et les différentes façons de produire l'électricité (hydraulique, nucléaire ou thermique classique), on se rend mieux compte de la complexité du problème d'addition. Que dire alors si l'on y ajoute les sources d'énergie renouvelables (vent, vagues, roches chaudes et solaire)!

137. Les unités d'origine spécifiques qui servent à mesurer les combustibles et l'électricité (tonnes pour le charbon; barils ou barils/jour pour le pétrole; kilowatts/heure pour l'électricité; thermies, calories, joules, mètres cubes ou pieds cubes pour le gaz) sont extrêmement disparates. Néanmoins, n'importe laquelle d'entre elles pourrait servir de base pour comptabiliser les autres combustibles si on avait des facteurs de conversion adéquats. Ces facteurs pourraient être dérivés des prix, ou les prix pourraient être utilisés directement pour exprimer les unités spécifiques en termes monétaires. C'est ce que l'on fait lorsque l'on construit les lignes et les colonnes des tableaux entrées/sorties. Toutefois, comme on l'a déjà fait remarquer, les prix sont un attribut plutôt instable des sources d'énergie, à la fois dans le temps et entre différentes catégories d'utilisation d'une source d'énergie donnée. Une base plus stable, et à bien des égards plus utile, est l'énergie dérivable d'une unité naturelle de chaque source d'énergie. Ceci soulève le double problème de l'unité commune à choisir et de la procédure à adopter pour exprimer les unités d'un combustible donné en termes d'unité commune acceptée.

138. Avant de se pencher sur ces deux questions, il convient de noter que convertir un combustible ou une source dans son équivalent énergétique en termes d'un autre combustible ou d'une autre source ne signifie pas nécessairement que x unités de la "source d'énergie B" peuvent dans la réalité se substituer à l'unité de la "source d'énergie A" ^{35/}. Ainsi, une tonne de produits pétroliers peut contenir la même quantité d'énergie emmagasinée que 1,7 tonne de charbon, mais on ne pourrait pas remplacer directement une tonne d'essence-moteur ou de gasoil par 1,7 tonne de charbon. Si nous cherchons à savoir quelles sont les quantités d'un combustible donné qu'il faudrait pour remplacer les quantités réellement existantes (ou prévues) d'un autre combustible, il nous faut tenir compte des usages auxquels servent actuellement les divers combustibles, de l'équipement qui transforme tel ou tel combustible en chaleur, lumière ou force motrice et des possibilités - qui peuvent être limitées, voire inexistantes - d'utiliser cet équipement, en l'état ou après adaptation, avec un autre combustible.

^{35/} Ce problème est examiné plus à fond dans Laading (1960) et Romain (1977).

139. Ceci nous amène à deux autres considérations. La première concerne les différents rendements avec lesquels l'énergie utile peut être extraite de la tonne de produits pétroliers ou des 1,7 tonnes de charbon. La quantité de charbon nécessaire pour produire une quantité donnée de force de traction dans un moyen de transport dépend non seulement du contenu énergétique relatif du charbon et du pétrole, mais aussi du rendement relatif des machines à vapeur, d'une part, et des moteurs à combustion interne, de l'autre. L'équivalent de combustible dans ce sens peut être encore plus compliqué si les moteurs fonctionnant avec des produits pétroliers sont remplacés par des trains à traction électrique et si l'électricité est fournie par des centrales alimentées au charbon.

140. La deuxième complication provient du fait que le niveau et la composition actuels de la consommation d'énergie correspondent à la situation actuelle des approvisionnements (volume et diversité) et des prix, et aux investissements passés en appareils utilisateurs d'énergie. Si l'éventail des combustibles disponibles était fondamentalement différent, le niveau de la consommation serait presque certainement différent aussi. La substitution des sources d'énergie entre elles est certes une possibilité réelle, mais elle ne dépend pas seulement du contenu énergétique de chaque source disponible.

141. Nous en arrivons ainsi à la constatation que le taux d'équivalence entre des sources d'énergie différentes dépend en partie seulement des caractéristiques inhérentes à ces sources, et en partie aussi des usages auxquels elles servent. La qualité ou le mélange de charbon dont le contenu calorifique peut être considéré comme équivalent à un mètre cube de gaz naturel dépend des usages pour lesquels le charbon peut effectivement remplacer le gaz. L'équivalence entre l'électricité et le charbon ou le pétrole dépend des types de charbon ou de pétrole qui peuvent se substituer à l'électricité dans des usages bien définis. Les possibilités limitées de substitution des sources d'énergie dans la pratique n'invalide cependant pas l'expression de toutes les sources énergétiques en termes d'unités communes. Cette procédure est parfaitement justifiée, voire essentielle, pour pouvoir étudier les structures passées et présentes de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie et faire des conjectures raisonnées concernant l'avenir.

142. Le présent manuel ne cherche pas à couvrir tout l'éventail des unités de compte possibles et leurs nombreux coefficients croisés de conversion de l'une à l'autre. Ce vaste champ a été étudié de manière approfondie et synthétique par Guyol (1977). Il n'est pas inutile cependant d'attirer l'attention sur quelques exemples de différences entre des unités dites communes et entre les procédures appliquées pour exprimer les unités de masse originelles en unités communes.

2. Tonne d'équivalent charbon (tec)

143. L'OSCE (Luxembourg), le Bureau de statistique des Nations Unies et le Royaume-Uni utilisent tous la tonne d'équivalent charbon comme unité commune, mais tous trois paraissent différer en ce qui concerne tant la définition que la procédure. Pour l'OSCE, la tec était définie comme fournissant un pouvoir calorifique inférieur de 7 Gcal 36/; pour le Bureau de statistique, le même

^{36/} L'OSCE a cessé d'utiliser la tec depuis 1978 (voir par. 151). 1 Gcal = 10^6 kcal = 4,19 gigajoules (GJ), de sorte que 7 Gcal = 29,3 GJ.

contenu énergétique était autrefois défini comme étant le pouvoir calorifique supérieur 37/. Pour le Royaume-Uni, la tonne d'équivalent charbon est implicitement définie comme ayant le pouvoir calorifique supérieur moyen de toutes les qualités de charbon de ces dernières années. (Le Royaume-Uni a utilisé la tonne "longue" pour le charbon jusqu'en mars 1978.) 38/ La tec est également utilisée par plusieurs pays du CAEM.

144. La procédure suivie à l'OSCE pour convertir le charbon en tec était assez compliquée et consistait à ajuster chaque qualité de charbon séparément, selon sa teneur en eau et en cendres, à une qualité standard qui avait un pouvoir calorifique spécifique. Pour les Nations Unies, la procédure est simple : tout le charbon bitumineux (ainsi que l'antracite) est censé avoir un pouvoir calorifique déterminé (inférieur si possible). Cela revient à traiter les tonnes de charbon physique comme s'il s'agissait déjà d'équivalent charbon. La même pratique est suivie au Royaume-Uni 39/. Dans les trois cas, les autres combustibles solides et les autres sources d'énergie sont convertis en tonnes d'équivalent charbon au moyen de coefficients qui reflètent les valeurs énergétiques relatives de la qualité de charbon définie et de la source d'énergie en question. A l'OSCE, jusqu'en 1977 inclus, tous les produits pétroliers (voir plus bas) étaient traités ensemble, sans que l'on fasse de différence entre la valeur énergétique de chaque produit.

145. L'électricité primaire (d'origine nucléaire, hydraulique et géothermique) est traitée différemment dans les trois cas. A l'OSCE, elle est exprimée en termes de la quantité de combustible fossile - équivalent charbon et (depuis 1978) équivalent pétrole - qu'il faudrait pour produire la même quantité d'électricité dans une centrale thermique classique, sur la base du rendement moyen de toutes ces centrales. Au Royaume-Uni, la procédure est la même, mais le rendement moyen retenu est celui des centrales classiques contemporaines. Aux Nations Unies, l'électricité d'origine nucléaire, hydraulique et géothermique est exprimée directement par la quantité de charbon (de 7 Gcal PCI/tonne) qui aurait la même valeur thermique que l'électricité - ainsi, les Nations Unies ne retiennent pas la méthode de l'entrée de combustible primaire.

146. La tonne de remplacement charbon utilisée par l'Inde est définie comme étant la quantité de charbon fournissant la même quantité d'énergie utile qu'une unité de chaque autre source d'énergie employée pour une fin précise (cuisson des aliments, par exemple) 40/.

3. Tonne d'équivalent pétrole (tep)

147. L'OCDE/AIE et le Royaume-Uni utilisent tous deux la tonne d'équivalent pétrole (tep) comme unité commune de compte, mais encore une fois la définition de cette unité et la procédure appliquée pour y parvenir diffèrent dans les deux cas.

37/ Bureau de statistique des Nations Unies (1977).

38/ Royaume-Uni (1977).

39/ Pour le Royaume-Uni, ses chiffres de tec indiquent "des tonnes de charbon ou d'équivalent charbon".

40/ Voir Chatterjee (1971).

Pour l'OCDE/AIE la tep est définie comme ayant un PCI de 10 Gcal (= 41,9 GJ), alors que pour le Royaume-Uni l'unité n'est pas formellement définie en termes de pouvoir calorifique mais (comme pour la tec au Royaume-Uni) implicitement définie comme étant le PCS moyen pondéré de tous les produits pétroliers ces dernières années.

148. A l'OCDE/AIE, la procédure pour calculer le millier de tep consiste officiellement à exprimer toutes les sources d'énergie en termes de leur PCI en téralcalories puis à diviser le résultat par 10. Dans la pratique, ces deux étapes sont confondues en une seule par l'emploi de coefficients appropriés. Contrairement à l'OSCE qui procède à un ajustement détaillé de chaque qualité de charbon à une qualité standard théorique et traite les produits pétroliers par agrégation pour convertir les unités d'origine en tec, l'OCDE/AIE utilise la base agrégée pour le charbon et une base produit par produit pour le pétrole dans la conversion des unités d'origine en tep. Les autres combustibles solides et les autres sources d'énergie sont converties en tep par l'application d'un coefficient spécifique dans chaque cas.

149. Le Royaume-Uni ne fait aucun ajustement aux chiffres de produits pétroliers et considère ses chiffres de tep comme étant des "tonnes de pétrole ou d'équivalent pétrole". Les chiffres relatifs aux autres sources d'énergie sont convertis en tep au moyen de simples coefficients.

150. Tant l'OCDE/AIE que le Royaume-Uni expriment l'électricité primaire en termes de la quantité de combustible primaire qui serait nécessaire pour produire cette électricité. Comme on l'a déjà signalé, le Royaume-Uni utilise le rendement moyen des centrales contemporaines alimentées aux combustibles fossiles. L'OCDE/AIE se sert de la même base que l'OSCE, à savoir le rendement moyen de toutes les centrales classiques.

151. Depuis le 1er janvier 1978, l'OSCE a cessé d'utiliser la tec et a adopté la tep comme unité de présentation, tout en utilisant le joule comme unité comptable rigoureuse (voir plus loin). A partir de la même date, il a converti les unités spécifiques des produits pétroliers en joules, séparément pour chaque principal type de produit. En 1979, l'OSCE a publié son bilan énergétique global en térajoules (voir plus loin).

152. Nous avons commencé par décrire la tec et la tep parce que ce sont les deux unités communes les plus courantes et qu'elles sont également utilisées comme unités de présentation pour compléter des unités de compte communes plus rigoureuses et fondamentales.

4. Autres unités de compte

153. La British Thermal Unit (BTU) est utilisée au Canada et aux Etats-Unis. C'est une très petite unité (1 BTU = 0,252 kcal = 1,055 joule) et dans les bilans publiés par les deux pays qui l'utilisent, le Canada la fait suivre de 9 chiffres ou plus et les Etats-Unis utilisent un coefficient de 10^{12} . Des tableaux qui contiennent tant de chiffres ne sont pas faciles à consulter rapidement pour ceux qui n'y sont pas habitués.

154. Le Royaume-Uni utilise la thermie (1 thermie = $BTU \times 10^5 = 25\,200\text{ kcal} = 105,5\text{ mégajoules}$) comme unité de compte rigoureuse et effectue la conversion très

détaillée de chaque qualité de charbon (et autres combustibles solides) et de chaque produit pétrolier (et autres combustibles liquides et gazeux) ainsi que de l'électricité, en thermies qui servent de données de base pour son bilan énergétique d'ensemble. (Le Royaume-Uni se sert de la tec et de la tep principalement pour présenter des bilans simplifiés sur la base de l'entrée de combustible primaire, et dans de tels bilans il n'est pas nécessaire de donner beaucoup de détails sur le charbon et les produits pétroliers.)

155. La tēracalorie (ou un sous-multiple) a été utilisée par de nombreux pays, mais il y a cinq définitions différentes de la calorie dont la valeur énergétique va de 4,184 joules à 4,205 joules. La Tcal (égale à 4,186 TJ) était l'unité de compte la plus rigoureuse de l'OSCE jusqu'à ce que le Conseil des ministres ait décidé, en 1971, de l'abandonner en faveur de térajoule à partir de 1978. L'OCDE cependant n'envisage pas d'abandonner la Tcal, en raison de la relation très commode de 10:1 entre la Tcal et le millier de tep.

156. Quelques pays (voir chap. V) utilisent un grand multiple du joule, le térajoule (1 térajoule = 10^{12} joules = 0,239 tēracalorie). Comme nous l'avons déjà signalé, les membres de la CEE ont introduit le joule en 1978. La CEE (Genève) a adopté le joule en tant qu'unité de compte pour le bilan énergétique global qu'elle a décidé de publier sous forme de supplément à ses Statistiques générales de l'énergie à partir de 1978. Elle a également décidé d'utiliser la tec et la tep comme autres unités de présentation servant de lien avec les unités conservées pour le moment par certains de ses Etats membres.

157. Le joule est la seule unité d'énergie reconnue dans le système international d'unités (SI) et a été d'abord adopté comme unité d'énergie SI en 1946, puis comme unité de chaleur SI en 1948 par la Conférence générale des poids et des mesures. Laading (1960) a recommandé l'utilisation du joule dans les bilans énergétiques après avoir considéré les avantages et les inconvénients d'autres unités possibles. Les analystes de l'énergie qui ont une formation de physiciens ont accueilli favorablement le joule, mais son adoption universelle rencontre une certaine résistance dans quelques pays. La principale objection concerne sa petite taille qui fait que les pays qui ont une certaine importance en tant que producteurs ou consommateurs d'énergie sont obligés d'utiliser comme multiplicateur une puissance très élevée de 10. Toutefois, des préfixes appropriés ont été incorporés au SI et leur usage permet d'éviter le recours à un grand nombre de chiffres. La meilleure manière de se souvenir de ces préfixes, ainsi que des préfixes inférieurs qui sont largement utilisés dans les statistiques de l'électricité, est de se rappeler qu'ils désignent des puissances toujours plus élevées de 10^3 : $(10^3)^1$ kilo, $(10^3)^2$ méga, $(10^3)^3$ giga, $(10^3)^4$ téra, $(10^3)^5$ péra, $(10^3)^6$ exa.

RECOMMANDATION :

- 20) Etant donné que le joule et ses multiples obtenus en l'élevant à des puissances de 10^3 sont les seules unités d'énergie du SI, les bureaux statistiques internationaux et nationaux devraient envisager d'adopter le joule (1 joule = 0,239 calorie) comme unité de compte rigoureuse dans les bilans énergétiques. La tep (1 tep = 10^7 kcal PCI) et/ou la tec (1 tec = 7×10^6 kcal PCI) peuvent être utilisées comme unités de présentation supplémentaires. Chaque fois qu'elles sont utilisées, ces unités devraient être clairement définies en termes de joules et la procédure employée pour convertir les données d'origine en tep ou tec devrait être clairement décrite.

V. BILANS ENERGETIQUES

A. Généralités

158. Comme nous l'avons déjà signalé dans le présent manuel, il existe diverses présentations (ou structures) de bilans énergétiques qui pourraient être adoptées comme base pour les comparaisons internationales. En effet, il n'y a pas de schéma que l'on puisse considérer comme étant le seul valable, tous les autres étant defectueux. Néanmoins, certains sont plus faciles à suivre que d'autres. Certains ont des caractéristiques difficiles à respecter et d'autres ont des façons plus concises de présenter la même somme d'informations. Certains reflètent des questions qui intéressaient les analystes de l'énergie à l'époque où ces bilans ont été mis au point, alors que d'autres se prêtent mieux à la double exigence de l'analyse historique et des prévisions futures. Dans la présent chapitre, on passera en revue la structure de plus de 30 bilans actuellement en usage 41/ afin de cerner les caractéristiques qui devraient être tenues dans toute recommandation relative à une présentation internationale normalisée.

159. Si l'on voulait résumer les différentes justifications économiques d'un bilan énergétique, on pourrait dire qu'il faut savoir où nous en étions (la rétrospective) et savoir - ou du moins essayer d'évaluer - où nous allons (la prospective). Un cadre comptable énergétique devrait se prêter à ces deux types de besoins, mais les différences qui en découlent sont importantes. En général, les données que l'on possède sur la situation passée sont beaucoup plus importantes que celles dont on a besoin pour essayer d'évaluer l'avenir. Néanmoins, la forme d'analyse relativement sommaire qui est la seule possible ou nécessaire dans une projection de cinq ans ou plus en avant devrait être conceptuellement compatible avec l'analyse plus complète que l'on peut faire du passé. Il ne s'agit pas

41/ Il s'agit des documents suivants : 20 bilans officiels nationaux (Allemagne, République fédérale d', Autriche, Brésil, Canada, Etats-Unis, Finlande, France, Hongrie, Inde, Italie, Japon, Mexique, Nouvelle-Zélande, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Royaume-Uni et Suède); cinq bilans produits par des instituts nationaux de recherche économique en Autriche (Oesterreichisches Institut für Wirtschaft (OIW)), France (Centre d'études régionales sur l'économie de l'énergie (CEREN) (Paris) et Institut économique et juridique de l'énergie (IEJE)), Italie (Bari) et Japon (Institut de l'économie de l'énergie); cinq bilans produits par des organisations internationales, à savoir l'ONU (New York), la CEE (Genève), l'OCDE (Paris), la CEE (Bruxelles) et l'OSCE (Luxembourg); un bilan publié conjointement par deux instituts s'occupant d'analyse internationale (Brookhaven National Laboratory, Etats-Unis, et Kern-Forschungsanlage (KFA), Jülich, République fédérale d'Allemagne); deux bilans utilisés par des organismes internationaux, le Colloque sur les stratégies pour les énergies de substitution (WAES) et la Conférence mondiale de l'énergie (CME); quatre bilans utilisés par des grandes compagnies pétrolières internationales. Dans la République fédérale d'Allemagne, le bilan est publié par le groupe de travail du bilan énergétique qui comprend des représentants du gouvernement, des universités et des industries énergétiques. Sauf mention contraire, les références aux bilans de l'OSCE se rapportent à ceux qui ont été publiés avant 1978.

seulement d'une question de rigueur statistique, mais d'une nécessité pratique impérieuse. Pour ne prendre qu'un exemple, un niveau futur projeté de demande d'énergie primaire doit être compatible avec les niveaux projetés de consommation des sources d'énergie primaires et secondaires. Ces sources secondaires sont essentiellement les produits pétroliers et l'électricité. Les premières ne diffèrent que légèrement (de 6 p. 100 environ) de la masse de pétrole brut nécessaire pour les produire (soit dans le pays consommateur, soit dans les pays dont celui-ci importe les produits pétroliers). L'électricité, par contre, exigera environ trois fois plus de sources d'énergie primaires et/ou secondaires pour sa production.

160. Il faut donc qu'il y ait compatibilité entre les disponibilités de sources d'énergie primaire (équivalents compris) 42/, les quantités livrées aux producteurs d'électricité (et autres processus de transformation) ainsi qu'aux utilisateurs finals, et les livraisons d'électricité (et autres sources d'énergie secondaires) aux utilisateurs finals. Ces divers flux entre les secteurs de l'approvisionnement en énergie primaire, la transformation d'énergie et l'utilisation énergétique finale peuvent être très complexes et, si l'on veut faire des projections cohérentes pour l'avenir, il est indispensable de se fonder sur une quantification correcte de la nature et de l'importance relative des nombreuses interdépendances dans le passé. Cette analyse peut être fournie par un bilan énergétique convenablement structuré.

B. Divers schémas de bilans énergétiques

161. La forme de l'analyse qu'exigent les données relatives aux années écoulées et les estimations portant sur les années à venir peut différer plus que dans le seul niveau de détail souhaitable ou possible. Lorsque l'on analyse le passé, il est logique de commencer par les disponibilités des différentes sources énergétiques et d'établir ensuite une relation entre chacune de ces sources et son utilisation ou son stockage, voire éventuellement sa perte prématurée 43/ sous forme de rejets thermiques. Cette séquence logique aboutit à ce que l'on pourrait appeler un bilan énergétique "de haut en bas" dont la forme généralisée est la suivante :

Production
+ Importations
- Exportations
+ Baisse des stocks
- Augmentation des stocks
= Consommation

162. Par contre, lorsque l'on tente de prévoir l'avenir, il est parfois commode de projeter la demande (ou la consommation) en la liant d'une façon ou d'une autre

42/ Voir par. 29.

43/ Aucune énergie n'est perdue au sens strict de la thermodynamique, mais toute énergie libérée de sa source thermodynamique par la nature ou par l'homme subit un abaissement de température jusqu'à ce que la chaleur résiduelle soit trop faible pour servir utilement à l'homme.

au niveau du produit intérieur brut, à sa structure et à sa répartition, au parc d'équipements consommant de l'énergie ainsi qu'à l'évolution probable de la technologie énergétique, et d'en tirer par déduction le niveau de l'approvisionnement d'énergie qui serait nécessaire pour satisfaire le volume et le dosage prévu de la demande énergétique. (Dans la pratique, tout pays aura tendance à croire qu'il pourra obtenir - moyennant un certain prix - la quantité d'énergie requise en important les sources d'énergie qu'il ne produit pas lui-même en quantité suffisante.) Cette séquence analytique, tout aussi logique, aboutit à ce que l'on appelle parfois un bilan énergétique "de bas en haut", dont la forme généralisée est la suivante :

Consommation
+ Exportations
- Baisse des stocks
+ Augmentation des stocks
- Production
= Importations.

163. L'un ou l'autre de ces deux types de raisonnements logiques pourrait être retenu pour construire un bilan des produits énergétiques (voir chap. II) ou un bilan énergétique global. Le présent chapitre traite essentiellement de ce dernier type de bilan, mais évidemment avant de construire un tel compte général de l'approvisionnement et des utilisations, il faut disposer de toutes les données nécessaires concernant les disponibilités et les utilisations de chaque type d'énergie primaire et secondaire exprimées dans les unités de mesure originales. On examinera plus loin, dans le même chapitre, comment agréger les sources d'énergie différentes en les exprimant en unités de compte communes. Ce problème particulier n'est pas envisagé dans les paragraphes qui suivent.

164. Dans la pratique, il y a une autre distinction qui apparaît, c'est celle entre les bilans partiels qui ne traitent que des sources d'énergie primaires et les bilans complets qui indiquent les disponibilités primaires, les transformations de sources d'énergie primaires en sources secondaires et les utilisations finales des sources tant primaires que secondaires. Un bilan partiel du type bas en haut ressemblerait au tableau suivant :

Flux \ Source	Source				
	Charbon	Pétrole brut	Gaz naturel	Electricité primaire*	Total de l'énergie primaire
Production					
Importations (+)					
Exportations (-)					
Variations des stocks (baisse - hausse +)					
Total des disponibilités intérieures = consommation ou demande apparente					

* D'origine nucléaire/hydraulique/géothermique/éolienne.

165. La dernière ligne de ce tableau indique les livraisons intérieures apparentes (ou la consommation si l'on connaît l'évolution des stocks des consommateurs et des producteurs et si on peut les inclure au poste "Variations des stocks"). Dans la pratique, il est peu probable que les livraisons apparentes (ou la consommation) calculées à partir des approvisionnements correspondent exactement à l'ensemble des réceptions signalées par les consommateurs, et il faudra ajouter une ligne "écart statistique" si l'on juge utile de faire figurer dans le tableau les livraisons (ou la consommation) enregistrées. Ces données comptabilisées des livraisons intérieures porteraient normalement sur les livraisons aux sources d'énergie primaire (et équivalents), aux industries de transformation, ou directement aux utilisateurs finals. Il convient de noter que la demande apparente d'énergie primaire s'applique à des utilisations à la fois énergétiques et non énergétiques et on ne fait pas la différence entre elles. Cette analyse plus poussée est en général tentée dans les bilans complets lorsque cela est possible.

166. Un bilan de bas en haut peut aussi n'être que partiel dans la mesure où il n'indique que les sources d'énergie primaires (comme dans le cas du bilan partiel de haut en bas indiqué plus haut), mais le bilan de bas en haut exige en général des hypothèses implicites ou explicites concernant la manière dont la consommation finale de sources d'énergie secondaires est satisfaite à partir des disponibilités présumées ou postulées de sources primaires (voir ci-dessous). Un bilan de ce type ressemblerait au tableau suivant :

Flux \ Source	Charbon	Pétrole brut	Gaz naturel	Electricité primaire*	Total de l'énergie primaire
Livraisons intérieures					
Exportations (+)					
Demande totale					
Production					
Variations des stocks (augmentation - diminution +)					
Importations (+)					
Approvisionnement total					

* D'origine nucléaire/hydraulique/géothermique/éolienne.

167. Un bilan complet du type de haut en bas se présenterait sous la forme généralisée suivante :

Flux \ Source	Charbon	Pétrole brut	Gaz naturel	Produits pétroliers	Autres combustibles secondaires	Electricité		Total
						primaire	secondaire	
Production								
Importations								
Exportations								
Variations des stocks (augmentation - diminution +)								
Approvisionnement total en sources primaires et équivalents								
Raffinage du pétrole								
Production d'électricité								
Autres industries de transformation								
Utilisation finale								

168. Un bilan énergétique complet peut être agrégé ou désagrégé. Cette distinction concerne essentiellement le nombre de sources distinctes d'énergie indiquées dans les colonnes, mais un bilan fortement désagrégé dans ce sens sera aussi, presque sûrement, assez détaillé dans le traitement accordé aux lignes réservées aux producteurs d'énergie secondaire. Il arrive cependant qu'un bilan qui accorde le même détail aux lignes réservées aux producteurs d'énergie secondaire soit plus ou moins agrégé en ce qui concerne le détail des énergies secondaires indiquées dans les diverses colonnes. Les nombreux bilans énergétiques examinés lors de la préparation du présent manuel présentaient de grandes variations quant au degré de détail indiqué dans leurs lignes et leurs colonnes.

169. En résumé, l'ordre précis et le champ des différentes lignes et colonnes d'un bilan diffèrent souvent beaucoup dans la pratique, et les méthodes utilisées pour faire ressortir dans un bilan énergétique global les flux (réels ou projetés) de sources d'énergie primaire et secondaire peuvent également différer. Le point essentiel sur lequel nous voudrions insister pour le moment est que les méthodes de haut en bas et bas en haut sont, ou devraient être, mutuellement compatibles. Quel que soit l'ordre des rubriques et quel que soit le degré de désagrégation (pour le passé) ou d'agrégation (pour les projections), les différents éléments indiquant les flux, les stocks, les sources d'énergie, les transformations et les utilisations de l'énergie devraient pouvoir être rigoureusement mis en relation les uns avec les autres dans un bilan énergétique construit de telle sorte que sa structure essentielle peut être contractée ou développée sans que ses caractéristiques fondamentales s'en trouvent modifiées.

C. Le regard rétrospectif : les bilans de "haut en bas"

170. Le schéma essentiel d'un bilan de haut en bas a été exposé ci-dessus, mais il y a d'autres flux fondamentaux qu'il faut y inclure avant même d'examiner le nombre d'industries de transformation qu'il convient de distinguer. Pour des raisons de commodité, dans la suite du présent chapitre on utilisera les lignes pour les flux et les colonnes pour les sources d'énergie. C'est là la pratique la plus répandue, mais certains pays (Autriche 44/, Japon 45/, Pologne et Etats-Unis 46/) utilisent la disposition contraire, à savoir les lignes pour les sources d'énergie et les colonnes pour les flux. On trouvera ci-après une liste plus détaillée des rubriques qui devraient être traitées dans un bilan complet :

44/ Dans les matrices de base exprimées en unités d'origine, les colonnes sont utilisées pour les sources d'énergie.

45/ L'Institut de l'économie de l'énergie (IEE), Tokyo, a également publié des bilans pour le Japon sous la forme la plus courante, c'est-à-dire de haut en bas.

46/ Il s'agit de la nouvelle présentation proposée par la Federal Energy Agency (FEA) des Etats-Unis, et non du bilan publié par le Bureau of Mines, qui est traité dans la section suivante.

- Production
- Importations
- Exportations soutes
- Soutes
- Transformation
 - Entrées
 - Sorties
- Autoconsommation du secteur Énergétique
- Pertes à la distribution
- Utilisation non Énergétique
- Ecart statistique
- Utilisation finale de l'Énergie
- Variations des stocks
 - Producteurs
 - Importateurs
 - Transformateurs
 - Utilisateurs finals

Cette liste n'est pas exhaustive et elle ne prétend indiquer ni les seules rubriques, ni les plus souhaitables, ni encore leur ordre le plus courant. Nous allons maintenant examiner plus en détail un certain nombre de rubriques déterminées.

1. Stocks

171. Les variations de stocks pourraient être complétées ou remplacées par le niveau des stocks au début de la période comptable (en général l'année civile). La CEE enregistre le niveau des stocks en même temps que leur évolution, mais elle ne publie pas cette information. Le Japon indique le niveau des stocks et non leur évolution et il traite les stocks d'ouverture comme faisant partie de l'offre et les stocks de clôture comme faisant partie de la demande, ou plus précisément comme une catégorie d'utilisation des disponibilités ^{47/}. Certains bilans indiquent séparément les variations de stocks chez les producteurs, d'une part, et chez les consommateurs d'autre part (Autriche, Italie) mais on ne voit pas clairement où les changements des stocks des importateurs et des industries de transformation de l'énergie sont indiqués dans ce bilan, ni même s'ils le sont. D'autres bilans sont plus clairs sur ce point et font la différence entre les stocks des producteurs et des importateurs et les stocks des industries de transformation et autres utilisateurs (CEE et Bureau de statistique de l'ONU). Le bilan de l'OSCE est encore plus rigoureux car il distingue entre ces quatre catégories de détenteurs de stocks. Tous les autres bilans examinés ne donnent qu'un seul chiffre se rapportant à l'évolution totale du stock pour chaque source d'énergie.

172. Certains bilans utilisent la rubrique "Variations de stocks" pour boucler le solde entre les disponibilités totales et les utilisations totales de chaque source d'énergie (Italie, Portugal et Suède), alors que la plupart des autres que nous avons examinés comportent à cette fin une rubrique séparée. Dans le cas de

^{47/} Le Japon est le seul parmi les pays examinés dont le bilan se rapporte à un exercice financier.

l'Autriche et de la Pologne, le traitement exact n'est pas entièrement clair. La balance autrichienne (OSZ) semble utiliser comme solde le poste "Utilisations et pertes du secteur Énergétique". Il est manifestement souhaitable en principe de consigner séparément les changements mesurables de stocks, mais nous reconnaissons que dans la pratique les pays éprouvent souvent de la difficulté à obtenir des données satisfaisantes sur l'évolution des stocks auprès des utilisateurs finals, sous une forme apte à être incorporée dans un bilan Énergétique publié. Ce problème est particulièrement aigu dans le cas des utilisateurs finals non industriels qui sont très nombreux et dont l'inclusion dans une enquête régulière sur les stocks serait donc coûteuse.

173. Le cas le plus important où il faudrait évaluer correctement l'évolution des stocks est celui des industries de transformation, en raison de la nécessité de mettre leur production en relation avec leur usage réel d'entrées Énergétiques. Dans un bilan Énergétique, le poste "Entrées aux industries de transformation" devrait représenter l'utilisation et non pas les livraisons consignées à ces industries.

174. Les différents traitements appliqués aux variations de stocks (inscrites dans le bilan soit entièrement du côté approvisionnements, soit en partie du côté approvisionnements et en partie du côté demande, soit encore entièrement du côté demande) donnent un exemple parmi d'autres des différences de traitement qui font que des termes identiques ou analogues tels que "disponibilités totales", "approvisionnement brut", et "approvisionnement disponible" ont des significations différentes et imprévisibles dans divers bilans, imprévisibles dans le sens que l'étiquette employée pour désigner un certain niveau d'approvisionnement ne donne, par elle-même, aucune indication permettant de savoir s'il s'agit d'un flux mesuré en amont ou en aval d'une variation de stocks. Il convient de noter toutefois que la ventilation d'une variation de stocks entre plusieurs éléments ne signifie pas forcément que les éléments liés à l'utilisation se trouvent dans la partie du bilan réservé à la demande. Comme on l'a déjà noté, le bilan de l'OSCE est le seul qui cherche à établir une distinction entre quatre éléments d'une variation de stocks, et pourtant tous les quatre se situent du côté approvisionnement.

175. Il peut sembler de peu d'importance qu'une augmentation de stock soit toujours affectée d'un signe "+" (ce qui à première vue paraît être la seule façon logique de représenter cette augmentation) ou d'un signe "-" (ce qui d'une manière tout aussi logique peut sembler la seule façon claire de signaler une diminution de stocks). Ce raisonnement logique est toutefois incomplet. Un mouvement de stock implique un flux et les signes "+" et "-" suggèrent respectivement des accroissements et des diminutions du flux. Le sens du signe utilisé dépend de la position de la variation de stocks dans le bilan Énergétique. Si cette variation est inscrite dans la partie "approvisionnements" du bilan, une augmentation de stocks représentera alors une réduction des disponibilités pour d'autres usages, dans ce cas un signe "-" serait approprié (avec un signe "+" dans le cas d'une diminution des stocks). Si par contre une variation de stocks est inscrite au côté "demande" d'un bilan, une augmentation de stocks représenterait alors un accroissement de la demande et le signe "+" conviendrait (un signe "-" étant utilisé dans le cas d'une diminution de stocks).

176. Parmi la vingtaine de bilans examinés dans cette section, huit utilisent le signe "+" et 11 le signe "-" pour indiquer une augmentation de stocks (ou un signe "+" pour une diminution de stocks). Cette question peut paraître anodine, mais

au pire elle entraîne des erreurs et au mieux elle est agaçante. Dans l'un des bilans italiens 48/, on trouve une note de bas de page signalant au lecteur qu'il faut inverser mentalement le signe dans les colonnes du tableau relatif à l'approvisionnement mais ne pas en changer l'interprétation dans la partie du bilan concernant les mouvements de stocks des consommateurs. L'autre bilan italien 49/ utilise, pour indiquer une augmentation de stocks, le signe "-" dans la partie relative à l'approvisionnement, mais un signe "+" dans la partie relative à la demande.

177. Le bilan de la République fédérale d'Allemagne et celui utilisé par l'équipe Brookhaven/Jülich distinguent sur des lignes séparées les retraits de stocks et les mises en stocks. Le bilan provisoire de la FEA utilise pour sa seule ligne consacrée à l'évolution des stocks (il s'agit en fait d'une colonne) le libellé "retraits de stocks", alors que le bilan néo-zélandais appelle cette rubrique "augmentation de stocks". Ces diverses dénominations ont au moins l'avantage de ne laisser aucun doute dans l'interprétation d'une signe négatif ou positif.

178. Quel que soit le sens du signe affecté à un mouvement de stock sur une ligne qui ne porte que la mention neutre "variation des stocks", ce sens devrait être indiqué clairement dans le tableau. (Cette pratique est rare dans les bilans nationaux mais est suivie dans les bilans publiés par les organisations internationales.) Nous reviendrons plus tard sur la question de la place réservée aux variations de stocks.

2. Exportations et soutages

179. Les exportations et les soutages sont généralement, mais pas toujours, traités comme étant essentiellement semblables, à savoir comme étant des charges imputables aux approvisionnements avant que l'on détermine ce qui est disponible pour l'utilisation finale, avant ou après transformation de l'énergie primaire en énergie secondaire. Les deux bilans autrichiens ainsi que les deux bilans italiens, le bilan officiel japonais et le bilan français de l'OECE traitent tous tant les exportations que les soutages comme des composantes de la demande 50/. Tous les bilans examinés ont, à juste titre, traité les exportations et les soutages comme étant deux flux distincts. Les soutages sont une condition préalable et indispensable à tout trafic maritime international et ne sont pas aussi directement liés au commerce pétrolier d'un pays que le sont les importations et exportations d'autres produits pétroliers.

180. Pratiquement sans exception, les soutages désignent le combustible pour les navires de haute mer, quel que soit leur pavillon ou leur port d'attache, et ne concernent pas le carburant des avions longs courriers ni celui des véhicules commerciaux opérant sur des itinéraires internationaux. La seule exception à cette pratique est le nouveau questionnaire des Nations Unies qui s'efforce d'englober les soutages des aéronefs opérant sur des lignes internationales.

48/ Ministère du commerce et de l'industrie (MCI).

49/ Ente Nazionale Hydrocarburi (ENI).

50/ Ce traitement est particulièrement approprié pour les grands pays exportateurs d'énergie dans leurs bilans énergétiques nationaux.

181. Nous nous trouvons ici face à une double incohérence. Premièrement, seuls les soutages maritimes sont couverts (il reste à voir si les Nations Unies réussiront à rassembler des données sur les soutages de l'aviation internationale) en tant que flux distinct. Les soutages de l'aviation internationale et des transports routiers étant perdus dans les livraisons intérieures aux fins des transports aériens et routiers. Deuxièmement, aucune distinction n'est faite entre les livraisons de fuel de soute (ou autre produit) aux ressortissants du pays déclarant d'une part, et aux ressortissants d'autres pays, de l'autre. Selon les conventions régissant les comptes nationaux, les livraisons effectuées aux ressortissants du pays déclarant devraient être traitées comme une activité intérieure et seules les livraisons à des navires étrangers devraient être traitées sur le même pied que les exportations. (Par analogie, l'acquisition de combustible de soute à l'étranger par des navires appartenant aux ressortissants du pays déclarant devrait être traitée comme une importation. Ces livraisons sont considérées comme des soutages par le pays qui les fournit.) Ces faits de pratique courante, pour des raisons compréhensibles, constituent des obstacles regrettables à une harmonisation plus étroite dans un proche avenir des bilans énergétiques avec les conventions des tableaux entrées/sorties des échanges interindustriels.

3. Transformation

182. Le traitement des industries de transformation dans un bilan énergétique pose des problèmes d'un ordre différent de ceux que nous avons étudiés jusqu'ici. Il ne s'agit pas seulement d'examiner quelle est la meilleure position et la meilleure séquence à attribuer aux industries de transformation et à leurs entrées et sorties. Le degré de détail (c'est-à-dire combien d'industries il faut distinguer en plus de la production électrique et du raffinage de pétrole) dépend du nombre de sources d'énergie secondaires que l'on peut ou que l'on doit distinguer dans les colonnes d'un bilan. Ces autres industries ou activités de transformation pourraient comprendre l'autoproduction d'électricité, la production combinée de chaleur et d'électricité à l'intérieur d'une industrie, la production de chaleur dans des centrales de chauffage urbain, ainsi que la fabrication de briquettes, la fabrication ou le mélange de gaz, les fours à coke et les hauts fourneaux. Il y a également des options en ce qui concerne la façon d'indiquer les pertes, soit explicitement, soit implicitement. Ces diverses options seront examinées lorsque nous aurons fait le tour d'autres aspects de la question dans son ensemble.

183. La plupart des bilans qui ont été examinés lors de l'élaboration du présent manuel englobaient les cokeries, le traitement des combustibles solides (pour la fabrication de combustibles sans fumée ou de briquettes pratiques à partir de petits morceaux) et la fabrication de gaz (sans compter bien sûr la production d'électricité et le raffinage de pétrole). Si certaines de ces industries y sont parfois omises c'est parce que le bilan est conçu pour mettre en relief les principales sources d'énergie ou parce que telle ou telle industrie n'existe pas ou a peu d'importance dans le pays en question. Ainsi, le bilan de l'OCDE indique la fabrication de gaz, mais regroupe dans ses colonnes relatives aux produits le charbon et les produits du charbon et, de même, ne distingue aucune activité de traitement des combustibles solides dans les lignes consacrées à la transformation (les pertes en cokerie et dans le traitement d'autres combustibles solides sont enregistrées dans la colonne "combustibles solides" à la ligne "autoconsommation et pertes du secteur énergétique"). La fabrication de gaz n'est pas prévue dans le

bilan des Pays-Bas parce que cette activité n'existe pas dans le pays. Les bilans français (CEREN), polonais et canadiens regroupent aussi tous les types de traitement des combustibles solides.

184. Il ne fait pas de doute que le gaz de hauts fourneaux est une source d'énergie dérivée, mais ces hauts fourneaux font partie intégrante de l'industrie sidérurgique, comme le sont fréquemment les cokeries. (Cependant comme les cokeries existent souvent comme élément de l'industrie de fabrication des combustibles solides, la production de gaz de cokerie est traitée dans les bilans énergétiques dans la partie consacrée au secteur de l'énergie.) En outre, la majeure partie du gaz provenant des hauts fourneaux est utilisée à l'intérieur même de l'industrie où il est produit, étant soit recyclé dans les fours à coke, soit utilisé pour le chauffage des fourneaux, soit employé pour produire de la vapeur en vue de la fabrication d'électricité, le reste étant rejeté dans l'atmosphère. Cela pose la question - qui a déjà été examinée dans le contexte des sources énergétiques non commerciales (voir chap. III, sect. B, 3) - de savoir si la production d'énergie secondaire devrait être différenciée de l'utilisation énergétique lorsque cette production a lieu dans le secteur d'utilisation finale.

185. Ce sont les matrices "approvisionnement" et "emploi" accompagnant le bilan officiel autrichien qui donnent l'analyse la plus détaillée de la production et de l'utilisation de l'énergie par chaque secteur d'utilisation finale ^{51/}. Les hauts fourneaux en tant que tels n'y sont pas distingués parce que la matrice utilise la classification normalisée autrichienne des industries. La production de gaz de hauts fourneaux (ainsi que le gaz de coke et de cokerie) est enregistrée dans la ligne réservée à l'industrie sidérurgique. Aucun autre bilan énergétique examiné ne fournit avec autant de détails l'analyse des utilisateurs finals de l'énergie, mais les hauts fourneaux sont traités comme faisant partie du secteur énergétique dans les bilans de la République fédérale d'Allemagne, de l'Italie, de la Norvège, du Portugal et de la Suède, ainsi que dans les bilans internationaux de la CEE, de l'OSCE, de la CEE (Genève) et de Brookhaven/Julich ainsi que dans le questionnaire du Bureau de statistique des Nations Unies (New York). D'autres pays considèrent que la production et l'utilisation de gaz de hauts fourneaux étant (avec la rare exception des ventes aux industries voisines) une affaire strictement interne à l'industrie sidérurgique, il n'y a aucune nécessité, ni intérêt, à chercher à indiquer ces flux séparément dans un bilan énergétique.

186. Le même genre de problème se pose dans le cas de la production d'électricité à l'intérieur d'une industrie à partir de sources énergétiques qui ont été achetées à l'extérieur. Ce problème se complique lorsqu'il y a production combinée d'électricité et de chaleur. (Cela vaut aussi pour une partie au moins de l'électricité produite à partir de la vapeur provenant de la chaleur des gaz de hauts fourneaux.) Cette chaleur est presque entièrement utilisée à l'intérieur de l'industrie qui la produit et exigerait l'achat de quantités supplémentaires de combustible si sa production était assurée par une usine uniquement thermique. Les bilans du Canada, de la France (CEREN), de la République fédérale d'Allemagne, du Japon, des Pays-Bas et de la Suède ainsi que les bilans de certains organismes internationaux affectent une ligne séparée à l'électricité autoproduite.

^{51/} La matrice "approvisionnement" indique les quantités de chaque produit énergétique produites par chaque industrie, importées ou provenant des stocks. La matrice "emploi" indique les quantités de chaque produit livrées à chaque utilisateur intérieur, aux exportations et aux stocks.

187. La plupart des bilans donnent des détails des entrées et sorties des industries de transformation dans le corps même du bilan. Trois pays (Autriche, Italie et Suède) cependant ne donnent qu'une seule ligne pour les entrées et sorties de transformation respectivement. Dans le bilan principal, on complète ces informations avec des tableaux plus détaillés sur les entrées et sorties de chaque industrie de transformation. Le bilan officiel italien va encore plus loin et impute les pertes en cours de traitement dans chaque industrie de transformation à chaque entrée de combustible. (Ce résultat est obtenu en ventilant pour chaque usine l'entrée énergétique totale en fonction de la production et des pertes d'énergie secondaire et ensuite en regroupant, pour l'ensemble des installations, les apports représentant d'abord l'énergie et ensuite les pertes.)

4. Production combinée de chaleur et d'électricité

188. Cela conduit à un autre problème : si la production d'électricité par industrie (avec ou sans production associée de chaleur) est indiquée séparément dans un bilan, faut-il faire apparaître la production et l'utilisation totales d'électricité et de chaleur, ou seulement les quantités vendues et utilisées en dehors de l'industrie où elles sont produites? Ces problèmes ont déjà été examinés au chapitre III.

189. Une activité différente mais connexe est la production de chaleur de température moyenne ou basse pour le chauffage urbain dans des centrales uniquement calogènes. Les bilans qui réservent une ligne à cette activité (Autriche, République fédérale d'Allemagne, Suède et bilans internationaux de la CEE et de Brookhaven/Julich) fournissent également une colonne pour la production de chaleur, et cette colonne est aussi utilisée pour consigner la chaleur produite conjointement avec de l'électricité par le réseau public et les installations industrielles d'autoproduction. Le bilan des Pays-Bas ne réserve aucune ligne à la production de chaleur, mais celle-ci figure cependant dans une colonne où est consigné un chiffre important pour la production primaire. Il s'agit du contenu calorifique de la vapeur produite dans les centrales nucléaires à laquelle est ajoutée la chaleur produite par l'incinération des déchets urbains et industriels. Il existe également des entrées pour la chaleur produite par les raffineries de pétrole et les centrales électriques du réseau public. On trouve une entrée correspondante pour les apports de chaleur à la production d'électricité, mais la majeure partie de cet approvisionnement total de chaleur apparaît comme étant consommée par l'industrie en tant qu'utilisateur final.

190. Une question plus difficile est celle de savoir où consigner l'apport de combustible nécessaire pour la production combinée de chaleur et d'électricité. Dans le bilan suédois on trouve des lignes distinctes pour les centrales d'électricité, de chaleur et de production combinée et il en est de même dans le bilan de la CEE 52/ (pour les combustibles individuels). C'est une bonne solution puisqu'elle évite la nécessité de ventiler les entrées de combustibles entre les deux productions associées, chaleur d'une part, et électricité de l'autre. Dans les bilans qui distinguent les centrales calogènes et les centrales électriques (et non les centrales combinées) - à savoir Autriche, République fédérale d'Allemagne et Brookhaven/Julich - il semble que la chaleur qui est en fait produite par les installations industrielles combinées soit enregistrée à la ligne

52/ Bulletin annuel de statistiques de l'énergie.

chauffage urbain, même si la plus grande partie de cette chaleur est utilisée dans l'industrie où elle est produite; le combustible y relatif est consigné, quant à lui, à la ligne affectée à l'industrie qui produit l'électricité. Il s'ensuit - s'il s'agit bien là de la convention adoptée dans ces bilans - que les entrées attribuées à la production de chaleur sont trop faibles et que les entrées attribuées à l'autoproduction d'électricité sont vraisemblablement trop fortes en proportion de cette électricité.

191. C'est à bon escient que nous avons employé le mot "vraisemblablement", car la question de savoir si les entrées servant à des produits associés devraient être réparties entre ces produits reste pour le moment sans réponse. Il y a, d'un côté, ceux qui soutiennent qu'une telle répartition ne saurait être qu'artificielle et, étant fondée sur une convention plus ou moins arbitraire, ne devrait donc pas être tentée. D'autres affirment, par contre, qu'une analyse énergétique (voir chap. I, sect. C) n'est possible que si on peut identifier en amont tous les apports énergétiques entrant dans un produit ou un processus, de sorte que si l'un de ces apports est l'électricité provenant d'une production combinée chaleur/électricité, alors on n'a pas d'autre choix que de ventiler d'une façon ou d'une autre les entrées énergétiques servant à ces deux productions d'énergie. Ce problème sera discuté plus en détail à l'annexe I 53/. Que l'on assigne ou non une ligne distincte à la production combinée chaleur/électricité, et que l'autoproduction d'électricité soit consignée au titre de la transformation ou à celui de l'utilisation finale, cela ne signifie pas qu'il faille absolument ventiler les entrées entre différentes lignes (c'est-à-dire entre différentes productions). La façon la plus neutre de présenter l'information est d'enregistrer les entrées et les deux sorties sur la seule ligne réservée à l'activité.

192. Certains bilans qui ne prévoient pas spécifiquement une ligne pour la production de chaleur, que ce soit dans des centrales uniquement thermiques ou dans des installations combinées, prévoient néanmoins de consigner la chaleur récupérée, ainsi que la chaleur produite par incinération des déchets urbains et industriels, soit dans une colonne spéciale (Italie, Pays-Bas et Pologne), soit sous forme d'électricité produite par la chaleur de récupération (Portugal, CEE et OSCE).

5. Utilisations non énergétiques

193. Ce flux est plus complexe qu'il ne paraît. Il englobe deux éléments relativement simples, à savoir l'utilisation à des fins non énergétiques de produits qui sont des sources d'énergie par leur nature même (charbon, gaz naturel, gaz de pétrole liquéfié, naphte, etc.) et l'utilisation de produits qui sont rarement ou jamais - jusqu'à présent - considérés comme des sources d'énergie (lubrifiants, cires et white spirit, etc.). Les bilans italiens distinguent clairement entre ces deux flux. Les autres bilans distinguent l'utilisation mais non les deux groupes de produits.

194. Les complications surgissent parce que, comme nous l'avons signalé plus haut, une partie du coke utilisée dans les hauts fourneaux peut être considérée comme une matière première plutôt que comme un combustible. Le bilan néerlandais

53/ Voir aussi recommandations de la FIIHE (déjà citées) et UNIPED (1976).

donne une colonne pour les importations de matière première hydrocarburée servant à la fabrication du noir de charbon, qui est entièrement affectée à des utilisations non énergétiques (surtout comme matériau de remplissage dans la fabrication de caoutchouc). On pourrait soutenir que les importations et les exportations d'électrodes devraient également figurer car il s'agit d'une alternative à l'importation et à l'exportation de coke de pétrole, largement utilisé dans leur fabrication. Une fois de plus, il y a un rapport conceptuel entre les lignes réservées aux activités et aux utilisations et les colonnes réservées aux produits, et il faut toujours préciser clairement quels sont les produits couverts par un bilan énergétique.

6. Utilisateurs finals

195. Le degré de détail qu'indique cette partie des bilans examinés varie considérablement. On trouve dans tous ces bilans une certaine ventilation entre les postes industrie, transports et autres utilisateurs finals. Le nombre d'industries qui sont répertoriées est de 30 en Autriche, 20 environ dans la République fédérale d'Allemagne, 15 environ en France (CEREN) et au Japon (IEE) et 10 environ en Argentine, en Italie (Ministère de l'industrie et du commerce), aux Pays-Bas et dans le bilan Brookhaven/Julich, ce nombre descendant à cinq ou moins dans les autres bilans examinés. Certains pays (par exemple le Royaume-Uni) ne fournissent qu'un résumé de l'utilisation industrielle de l'énergie dans le bilan énergétique lui-même et donnent beaucoup de détails dans les tableaux annexes. Le nombre des modes de transport varie de 1 à 5. Le traitement des secteurs restants - notamment la distinction éventuelle entre utilisation domestique et résidentielle - diffère également selon les cas. Le bilan polonais traite l'autoconsommation des industries énergétiques comme un élément de l'utilisation finale.

196. Nous reviendrons sur la question du degré de détail souhaitable entre utilisateurs et finalités de l'utilisation de l'énergie. Le bilan Brookhaven/Julich a réduit le nombre de catégories d'utilisateurs afin d'avoir de la place pour ventiler les lignes réservées à l'usage domestique et à l'usage commercial entre chauffage des locaux/eau, chaleur/autres, et de ventiler le transport routier entre autobus, camions et automobiles. D'autres répartitions sont possibles et un certain nombre d'entre elles sont retenues dans l'un des bilans de bas en haut examinés plus loin dans ce chapitre.

7. Unités d'origine et unités de compte communes

197. Nombre des bilans examinés sont publiés par paires ayant la même structure, l'un des éléments montrant les unités d'origine (ou spécifiques) et l'autre les mêmes données exprimées dans une unité de compte commune (voir plus loin). Cette pratique est suivie par le Canada, la République fédérale d'Allemagne, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal et la Suède. Dans le cas de l'Autriche, le bilan exprimé en unités communes ne donne aucun détail sur les industries de transformation ou sur la composition du secteur d'utilisation finale, mais les matrices annexes "fabrication" et "absorption", où les données ne sont exprimées qu'en unités d'origine, sont très détaillées comme on l'a déjà signalé. Le Royaume-Uni a publié pour neuf groupes d'industrie des données séparées en unités spécifiques et en unités communes concernant les livraisons de chaque principal type de combustible.

198. Le bilan français (CEREN) indique dans un seul bilan les unités d'origine en détail pour chaque grande catégorie de source d'énergie (solides, liquides, gaz et électricité) et donne ensuite un groupe de colonnes indiquant les totaux par lignes pour chaque type de source et pour chaque élément du bilan exprimé en unité commune. Le bilan polonais non publié utilise deux colonnes pour chaque source d'énergie, les chiffres étant exprimés en unités spécifiques dans la première colonne et en unités communes dans la deuxième.

199. Jusqu'en 1978, les bilans de l'OSCE distinguaient les bilans séparés par sources d'énergie des bilans regroupant toutes les sources afin de pouvoir mettre plus facilement en tableaux les séries chronologiques. Les données d'origine sur lesquelles reposent les bilans d'ensemble peuvent donc se retrouver réparties entre les tableaux de séries chronologiques pour chaque source d'énergie. En 1979, l'OSCE a adopté une structure matricielle pour ses bilans et a dédoublé les tableaux, l'un montrant les unités d'origine et l'autre les unités communes.

200. En ce qui concerne l'unité commune, le térajoule (ou un multiple de cette unité) était déjà utilisé en 1977 par cinq pays (Nouvelle-Zélande, Norvège, Portugal, Suède et Royaume-Uni), et tous les autres membres de la Communauté économique européenne (Belgique, Danemark, France, République fédérale d'Allemagne, Irlande, Italie, Luxembourg et Pays-Bas) ont adopté le TJ en 1978. L'Autriche compte faire de même et la Pologne et la Hongrie comptent adopter le TJ en 1980. Le TJ est également utilisé dans l'Annuaire nordique des statistiques et dans le nouveau bilan énergétique de la Commission économique pour l'Europe (CEE) ainsi que dans les documents de la Commission de la conservation de la CME et par Nebbia. Le nouveau bilan de l'OSCE publié en 1979 utilise également le TJ.

201. La téracalorie (ou un multiple de cette unité) est actuellement utilisée par au moins sept pays : Argentine, Autriche (OSZ), Hongrie, Japon, Mexique, Pologne et Etats-Unis (dans le bilan provisoire de la FEA). La tonne d'équivalent pétrole (tep) est maintenant utilisée par l'OCDE, le Brésil, la Finlande, la France (CEREN), la CEE (Bruxelles) et l'OSCE (Luxembourg) ainsi que par au moins deux grandes sociétés pétrolières. La tonne d'équivalent charbon (tec) est actuellement utilisée par l'Autriche (OIW), la France (IEJE) et les Nations Unies (séries J). Comme on l'a signalé au chapitre IV, section H, l'utilisation d'un même nom, que ce soit tep ou tec, pour désigner une unité comptable ne signifie pas que la procédure suivie pour parvenir à cette unité soit la même, même lorsque la définition de l'unité en termes de contenu énergétique est identique.

202. Certaines compagnies de pétrole utilisent dans leurs bilans énergétique le baril standard de pétrole par jour. La British Thermal Unit (BTU) est utilisée au Canada et aux Etats-Unis dans les bilans publiés et la thermie est encore utilisée au Royaume-Uni (conjointement avec le TJ). Le Royaume-Uni utilise également la tep et la tec comme unités de présentation.

8. Pouvoir calorifique des combustibles

203. Tous les pays à l'exception du Canada, du Japon, de la Nouvelle-Zélande, du Royaume-Uni et des Etats-Unis utilisent le PCI.

9. Agrégation des sources d'énergie

204. Lorsque l'on a examiné les diverses manières de traiter les rubriques relatives aux industries de transformation, on a signalé que les options devaient être considérées dans l'optique du traitement accordé aux entrées et aux sorties de ces industries dans les colonnes "produits" d'un bilan. Il s'agit là d'un cas particulier du problème que pose l'agrégation horizontale des sources d'énergie. Nous allons maintenant l'examiner sous une forme généralisée.

205. Pour plus de simplicité, le reste de la présente section raisonnera sur le cas d'un pays hypothétique dont les flux d'énergie ont la structure indiquée dans le tableau ci-après. Chaque colonne représente un bilan de produits énergétiques simplifié où l'on suppose au départ que chaque chiffre indique les quantités mesurées dans l'unité physique la plus communément utilisée pour chaque source d'énergie (tonnes pour les combustibles solides et liquides et kWh. pour l'électricité). Il ne peut y avoir de colonne "total" à cette étape.

Bilans de produits énergétiques

Flux \ Source	Charbon (C)	Pétrole brut (P)	Produits raffinés (R)	Electricité (E)
Production	100	-	95	30
Importations	10	100	-	-
Exportations	-	-	1	-
Approvisionnement total	110	100	94	30
Entrée en transformation	-	100	90	-
Utilisation finale	110	-	4	30
Demande totale	110	100	94	30

Les variations de stocks, l'autoconsommation de l'industrie énergétique, les soutages, les pertes de distribution et les utilisations non énergétiques sont délibérément laissées de côté car elles n'affectent pas le raisonnement. Avec ces simplifications, les vingt bilans "de haut en bas" considérés dans cette section peuvent être ramenés à six formes fondamentales. Pour simplifier encore, on remplacera les intitulés complets des lignes et des colonnes par les lettres figurant entre parenthèses dans le tableau ci-dessus. (Plus tard, nous introduirons d'autres traitements de l'électricité pour tenir compte de la variété des pratiques existantes.)

206. Supposons maintenant que les chiffres du tableau ci-dessus ont déjà été convertis dans une seule unité commune (par exemple le térajoule). Le tableau indiquerait alors que le pays a produit 100 TJ, importé 10 TJ et consommé 110 TJ de charbon sans en avoir utilisé aucune partie pour la transformer en coke ou en autre produit combustible solide, en gaz ou en électricité; il a importé 100 TJ de pétrole brut dont il a tiré 95 TJ de produits raffinés, dont 1 TJ a été exporté et 4 TJ sont allés à la consommation finale. Les 90 TJ restants ont été utilisés pour la production d'électricité qui a totalisé 30 TJ, entièrement consommés par les utilisateurs finals d'énergie.

207. Ajoutons maintenant une colonne "total" afin de transformer les quatre bilans séparés en un bilan énergétique global :

Bilan énergétique global : type I
(en térajoules)

Source Flux	C	P	R	E	Total
Production	100	-	95	30	225
Importations	10	100	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	1
Approvisionnement total	110	100	94	30	334
Entrée en transformation	-	100	90	-	190
Utilisation finale	110	-	4	30	114
Demande totale	110	100	94	30	334

Les calculs arithmétiques sont simples et c'est là la forme de base adoptée pour les bilans italien (Ministère de l'industrie et du commerce), norvégien, polonais et portugais (bien que le traitement de l'électricité diffère dans chacun des cas).

208. Une faiblesse de ce type de présentation réside dans le fait que le total de la première ligne, et par conséquent l'approvisionnement total, compte deux fois les sources d'énergie primaire utilisées pour la transformation : à la ligne production les 95 TJ de produits pétroliers raffinés contiennent les 30 TJ d'électricité, et à la ligne approvisionnement total, les 100 TJ de pétrole brut contiennent les 95 TJ de produits raffinés (dont 1 TJ a été exporté) qui renferment eux-mêmes les 30 TJ d'électricité (de sorte qu'on pourrait même dire que l'énergie électrique est comptée trois fois). Ce double comptable est éliminé par la ligne entrée en transformation, mais il reste que le chiffre de l'approvisionnement a été compté deux fois.

209. Une façon de résoudre ce problème est de compter, dans la colonne "Total" de la ligne production, uniquement les sources d'énergie primaires qui figurent dans cette ligne. Si l'on opère ainsi, l'entrée dans la colonne "Total" de la ligne transformation ne peut refléter que les pertes en cours de transformation : ces pertes, ajoutées aux quantités totales d'énergie secondaire (et primaire) fournies aux utilisateurs finals forment l'utilisation totale des disponibilités d'énergie. C'est là la forme de base du bilan italien (ENI) :

Bilan Énergétique global : type II
(en térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	E	Total
Production	100	-	(95)	(30)	100
Importations	10	100	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	1
Approvisionnement total	110	100	94	30	209
Entrée en transformation	-	(100)	(90)	-	65
Utilisation finale	110	-	4	30	144
Demande totale	110	100	94	30	209

Bien que cette façon de procéder élimine le double comptage, elle rend le bilan moins aisé à suivre et la relation entre les entrées dans les cases correspondant aux lignes et les totaux de ces lignes peuvent devenir obscurs lorsqu'il y a de nombreuses colonnes. Les véritables entrées en transformation peuvent être inscrites dans le tableau (comme on le voit entre parenthèses), mais seule la perte de transformation (c'est-à-dire la différence entre l'entrée de 190 TJ et la production de 125 TJ) apparaît dans la case total de la ligne transformation.

210. Certains pays (Autriche (OSZ), Pays-Bas jusqu'à en 1976 compris, France (CEREN) et Nouvelle-Zélande) font la distinction entre une ligne pour les sources d'énergie primaire et une ligne pour la production d'énergie secondaire dans la section approvisionnement du bilan, ce qui permet de montrer clairement des entrées en transformation ainsi que les sorties, mais introduit à nouveau un double comptage à la ligne réservée à l'approvisionnement total. Dans le tableau ci-après, la ligne de la production secondaire a été appelée "sortie de transformation".

Bilan Énergétique global : type III
(en térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	E	Total
Production primaire	100	-	-	-	100
Sortie de transformation	-	-	95	30	125
Importations	10	100	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	1
Approvisionnement total	110	100	94	30	334
Entrée en transformation	-	100	90	-	190
Utilisation finale	110	-	4	30	144
Demande totale	110	100	94	30	334

Les quatre bilans nationaux qui viennent d'être mentionnés adoptent en fait la séquence suivante : production primaire ... importations ... production de sources secondaires. Le bilan CEREN intercale un total partiel "approvisionnement primaire total" avant de déduire les exportations. Le bilan néo-zélandais distingue entre "l'approvisionnement brut", y compris le double comptage, et "l'approvisionnement net" qui est une ligne intercalée après la rubrique "entrée de transformation". Le bilan autrichien (OSZ) traite les exportations comme une composante de la demande plutôt qu'une diminution de l'offre. (La même convention pour les exportations est suivie dans le bilan japonais (SOGO), mais la structure fondamentale des deux bilans japonais est différente : voir plus loin.) Ceci a pour effet de modifier les chiffres réels de l'approvisionnement total et de la demande totale, ce qui est un exemple parmi bien d'autres de la façon dont un même concept peut avoir des significations très différentes.

211. Un cadre plus rigoureux est utilisé dans sept autres bilans 54/. Il apparaît le plus clairement dans les bilans de la République fédérale d'Allemagne et de Brookhaven/Julich ainsi que dans le dernier bilan de l'OSCE. Tous ces bilans traitent tout à fait séparément la production de sources d'énergie primaires, d'une part, et la production de sources secondaires, d'autre part. Le bilan est structuré pour former trois parties distinctes (approvisionnement primaire, transformation et utilisation finale) plutôt que les deux parties habituelles (approvisionnement et utilisation) :

54/ Autriche (OIW), République fédérale d'Allemagne, Suède, Pays-Bas (depuis 1977), Etats-Unis (FEA), Brookhaven/Julich et OSCE.

Bilan Énergétique global : type IV
(en térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	E	T
Production	100	-	-	-	100
Importations	10	100	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	-
Approvisionnement total	110	100	-1	-	209
Entrée en transformation	-	100	90	-	190
Sortie de transformation	-	-	95	30	125
Ecart	-	-100	+5	+30	+65
Utilisation finale	110	-	4	30	144

La ligne "écart" a été ajoutée pour montrer la sortie nette du secteur de transformation. Cette ligne n'apparaît pas explicitement dans les bilans publiés et peut paraître anormale dans la mesure où elle semble indiquer un gain au cours de la transformation de pétrole brut en produits raffinés. Cependant, cette structure de bilan a permis de récupérer la perte globale du secteur de transformation (65 TJ), mais sans présenter l'inconvénient du bilan du type II.

212. L'anomalie apparente du gain en cours de traitement disparaît lorsque les lignes correspondant aux entrées et sorties du secteur transformation sont désagrégées pour faire apparaître les industries Énergétiques qui les composent :

Bilan Énergétique global : type IV
(en térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	E	T
Production	100	-	-	-	100
Importations	10	100	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	1
Approvisionnement total	110	100	-1	-	209
ET (Raffineries Centrales Électriques)	- -	100 -	- 90	- -	100 90
ST (Raffineries Centrales Électriques)	- -	- -	95 -	- 30	95 30
Utilisation finale	110	-	4	30	144

Le bilan global autrichien (OIW) ne ventile pas les entrées entre les diverses industries de transformation, et ni ce bilan ni le bilan provisoire de la FEA n'indiquent si la sortie d'une source d'énergie dérivée quelconque vient d'une ou de plusieurs industries de transformation. Cela n'a pas d'importance si l'on ne distingue qu'autant de types de sorties d'énergie qu'il y a d'industries de transformation et si chaque industrie n'a qu'un seul type de production. Cependant, si une production provient de deux ou plusieurs sources énergétiques ou industries, il est alors souhaitable de subdiviser les industries de manière à montrer clairement les rapports entre les entrées affectées à chaque forme d'énergie dérivée.

213. Prenons le cas d'un produit qui peut être dérivé, soit du charbon, soit du pétrole brut (par exemple, un gaz ayant des caractéristiques particulières). Il convient alors d'ajouter une nouvelle ligne (ainsi qu'une nouvelle colonne).

Bilan Énergétique global : type IV légèrement développé
(en térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	G*	E	T
Production	100	-	-	-	-	100
Importations	10	100	-	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	-	1
Approvisionnement total	110	100	-1	-	-	209
ET (Raffineries	-	100	-	-	-	100
(Centrales Électriques	-	-	90	-	-	90
(Usines de gaz	10	-	4	-	-	14
ST (Raffineries	-	-	95	-	-	95
(Centrales Électriques	-	-	-	-	30	30
(Usines de gaz	-	-	-	12	-	12
Utilisation finale	100	-	-	12	30	142

* Gaz industriel.

Le bilan allemand et celui de Brookhaven/Julich distinguent, comme on l'a déjà signalé, une douzaine d'activités de transformation distinctes. Les bilans de la Suède, des Etats-Unis (FEA) et de l'OSCE en distinguent un peu moins. Le bilan de l'OSCE (Jusqu'en 1978) se présentait un peu différemment de la forme indiquée ci-dessus, car il regroupait les divers bilans spécifiques en les distinguant du bilan "toutes sources" et fournissait les données pour chaque source sous chacun des postes indiqués ci-dessus afin de faciliter la publication de séries chronologiques. On avait alors la présentation suivante :

Production

Charbon

Pétrole brut

.

Importations

Charbon

Pétrole brut

.

214. Le bilan canadien résout d'une manière tout à fait différente le problème du double comptage. Il construit deux bilans semblables mais distincts, l'un pour les sources primaires et l'autre pour les sources secondaires, puis il agrège les disponibilités nettes résultant de chaque bilan, ce qui donne le tableau suivant :

Bilan Énergétique global : type V
(en térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	E	T
<u>Sources primaires</u>					
Production	100	-	-	-	100
Importations	10	100	-	-	10
Exportations	-	-	-	-	-
Entrées en transformation	-	100	-	-	100
S₁	110	-	-	-	110
<u>Sources dérivées</u>					
Production	-	-	95	30	125
Entrée	-	-	-	-	-
Energie	-	-	1	-	1
Entrées en transformation	-	-	90	-	90
S₂	-	-	4	30	34
Total S₁ + S₂	110	-	4	30	144
Utilisation finale	110	-	4	30	144

Cette solution résout en effet le problème du double comptage, mais elle entraîne un grand nombre de cases vides, notamment dans la première partie du bilan. Une approche semblable est utilisée dans les bilans officiels français 55/ qui vont encore plus loin et font apparaître un mini-bilan pour chaque source d'énergie spécifique. Ces bilans français ne sont pas faciles à utiliser parce que tous les

55/ Publication du Comité national français de la Conférence mondiale de l'énergie.

chiffres concernant les sources spécifiques ne sont fournis qu'en unités d'origine, seul le total pour toutes les énergies étant exprimé dans une unité commune (la tep), et le rapport entre les chiffres des divers éléments et les totaux respectifs (si total il y a) des lignes n'est pas toujours très clair.

215. Parmi tous les bilans que nous avons passés en revue dans cette section jusqu'à présent, c'est le type utilisé par la République fédérale d'Allemagne, par l'équipe Brookhaven/Julich et celui adopté en 1979 par l'OSCE qui sont les plus clairs et les plus informateurs, surtout en raison du traitement détaillé des entrées et des sorties de chaque industrie de transformation qui peuvent y figurer. Il subsiste néanmoins un certain double comptage (comme le signalent les notes au bilan allemand) parce qu'il y a des lignes de total séparées pour les entrées en transformation et les sorties. Le total des entrées comprend le brut destiné aux raffineries et le fuel destiné aux centrales électriques. Le total des sorties comprend les produits pétroliers et l'électricité. Cette partie du bilan prend cependant beaucoup de place qui pourrait être mieux utilisée, par exemple en adoptant des caractères typographiques plus lisibles ou en développant la section "utilisation finale" de manière à donner des renseignements sur les principaux usages de l'énergie (chauffage des locaux, chaleur, chaleur de procédé, force motrice, lumière, etc.) dans chaque classe d'utilisation finale 56/.

216. Très peu de cases de la section transformation du bilan ont des postes à la fois "entrée" et "sortie". On ne perdrait donc guère d'informations en ajoutant, au sens matriciel (c'est-à-dire case à case ou par superposition), les sous-matrices entrées et sorties du bilan. Cette façon de procéder a l'avantage non seulement de dégager une place précieuse pour de nouvelles informations (par exemple, une analyse plus détaillée de l'utilisation finale), mais aussi de faire ressortir explicitement les pertes de chaleur subies dans chaque processus de transformation. Il faut maintenant affecter les entrées d'un signe "-", les sorties d'un signe "+" sur la même ligne, de cette façon les pertes de chaleur apparaissent avec un signe "-" dans la colonne "total" :

56/ L'Argentine publiait autrefois un bilan global détaillé, mais depuis dix ans environ elle ne publie plus que des tableaux séparés qui montrent respectivement l'approvisionnement en énergie primaire et secondaire, les entrées et sorties à la transformation et les utilisateurs finals. Le Brésil publie un bilan global relativement simple qui n'indique les quantités que sur la base de l'entrée d'énergie primaire.

Bilan Énergétique global : type VI
(en térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	G	R	T
Production	100	-	-	-	-	100
Importations	10	100	-	-	-	110
Exportations	-	-	-1	-	-	-1
Approvisionnement disponible	110	100	-1	-	-	209
Usines de gaz	-10	-	-4	+12	-	-2
Raffineries	-	-100	+95	-	-	-5
Centrales Électriques	-	-	-90	-	+30	-60
Utilisation finale	100	-	-	12	30	142

Cette structure est utilisée par la Finlande, le Japon, le Royaume-Uni, l'OCDE et la CEE (Genève) dans son nouveau bilan Énergétique. Les exportations sont affectées d'un signe négatif mais l'intitulé de ligne est en général censé indiquer clairement la nécessité de soustraire les chiffres figurant à la ligne lorsqu'on additionne une colonne 57/.

217. Cette présentation est économe d'espace mais claire lorsqu'on s'est habitué à interpréter le sens des signes dans la section transformation. En suivant par exemple la ligne "raffinerie", nous voyons que des entrées de 100 TJ de pétrole brut ont fourni à la sortie 95 TJ de produits pétroliers avec une perte de 5 TJ en cours de raffinage. Si nous suivons la colonne raffinerie, nous nous apercevons que la sortie de 95 TJ a été employée comme suit : 90 TJ pour les centrales électriques, 4 TJ pour les usines à gaz qui ont utilisé par ailleurs 10 TJ de charbon, et 1 TJ à l'exportation. Aucune information n'est perdue puisqu'on peut toujours diviser en deux parties ou davantage toute ligne ou colonne si, pour un pays donné, une case transformation quelconque avec le nombre existant de lignes et de colonnes devait contenir à la fois les données des entrées et celles des sorties. En même temps, un bilan détaillé peut facilement être réduit à un niveau d'agrégation supérieur. De plus, le double comptage est éliminé et ce n'est pas là un moindre avantage.

57/ Un coup d'oeil trop rapide sur la ligne "exportations" pourrait tromper le lecteur et lui faire croire qu'un chiffre négatif signifie une importation nette.

10. Energie nucléaire

218. L'énergie nucléaire, hydromécanique et géothermique ainsi que les autres sources d'énergie renouvelables posent un problème qui a déjà été examiné sous un autre angle au chapitre IV (sections C et D). Ces énergies sont transformées en électricité mais elles ne peuvent entrer dans les cadres comptables que nous avons examinés que si on trouve un nouveau type de mesure ou si l'on adopte une convention permettant de les exprimer dans l'unité commune choisie. Ce problème présente deux aspects dans le cas des pays qui préparent des bilans aussi bien en unités spécifiques qu'en unités communes. Dans la présente section, nous nous bornerons à examiner l'énergie nucléaire.

219. L'annexe II décrit sommairement la nature de la fission nucléaire et la manière dont cette réaction est exploitée pour produire de l'électricité. Les deux caractéristiques essentielles qui nous intéressent pour le moment sont, premièrement, le fait que la quantité d'énergie que l'on peut obtenir à partir d'un montant donné de combustibles nucléaires dépend du type de réacteur où se produit la fission, et, deuxièmement, que la quantité d'énergie obtenue au cours d'une année à partir du combustible nucléaire déposé dans le coeur d'un réacteur de quelque type que ce soit ne constitue qu'une fraction très faible de la quantité totale d'énergie qui est récupérable, en l'état actuel de la technologie, au cours de toute la durée utile du réacteur. Il s'ensuit que si l'on veut faire entrer dans un bilan énergétique les stocks et les flux de combustibles nucléaires en même temps que l'électricité produite à partir de la chaleur dégagée par la fission, il faut établir une corrélation entre la valeur énergétique des stocks de combustibles et la population existante de réacteurs ainsi que la technologie actuelle de préparation et de recyclage du combustible nucléaire. A strictement parler, cela signifierait que lorsque la technologie change il faudrait réévaluer le contenu énergétique du combustible dans le coeur des réacteurs existants. Comme on l'a indiqué 58/, c'est un peu comme si l'on ne pouvait retirer qu'une partie de la chaleur emmagasinée dans la houille alimentant les centrales électriques et que l'on avait un résidu entreposable partiellement brûlé dont l'énergie récupérable serait fonction de la technologie actuelle et future en matière de combustion de la houille.

220. Ce problème redoutable est examiné plus à fond à l'annexe III. Dans les bilans énergétiques examinés lorsque nous avons préparé le présent manuel, aucun des pays dotés de centrales nucléaires ne tente de chiffrer (dans ses bilans) les variations de stocks de combustibles nucléaires. Quatre d'entre eux s'efforcent de quantifier la consommation de combustibles nucléaires, soit en termes de masse (Italie et Pays-Bas) soit sous forme d'une unité énergétique telle que la tec (République fédérale d'Allemagne) ou la tep (Suède). La base dont partent les estimations italiennes n'est pas entièrement claire. Les Pays-Bas indiquent la sortie de chaleur du coeur des réacteurs sous forme de quantité de vapeur utilisée comme entrée pour la production d'électricité d'origine nucléaire. Les chiffres allemands et suédois sont obtenus en remontant en arrière, en partant de l'hypothèse que le rendement de la production d'électricité d'origine nucléaire est un peu inférieur (Suède) ou égal (Allemagne) à celui des centrales thermiques classiques. La méthode allemande est également utilisée dans le bilan Brookhaven/Julich. Aucun des autres pays ou organismes internationaux ne font

58/ Chapitre III, section C.

apparaître le combustible nucléaire comme source d'énergie mais se contentent d'indiquer l'électricité d'origine nucléaire (parfois appelée cependant "énergie nucléaire" dans certains bilans).

221. Dans les bilans présentés dans une unité de compte commune, la pratique quasi-universelle est de représenter l'énergie nucléaire par l'équivalent de combustible fossile de l'électricité produite dans les centrales nucléaires. Le Canada, la Nouvelle-Zélande et les Nations Unies (série J) publient les seuls bilans qui indiquent l'électricité d'origine nucléaire en termes de valeur thermique (et non en équivalent de combustible fossile). Les coefficients de rendement varient considérablement d'un bilan à l'autre, de sorte qu'il y a un problème de comparabilité entre les pays 59/.

222. Tous les pays produisant de l'électricité d'origine nucléaire, à l'exception de l'Allemagne, ainsi que les bilans internationaux de la CEE, de l'OSCE (jusqu'en 1978) et de l'OCDE, comptabilisent la production d'électricité d'origine nucléaire comme une activité entièrement intérieure nullement tributaire des importations. Le bilan allemand fait apparaître l'électricité d'origine nucléaire comme étant importée. En 1979, l'OSCE a adopté le même principe, mais indique une importation de chaleur plutôt que d'équivalent charbon. (Dans le cas de la France, qui dispose d'un peu d'uranium indigène, le bilan de l'OSCE indique la chaleur primaire comme étant à la fois importée et produite dans le pays.)

223. On examinera à l'annexe III en plus grand détail la base conceptuelle d'un bilan complet d'énergie nucléaire. Une base plus réaliste pour acheminer les pratiques actuelles vers une comptabilisation complète serait d'adopter les principes ci-après dans les bilans énergétiques nationaux :

a) Dans le bilan énergétique principal, la "production d'électricité d'origine nucléaire" devrait disposer d'une ligne à part. Il faudrait ajouter une nouvelle colonne intitulée "combustible nucléaire". L'entrée dans la case commune devrait être le dégagement de chaleur enregistré ou estimé (ou consommation de combustible) dans le réacteur (affecté du signe -). Le même chiffre devrait être reporté dans la colonne et répété (avec le signe +) soit à la ligne production, soit à la ligne importation, selon que le pays en question est producteur ou importateur de minerai d'uranium. Pour plus de simplicité (dans le bilan principal), il ne faudrait pas essayer de distinguer si le minerai importé est enrichi ou fabriqué dans le pays qui l'utilise, ni indiquer les exportations éventuelles de matières nucléaires. Il faudrait en principe introduire une nouvelle ligne pour le traitement du combustible (notamment les usines de séparation des isotopes) afin que le bilan puisse faire ressortir le flux d'électricité vers cette industrie grande consommatrice d'énergie. Le mieux serait de placer cette ligne dans la section transformation ou dans la section utilisation finale du bilan, mais si cette procédure est inacceptable parce que les renseignements sont jugés confidentiels, il faudrait au moins porter sur la ligne "autres industries" du secteur d'utilisation finale la consommation d'électricité de l'industrie nucléaire.

59/ Certains bilans prétendent enregistrer la chaleur dégagée par les réacteurs, mais dans la pratique ils semblent tous arriver à une estimation de cette quantité à partir des coefficients de rendement ou admettre un certain pourcentage d'efficacité pour arriver à un coût d'opportunité de l'électricité d'origine nucléaire en termes de combustibles fossiles.

b) Dans un tableau annexe, il faudrait prévoir des lignes et des colonnes réservées aux flux à l'entrée et à la sortie des réacteurs thermiques (voir graphique 1 à l'annexe III). Ce tableau devrait indiquer des données disponibles au moins en unités d'origine (tonnes). Si possible, un deuxième tableau construit sur le même schéma indiquerait les mêmes flux en térajoules. Pour la conversion en térajoules, le coefficient devrait tenir compte de la technologie nucléaire actuelle (à savoir réacteur à eau légère avec trois recyclages de combustible irradié ou réacteur à eau lourde sans recyclage. Ces deux technologies ont à peu près le même coefficient de conversion.)

11. Energie hydromécanique et géothermique

224. Ces deux sources d'énergie n'ont pas les mêmes problèmes de stock que l'énergie nucléaire : fort heureusement (aux fins de la présente étude) les stocks d'eau et de chaleur géothermique sont considérés comme des réserves ou des ressources et n'entrent donc pas dans le cadre de ce manuel. Il reste cependant le problème de savoir comment chiffrer l'entrée primaire à l'électricité produite à partir de l'énergie hydraulique ou géothermique.

225. Au chapitre IV, trois approches à ce problème sont indiquées. Dans les pays où l'hydro-électricité joue un rôle important parce qu'elle est abondante et donc bon marché, la structure de la consommation énergétique est devenue fortement dépendante de cette électricité peu coûteuse. Il serait alors très artificiel d'exprimer l'hydro-électricité en termes de contenu énergétique du combustible fossile qui serait nécessaire pour produire la même quantité d'électricité, car ces pays affirment, à juste titre, qu'ils n'utiliseraient pas autant d'électricité s'ils ne pouvaient la produire à peu de frais à partir de leurs abondantes ressources d'énergie hydromécanique. Les Suédois, les Autrichiens et les Italiens (MIC) utilisent le rendement moyen des centrales hydro-électriques (80-85 p. 100) pour exprimer l'hydro-électricité en termes de son entrée théorique d'énergie primaire.

226. Les bilans américain (FEA), canadien, français (IEJE), néo-zélandais et norvégien comptabilisent l'hydro-électricité comme énergie primaire. Cette deuxième approche se fonde sur le raisonnement suivant : à l'exception de cas rares et relativement peu importants d'exploitation directe de l'énergie hydromécanique pour l'entraînement de machines, l'énergie hydraulique doit être convertie en électricité avant de convenir à une utilisation générale.

227. La troisième approche consiste à raisonner comme dans le cas de l'énergie nucléaire et à utiliser le modèle de substitution partielle ou le coût d'opportunité. C'est l'approche adoptée dans le bilan italien établi par l'ENI et dans les bilans de la République fédérale d'Allemagne, du Portugal, de l'OSCE et de l'OCDE, mais les coefficients de rendement retenus varient considérablement entre ces divers bilans.

228. L'électricité d'origine géothermique est exprimée sous forme d'énergie calorifique dans le bilan néo-zélandais, en équivalent de combustible fossile dans le bilan italien (ENI) mais sur une base d'énergie physique théorique (avec un rendement d'environ 10 p. 100) dans le bilan italien (MIC) et le bilan Nebbia.

229. En raison des résultats radicalement différents auxquels on aboutit en utilisant, d'une part, la base du coût d'opportunité (en retenant un rendement d'environ 35 p. 100) et, d'autre part, l'entrée théorique d'énergie primaire (en retenant un rendement de 80 p. 100 pour l'hydro-électricité et de 10 p. 100 environ pour l'énergie géothermique), les nouveaux bilans de la CEE (Genève) et du Bureau de statistique des Nations Unies (New York) fournissent des données sur les deux bases pour les incorporer au même tableau. La même solution a été adoptée pour certaines analyses à Darmstadter (1971).

230. On se souviendra toutefois que des recommandations ont déjà été formulées en vue d'enregistrer la production d'hydro-électricité sous forme d'électricité, mais avec un équivalent d'entrée de combustible fossile en tant que statistique supplémentaire (par, 105) est d'enregistrer la chaleur géothermique en tant que telle (par, 114). Les exemples ci-après illustrent la façon de procéder pour faire entrer dans un bilan énergétique global ces diverses bases de traitement de l'électricité hydraulique et géothermique (ainsi que nucléaire).

12. Traitement de l'électricité primaire

231. Des colonnes sont ajoutées pour l'électricité d'origine nucléaire, hydraulique et géothermique et un nombre égal de lignes est porté dans la section transformation du bilan. Les trois bilans qui suivent illustrent également l'incidence d'un changement des coefficients de rendement utilisés pour évaluer les entrées d'énergie primaire, allant de 33 p. 100 à 100 p. 100 pour le nucléaire (ce dernier chiffre équivaut à traiter l'électricité d'origine nucléaire comme étant de l'énergie primaire), de 33 p. 100 à 75 p. 100 ^{60/} et 100 p. 100 pour l'hydro-électricité (là aussi le chiffre de 100 p. 100 équivaut à traiter l'hydro-électricité comme étant une énergie primaire), et de 33 p. 100 à 10 p. 100 et 100 p. 100 pour l'électricité géothermique (la même interprétation valant pour le chiffre de 100 p. 100). Les cas envisagés sont résumés ci-après :

Coefficient de rendement supposé
(Pourcentages)

Cas	Nucléaire	Hydro	Géothermique
A	33	33	33
B	33	75	10
C	100	100	100

^{60/} Chiffre retenu, plutôt que 85 p. 100, pour des raisons de simplicité.

Incidences de diverses hypothèses relatives au coefficient de rendement
de la production d'électricité primaire : trois bilans
(En térajoules)

CAS A

Flux \ Source	Charbon	Pétrole	Produits raffinés	Nucléaire	Hydro	Géo	Elec-tricité	Total
Production	100	-	-	10	10	10	-	130
Importations	10	100	-	-	-	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	-	-	-	1
Approvisionnement primaire	110	100	-1	10	10	10	-	239
Production :								
Nucléaire	-	-	-	-10	-	-	+3	-7
Hydro	-	-	-	-	-10	-	+3	-7
Géothermique	-	-	-	-	-	-10	+3	-7
Classique	-	-	-90	-	-	-	+30	-60
Total	-	-	-90	-10	-10	-10	+39	-81
Raffineries	-	-100	+95	-	-	-	-	-5
Utilisation finale	110	-	4	-	-	-	39	153

CAS B

Flux \ Source	Charbon	Pétrole	Produits raffinés	Nucléaire	Hydro	Géo	Elec-tricité	Total
Production	100	-	-	10	4	30	-	144
Importations	10	100	-	-	-	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	-	-	-	1
Approvisionnement primaire	110	100	-1	10	4	30	-	253
Production :								
Nucléaire	-	-	-	-10	-	-	+3	-7
Hydro	-	-	-	-	-4	-	+3	-1
Géothermique	-	-	-	-	-	-30	+3	-27
Classique	-	-	-90	-	-	-	+30	-60
Total	-	-	-90	-10	-4	-30	+39	-95
Raffineries	-	-100	+95	-	-	-	-	-5
Utilisation finale	110	-	+4	-	-	-	+39	153

CAS C

Source Flux	Charbon	Pétrole	Produits raffinés	Nucléaire	Hydro	Géo	Elec- tricité	Total
Production	100	-	-	3	3	3	-	109
Importations	10	100	-	-	-	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	-	-	-	1
Approvisionnement primaire	110	100	-1	3	3	3	-	218
Production :								
Nucléaire	-	-	-	-3	-	-	+3	-
Hydro	-	-	-	-	-3	-	+3	-
Géothermique	-	-	-	-	-	-3	+3	-
Classique	-	-	-90	-	-	-	+30	-60
Total	-	-	-90	-3	-3	-3	+39	-60
Raffineries	-	-100	+95	-	-	-	-	-5
Utilisation finale	110	-	4	-	-	-	39	153

232. On s'apercevra que le changement des coefficients de rendement présumés modifie le total de l'énergie primaire requise ainsi que les pertes de conversion mais n'affecte pas le niveau de l'utilisation finale d'énergie :

Relation entre l'énergie primaire et l'utilisation finale
(En térajoules)

Cas	Besoins en énergie primaire	Perte à la transformation	Utilisation finale d'énergie
A	239	86	153
B	253	100	153
C	218	65	153

Ce tableau fournit un autre exemple de la façon dont la même étiquette peut recouvrir des quantités très différentes et de la grande importance qu'il y a à définir clairement la procédure selon laquelle les unités spécifiques de mesure ont été converties en unités communes ainsi que les hypothèses retenues pour élaborer des entrées dans un bilan énergétique.

233. Dans les trois cas, l'électricité primaire a été "transformée" dans la section transformation du bilan en passant de la colonne d'origine à la colonne principale réservée à l'électricité. Ceci a été fait en partie parce que les colonnes "nucléaires" et "géo" représentent en principe des entrées d'énergie à l'activité de production d'électricité, mais aussi parce qu'il est rarement (voire jamais) possible de savoir si l'électricité consommée par une classe d'utilisateurs donnée provient initialement de tel ou tel type de centrale électrique; il ne serait pas possible dans la pratique de ventiler les 39 TJ d'électricité figurant à la ligne "utilisation finale" entre les colonnes nucléaire, hydro et géo.

234. Avant d'en terminer avec cette revue des diverses pratiques en matière de traitement d'électricité dans les bilans énergétiques, il est intéressant de relever que le bilan français, et jusqu'à présent ceux de la CEE et de l'OSCE, comptabilisent toute l'électricité, y compris celle produite dans les centrales classiques, uniquement en termes de consommation réelle ou imputée de combustibles fossiles.

235. Un autre traitement, moins commun, consiste à exprimer des importations et des exportations d'électricité en termes d'équivalent de combustible fossile (France (CEREN), République fédérale d'Allemagne, Portugal, Brookhaven/Julich et OSCE avant 1979). L'Italie (ENI) exprime dans ces termes les importations, mais non les exportations. Cette façon de procéder cause un petit problème dans les bilans qui n'utilisent pas pour l'électricité l'équivalent de combustible fossile dans toutes les parties du bilan (République fédérale d'Allemagne et Brookhaven/Julich par exemple) parce que la chaleur résiduelle imputée aux importations nettes doit être ultérieurement retrouvée dans le bilan. Cela

pourrait se faire en faisant passer par l'industrie nationale l'électricité importée (comme dans le bilan de l'ENI), ce qui aurait pour effet d'inclure la chaleur résiduelle en cause dans les pertes générales de chaleur de la production intérieure, à condition que le commerce extérieur en matière d'électricité soit porté dans l'une des colonnes réservées à l'électricité primaire. Toutefois, si le commerce d'électricité est porté dans la colonne "électricité secondaire" (qui indique la sortie de production), cette opération n'est pas possible. Le bilan allemand et celui de Brookhaven/Julich résolvent le problème en comptabilisant la chaleur résiduelle imputée en tant que différence d'évaluation à la ligne pertes.

236. Les sources d'énergie renouvelables telles que le solaire, la biomasse, le vent, les vagues et l'énergie marémotrice peuvent être incorporées par l'adjonction d'une ou de plusieurs colonnes. L'énergie transformée en électricité peut être comptabilisée dans le secteur transformation, comme on l'a indiqué dans les exemples ci-dessus. L'énergie convertie directement en chaleur peut être portée directement en TJ de chaleur à la ligne production de la colonne correspondante et ensuite ventilée verticalement, soit à la transformation (électricité, par exemple), soit directement à la consommation finale par un ou plusieurs utilisateurs.

237. A l'exception d'un seul, tous les bilans examinés qui sont utilisés pour effectuer une analyse régulière des périodes écoulées sont du type "de haut en bas". Nous allons maintenant considérer l'autre approche, son utilisation et ses rapports avec les bilans "de haut en bas".

D. La prospective : les bilans "de bas en haut"

238. Le bilan publié par les Etats-Unis (Bureau of Mines) est un bilan de "bas en haut" qui montre l'utilisation finale d'énergie de chaque source principale par grand secteur d'utilisation finale et par centrale électrique, mais il est incomplet car il n'indique pas l'origine (production, commerce extérieur ou mouvements de stocks) des sources d'énergie. Ces renseignements sont toutefois complétés par des tableaux qui fournissent davantage de détails sur les composantes de chaque grande source d'énergie et montrent la production et le commerce par origine, les destinations et les utilisations. La forme générale du bilan est reproduite dans le tableau ci-après. Les quantités indiquées sont en exajoules (EJ), (TJ x 10⁶) :

Flux \ Source	Combustibles solides	Gaz naturel	Produits pétroliers	Hydro-électricité	Electricité d'origine nucléaire	Total	Electricité	Total
Industrie	4	9	6	-	-	19	3	22
Transports	-	-	18	-	-	18	-	18
Domestique								
Autres	-	7	6	-	-	13	4	17
Total final ^{a/}	4	16	30	-	-	50	7	57
Production	9	3	3	3	2	20	-7 ^{b/}	(13) ^{c/}
Total primaire	13	19	33	3	2	70	-	(70) ^{d/}

a/ La ligne total ne figure pas dans l'original, mais elle est ajoutée ici pour plus de clarté.

b/ Le signe + est indiqué dans l'original.

c/ Pas d'entrée à ce poste dans l'original.

d/ L'énergie finale totale (57 EJ) est répétée dans cette case dans le tableau publié.

239. Comme l'indiquent les notes se rapportant au tableau ci-dessus, des modifications ont été apportées à certains des chiffres des totaux figurant au tableau afin de faire mieux apparaître les caractéristiques du schéma de base. Pour la même raison, les chiffres ont été arrondis à partir de trillions de BTU ($\text{BTU} \times 10^{12}$) et recalculés en exajoules ($\text{joules} \times 10^{18}$). Ce tableau est employé pour publier les données relatives aux années passées.

240. Le même schéma de tableau, en général complété par des lignes pour la production et le commerce, est souvent utilisé comme cadre pour reporter des projections dans le futur et peut servir de base pour l'élaboration de prévisions de caractère très général. Les tableaux qui figurent dans la suite de la présente section font la synthèse des pratiques adoptées par deux grandes sociétés pétrolières (Shell International et BP Oil), du travail effectué par l'Energy Research Group (ERG) de l'Université de Cambridge (Royaume-Uni) pour le compte de la Commission de la conservation de la Conférence mondiale de l'énergie, des travaux statistiques du Workshop on Alternative Energy Strategies (patronné par le Massachusetts Institute of Technology), et du cadre comptable utilisé par la Commission de l'énergie du Commissariat général au Plan français.

241. Comme on l'a déjà signalé, les prévisions reposent en général sur une évaluation de la consommation probable de chaque source d'énergie par chaque grand secteur d'utilisation finale et d'une estimation (fondée sur des appréciations et des hypothèses concernant les entrées dont pourraient avoir besoin les industries de transformation pour satisfaire les niveaux projetés d'utilisation finale) des besoins en énergie primaire provenant de sources soit indigènes soit importées. Les bilans ci-après, complets, mais relativement agrégés, du type "de bas en haut" illustrent ce cadre de travail.

Bilan Énergétique de bas en haut adapté aux prévisions énergétiques
(En térajoules)

Source							
Flux	C	P	M	N	H	E	Total
Industrie	10	-	5	-	-	20	35
Transports	-	5	-	-	-	5	10
Domestique et autres	100	-	5	-	-	15	120
Total de la demande finale	110	5	10	-	-	40	165
Production	-	90	-	15	15	-40	80
Total de la demande primaire	110	95	10	-	-	-	145
Production indigène	100	-	10	15	15	-	140
Importations	10	95	-	-	-	-	105

Clé : C, charbon; P, pétrole brut; M, méthane ou gaz naturel; N, nucléaire; H, hydro; E, électricité; T, énergie totale.

242. Dans ce bilan figure la demande par secteur d'utilisation finale pour chaque combustible fossile et pour l'électricité (totale), mais la demande d'électricité par secteur d'utilisation finale ne peut pas être envetillée entre le nucléaire, l'hydraulique et le classique pour la simple raison que tous les types de centrales alimentent normalement un réseau unique de distribution électrique. L'étape suivante est de répartir la demande totale d'électricité, tous secteurs confondus, entre les centrales nucléaires, hydrauliques et classiques. Cette opération peut se faire sur la base de la capacité existante et prévue et de l'alimentation de chaque type de centrale (en y ajoutant la production future présumée ou postulée, par type de centrale, si la projection porte sur un horizon dépassant les plans de construction actuels de centrales électriques) en tenant compte des coefficients de rendement présumés.

243. Dans le tableau ci-dessus, le coût d'opportunité est utilisé pour évaluer l'équivalent en combustible primaire de l'électricité d'origine nucléaire et hydraulique, et le rendement des centrales classiques (établi à 33 p. 100 pour simplifier les calculs) a été appliqué à l'électricité nucléaire et hydraulique. La procédure dans ce cas est simple. A la ligne production, on inscrit dans la colonne "total" le chiffre de l'électricité doublé ($2 \times 40 \text{ TJ} = 80 \text{ TJ}$). Ce dernier

chiffre représente la déperdition de chaleur en cours de production. La somme des deux derniers chiffres ($40 + 80 = 120$ TJ) représente alors la quantité totale de l'énergie primaire requise - sur la base des hypothèses dont on est parti - pour produire les 40 TJ d'électricité.

244. Pour l'étape suivante, il faut retenir l'une des deux hypothèses suivantes. On postule soit la part de l'énergie nucléaire et hydraulique, soit la part de la production à base de combustible fossile, et on impute ensuite à l'autre type de production le reste de la demande totale d'électricité (sur la base de l'entrée d'énergie primaire). Pour plus de simplicité dans cet exemple, on a supposé que toutes les centrales classiques fonctionnent au fuel.

245. Il faut alors ajouter à la demande totale d'utilisation finale les entrées d'énergie en production dérivées pour arriver à la ligne correspondant à la demande totale d'énergie primaire. L'entrée de 80 TJ dans la colonne total de la ligne production est le seul chiffre qu'il faut ajouter aux 165 TJ représentant le total de l'utilisation finale d'énergie parce que ce dernier chiffre contient déjà la production d'électricité correspondant aux 80 TJ de pertes à la production. La dernière opération consiste à soustraire la ligne de la production indigène pour trouver le niveau et la composition de la demande d'importation (dans la présente série d'exemples).

246. Dans la réalité, l'élaboration de prévisions est une opération beaucoup plus complexe - notamment au stade des projections de l'utilisation dans chaque secteur de consommation finale - dont la description détaillée sort du cadre du présent manuel. Le but de la description simplifiée qui précède est de montrer comment un bilan de bas en haut fournit un cadre cohérent et clair pour rendre compte des résultats de projections à long terme plus élaborées et pour faire des prévisions à court terme 61/. Les grandes compagnies pétrolières qui ont bien voulu nous communiquer leurs bilans de prévisions opérationnelles travaillent essentiellement avec des cadres de ce genre, mais en détaillant beaucoup plus les produits pétroliers spécifiques ainsi que les types d'usage ou d'utilisateurs ayant une importance particulière sur le marché du pétrole.

247. L'un des bilans établis par une société pétrolière permet une plus grande souplesse dans l'illustration des hypothèses concernant les rendements de production électrique des centrales nucléaires, hydrauliques et classiques en réservant deux lignes à la rubrique production. Une ligne est utilisée pour ventiler la demande finale totale d'électricité (et non, à ce stade, le besoin total estimé d'énergie primaire) entre les sources d'énergie, et la deuxième ligne sert à affecter à chaque source une perte correspondant au rendement supposé. Les rendements retenus peuvent refléter différentes approches au problème de la quantification des équivalents d'énergie primaire du nucléaire, d'une part, et de l'hydraulique de l'autre, et ils peuvent aussi refléter les rendements plus élevés atteints dans des centrales thermiques assurant une production combinée de chaleur et d'électricité lorsque cette distinction est importante. Cette variante du

61/ Pour une description détaillée de certaines méthodes de prévision, voir, par exemple, les actes du Colloque AIE/OCDE sur les données énergétiques dans les pays en développement, volume I (Paris 1978), ainsi que la publication du Department of Energy du Royaume-Uni "Energy forecasting methodology" (1979).

bilan est reproduite ci-dessous. Les rendements retenus sont de 37 p. 100 pour les centrales classiques, de 33 p. 100 pour le nucléaire et de 83 p. 100 pour l'hydraulique. Pour simplifier, ce bilan commence avec la ligne consommation totale finale puisqu'il est admis que celle-ci n'est pas affectée par les diverses hypothèses concernant le rendement des centrales.

Bilan de prévisions Énergétiques : une variante
(En térajoules)

Flux \ Source	C	P	M	N	H	E	T
Demande finale	110	5	10	-	-	40	165
Production :							
Réelle	-	30	-	5	-	-40	-
Pertes	-	50	-	10	1	-	61
Demande primaire totale	110	85	10	15	6	-	226
Production	100	-	10	15	6	-	131
Importations nettes	10	85	-	-	-	-	95

Clé : voir le tableau du paragraphe 241.

248. Les bilans précédents n'ont pas tenu compte des pertes de raffinage, ou ces pertes ont été considérées comme insignifiantes comparées aux incertitudes associées aux projections (hypothétiques). Si les projections ne portent que sur un petit nombre d'années, tous les chiffres seront vraisemblablement plus fiables et on ne peut ignorer ces pertes ainsi que les pertes dans la distribution, la fabrication de combustibles solides (y compris le coke) et l'utilisation d'équipements auxiliaires par les industries énergétiques. On peut introduire une ou plusieurs lignes pour accueillir ces flux. Dans une projection à court terme, l'inclusion du combustible et des pertes de raffinerie est importante sur le plan conceptuel afin de pouvoir placer la consommation de produits pétroliers sur une base stricte d'entrée d'énergie primaire (à savoir le pétrole brut).

249. On peut aussi ouvrir des lignes distinctes pour les raffineries et pour toute autre industrie de transformation pertinente. On suit alors la même procédure en inscrivant la demande finale pour une source d'énergie dérivée à la ligne de l'industrie de transformation correspondante en l'affectant d'un signe négatif et en inscrivant les entrées appropriées de combustible primaire dans cette industrie dans la colonne appropriée avec un signe positif, la perte de transformation afférente à cette industrie s'inscrivant dans la colonne total. Dans le bilan ci-après, on a introduit le raffinage de pétrole (R) et la fabrication de

gaz (I) et on a ajouté une ligne pour les exportations. La production du secteur de transformation doit maintenant être suffisante pour fournir la quantité exportée en plus de celle demandée par le marché intérieur. Une seule ligne a été utilisée pour chaque industrie de transformation et un rendement uniforme de 33 p. 100 a été supposé pour toutes les formes de production d'électricité.

Bilan élargi de prévision énergétique
(En térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	M	I	N	H	E	T
Demande finale	100	-	-	10	12	-	-	40	162
Production	-	-	90	-	-	15	15	-40	80
Raffineries	-	100	-95	-	-	-	-	-	5
Usines de gaz	10	-	4	-	-12	-	-	-	2
Total de la demande primaire intérieure	110	100	-1	10	-	15	15	-	249
Demande d'exportation	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Production primaire indigène	100	-	-	10	-	15	15	-	140
Importations	10	100	-	-	-	-	-	-	110

Clé : voir tableau du paragraphe 241; en outre, R, raffinage de pétrole;
I, gaz industriel.

250. Dans le bilan ci-dessus, la demande finale de charbon a été réduite de 10 TJ et celle de produits pétroliers de 5 TJ, mais la demande d'énergie est satisfaite par un approvisionnement supplémentaire de 12 TJ de gaz industriel (qui serait presque certainement utilisé plus efficacement par les usagers finals que le combustible solide qu'ils brûlaient auparavant); de plus, il y a maintenant une exportation de 1 TJ de produits pétroliers. Pour ne pas compliquer les choses, on n'a pas ajouté de ligne pour l'autoconsommation des industries énergétiques ou pour les pertes à la distribution. En principe, il devrait également y avoir une ligne pour les mouvements de stocks, mais en pratique cette ligne est souvent omise dans les bilans de prévisions à moins qu'il ne s'agisse de prévisions à court terme.

E. Un bilan à usages multiples

251. Si le bilan prospectif de bas en haut est complet, avec des lignes pour la production indigène, les exportations, les variations de stocks et les importations, et s'il est inversé (non pas au sens formel de l'algèbre matricielle, ce qui n'est ni possible ni approprié) et si les signes sont changés dans le secteur

transformation, nous avons alors un bilan du type VI reproduit au paragraphe 216. Le tableau suivant est l'inverse (au sens arithmétique simple) du tableau figurant au paragraphe 249, avec inversion des lignes importations et production et changement des signes.

Bilan de prévision énergétique inversé
(En térajoules)

Flux \ Source	C	P	R	M	I	N	H	E	T
Production primaire	100	-	-	10	-	15	15	-	140
Importations	10	100	-	-	-	-	-	-	110
Exportations	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Approvisionnement total de sources primaires	110	100	-1	10	-	15	15	-	249
Usines de gaz	-10	-	-4	-	+12	-	-	-	-2
Raffineries	-	-100	+95	-	-	-	-	-	-5
Centrales électriques	-	-	-90	-	-	-15	-15	+40	-80
Total utilisation finale	100	-	-	10	12	-	-	40	162

Clé : voir les tableaux des paragraphes 241 et 249.

252. Comme on l'a déjà signalé, il convient d'ajouter des lignes pour l'auto-consommation des industries énergétiques, les pertes de distribution et les variations de stocks, et il est également souhaitable de ventiler le total de l'utilisation finale entre les fins énergétiques et non énergétiques. Le bilan du Royaume-Uni fournit un exemple d'un bilan relativement désagrégé de ce type et de cette structure. Jusqu'en 1977, il agrégeait tous les produits pétroliers dans une seule colonne, mais à partir de 1978 il indique quatre grands groupes pour ces produits. Il ne donne encore qu'une analyse très limitée des secteurs d'utilisation finale, mais on peut trouver davantage de détails sur ces secteurs (à la fois en unités d'origine et en unités énergétiques communes) dans les tableaux annexes. Le nouveau bilan proposé par la CEE (Genève) est un exemple d'un bilan plus détaillé ayant la même structure et avec la production ventilée par types.

253. Les bilans de type matrice où les entrées et les sorties des industries de transformation sont comptabilisées dans une seule ligne pour chaque industrie, avec des signes opposés pour les entrées et les sorties, présentent le double avantage d'être non seulement concis et économes en présentation des données pour les périodes passées, mais également directement utilisables (après inversion) pour la présentation de projections. On peut faire varier le nombre de colonnes réservées aux industries de transformation et aux sources d'énergie selon les

données disponibles, l'importance relative des sources d'énergie et des industries dans un pays donné et le niveau d'agrégation ou de désagrégation convenant à une analyse déterminée 62/. A tout niveau de désagrégation, on peut facilement construire un bilan plus fortement agrégé à partir du bilan détaillé. On trouvera ci-après une version contractée du bilan indiqué ci-dessus qui ne distingue que les combustibles fossiles, l'électricité primaire et l'électricité totale :

Bilan Énergétique contracté
(En térajoules)

Flux \ Source	Combustibles fossiles	Electricité		Energie totale
		primaire	total	
Production primaire	110	30	-	140
Commerce net	+109	-	-	+109
Disponibilités primaires totales	219	30	-	249
Centrales Électriques	-90	-30	+40	-80
Autoconsommation et pertes totales des autres industries Énergétiques	-7	-	-	-7
Utilisation finale totale	122	-	40	162

RECOMMANDATIONS :

- 21) Les bilans Énergétiques globaux devraient être construits sous forme de matrices ayant les caractéristiques suivantes :

Les colonnes indiquent les sources d'énergie (produits Énergétiques)

Les lignes indiquent les flux à partir des origines vers les utilisations d'énergie (transactions Énergétiques)

Des sous-matrices séparées indiquent respectivement :

- Les disponibilités de sources primaires et d'équivalents;
- Les entrées en transformation (affectées du signe -) et les sorties (affectées du signe +); les pertes en transformation dans la colonne total (affectées du signe -); l'autoconsommation des industries Énergétiques; les pertes de transmission et autres;
- Les utilisations finales.

62/ Les pompes à chaleur s'insèrent très bien : elles ont une entrée négative d'électricité et de chaleur ambiante (dans la colonne "total") et une sortie positive dans la colonne "chaleur".

254. Le nombre de colonnes et de lignes à ouvrir peut varier selon que l'on prépare un document de travail interne ou un bilan destiné à être présenté à des fins d'analyse de la politique énergétique ou autres. Au niveau du document interne, les lignes et les colonnes devraient être en nombre suffisant pour permettre de dresser un état statistique complet de tous les flux économiquement significatifs de sources d'énergie vers les utilisateurs finals, même si toutes les données nécessaires ne sont pas disponibles. De cette manière, on peut déterminer s'il est important de combler les lacunes identifiées, ou si, au contraire, on peut laisser des cases vides. Lorsqu'il manque des données, on n'aura peut-être pas d'autre choix, du moins à court terme, que d'accepter un niveau d'agrégation plus élevé que celui initialement prévu. Si, lorsque tous les renseignements voulus auront été réunis, le bilan désagrégé est plus détaillé qu'il est nécessaire à certaines fins, on peut toujours, comme on l'a déjà dit, procéder à un niveau d'agrégation supérieur, mais l'opération inverse - qui pourrait être recherchée à d'autres fins - n'est pas possible si l'on n'a pas rassemblé les données détaillées au départ.

255. Lorsqu'on aura identifié toutes les lignes et colonnes nécessaires pour un bilan énergétique global national, il faut réunir les données disponibles, exprimées initialement en unités de mesure spécifiques, et les porter dans leurs colonnes respectives du projet de bilan global. Cette étape revient à élaborer des bilans de produits énergétiques en utilisant la série standard de rubriques de ligne qui a été décidée pour le bilan énergétique global. A ce stade, on peut identifier l'existence de telle ou telle entrée spécifique d'énergie dans une industrie de transformation ainsi que la sortie correspondante. Il peut arriver que l'importance de l'un des flux, ou des deux, soit assez faible pour être consignée sans inconvénient dans une note de bas de page, seule apparaissant alors dans la case produit/industrie pertinente l'entrée ou la sortie nette. Si l'importance de l'un ou l'autre de ces flux est telle qu'il faut les faire apparaître explicitement dans le bilan principal, on peut y parvenir facilement en subdivisant la ligne et/ou la colonne pertinente de manière à faire apparaître séparément chaque flux.

256. Dans le cas des pays moins développés, les bilans devraient, dans la mesure du possible, être structurés selon les principes recommandés et pourraient utilement indiquer dans les colonnes au moins les sources d'énergie suivantes :

- Charbon
- Bois de feu
- Charbon de bois
- Bagasse
- Autres déchets végétaux
- Divers (par exemple bouses séchées)
- Pétrole brut (le cas échéant)
- Gaz naturel (le cas échéant)
- Produits pétroliers
- Autres sources (par exemple, chaleur provenant de sources renouvelables, à spécifier séparément ou au moins à énumérer dans une note de bas de page)
- Hydro-électricité
- Autre électricité (distinguer le nucléaire si cette source est importante et énumérer les autres sources dans une note de bas de page)

Les lignes de ces bilans devraient contenir au moins les postes suivants :

- Production primaire
- Importations
- Exportations
- Approvisionnement total de sources primaires et équivalents

- Transformation :
 - Raffineries (le cas échéant)
 - Centrales électriques
 - Divers (à spécifier)

- Utilisation finale de l'énergie :
 - Agriculture) Distinguer, le cas échéant, le secteur commercial
 - Industrie) et le secteur traditionnel
 - Transports
 - Usage domestique et autres

La rubrique "industrie" pourrait, à titre d'exemple, se subdiviser de la façon suivante : sucreries, autres produits alimentaires et boissons, ciment, produits pétrochimiques et autres, selon les besoins de chaque pays.

257. Si l'on dispose de données sur les stocks (par exemple, pour le pétrole brut ou les produits pétroliers), il conviendrait d'insérer après la rubrique "exportations" une ligne pour les variations de stocks. Comme on l'a déjà signalé, les principaux pays producteurs de pétrole qui exportent une grande partie de leur production peuvent, au moins dans leurs bilans nationaux, faire figurer les exportations comme l'une des utilisations finales de l'énergie. En outre, en raison de la difficulté qu'il y a à répartir les soutages entre bâtiments nationaux et bâtiments étrangers - ce qui fait qu'on ne peut distinguer clairement les véritables exportations des ventes intérieures - certains pays peuvent estimer que, du moins dans leur bilan national, ils devraient classer les soutages comme faisant partie de l'utilisation finale.

258. Dans le cas des pays développés, les colonnes devraient distinguer autant de sources d'énergie primaires et secondaires qu'il y en a qui présentent une importance pour chaque pays, que ce soit sur le plan du commerce ou sur celui de la production nationale. Les lignes ci-après devraient apparaître, selon les besoins des divers pays :

- Production primaire
- Importations
- Exportations
- Soutages
- Variations des stocks (augmentation - diminution +)
- Ecart statistique
- Disponibilités intérieures totales

Transformation :

- Cokeries
- Hauts fourneaux
- Usines de gaz
- Autre manufacture de combustibles solides
- Centrales Électriques :
 - Réseau public
 - Autres
- Production mixte de chaleur et d'électricité
- Production de chaleur
- Raffineries

Autres producteurs Énergétiques (à spécifier ou au moins à énumérer dans une note de bas de page)

Total

Consommation et pertes des secteurs Énergétiques :

- Mines de charbon
- Cokeries
- Usines de gaz
- Autres fabricants de combustibles solides
- Centrales Électriques
- Centrales thermiques
- Producteurs de gaz brut et de gaz naturel
- Raffineries
- Autres structures Énergétiques (voir note entre parenthèses plus haut)
- Total

Pertes de distribution

Utilisation non Énergétique

Utilisation finale intérieure

Les subdivisions de la rubrique "utilisation finale" seront examinées au chapitre VI.

259. Le Bureau de statistique des Nations Unies compte publier un bilan Énergétique global dont le degré de détail est illustré dans le tableau ci-après. Ce bilan présente deux caractéristiques qui n'ont pas encore été examinées dans ce manuel, mais qui peuvent aider à mieux comprendre la structure matricielle d'un bilan Énergétique global. La ligne "Énergie convertie" montre les entrées nettes ou les sorties nettes des industries de transformation Énergétiques. Une entrée nette est affectée d'un signe négatif et une sortie nette d'un signe positif. La ligne "transferts" sert à consigner les changements purement institutionnels dans le circuit de distribution par lequel passe une source d'énergie donnée pour être livrée aux utilisateurs finals (par exemple, le gaz naturel de synthèse peut être une production de l'industrie de raffinage du pétrole mais être distribué par le réseau existant de gaz naturel, de sorte que le flux qui commence dans la colonne des gaz de pétrole devra être transféré - sans perte de transformation - à la colonne gaz naturel).

Pays :

Année :

Produits	Houille, lignite, recuit, lignite	Briques, briques et coques	Autres combustibles solides ("non liquides commerciaux")	Pétrole brut, autres combustibles utilisés	Produits pétroliers légers	Produits pétroliers lourds	Autres produits pétroliers	Gaz naturel	Autres gaz dérivés	Energie nucléaire, électrique et thermique	Electricité hydro et géothermique	Vapeur et eau chaude	Energie totale	
													Equivalent en combustible classique	Energie physique utilisée
Transactions														
1 Production d'énergie primaire														
2 Importations														
3 Exportations														
4 Soutages maritimes														
5 Variations des stocks														
6 Total besoins énergétiques ^a														
7 Energie convertie														
7.1 Usines de briquettes														
7.2 Four à coke et cokeries														
7.3 Usines de gaz														
7.4 Hauts fourneaux														
7.5 Raffineries de pétrole														
7.6 Centrales électriques ^a														
7.7 Centrales thermiques ^a														
7.8 Autres industries de transformation														
8 Transferts														
9 Consommation du secteur énergétique														
10 Pertes dans le transport et la distribution														
11 Utilisation à des fins non énergétiques														
12 Consommation finale														
12.1 Industries manufacturières, extractives et construction														
12.1.1 Industrie sidérurgique														
12.1.2 Industries de base des métaux non ferreux														
12.1.3 Industries chimiques et pétrochimiques														
12.1.4 Autres industries manufacturières, industries extractives et construction														
12.2 Transports														
12.2.1 Transports routiers														
12.2.2 Transports ferroviaires														
12.2.3 Transports aériens														
12.2.4 Transports fluviaux et cabotage														
12.3 Ménages et autres consommateurs														
12.3.1 Ménages														
12.3.2 Agriculture														
12.3.3 Autres consommateurs														
13 Exacte statistiques (6414-91041-12)														

Voir notes du tableau page suivante

Notes du bilan

* Consommation brute d'énergie primaire et équivalents.

** Centrales Électriques des services publics et des autoproducteurs.

*** Y compris centrales de production combinée Électricité/chaleur.

a/ Briquettes de houille (combustible breveté), briquettes de lignite, briquettes de tourbe, coke de cokerie, coke de gaz, coke de lignite, poussier de coke, coke de basse température et grésillons. Y compris dérivés et sous-produits du charbon.

b/ Tourbe, bois, charbon de bois, bagasse, bouses, déchets de bois, déchets végétaux, déchets des usines de pâte et papier, ordures ménagères et autres déchets n.s.a.

c/ Essence-aviation, essence-moteur, white spirit, alcool industriel, naphthes, carburéacteurs, kérosène.

d/ Fuels distillés, fuels résiduels.

e/ Bitume, lubrifiants, paraffines, coke de pétrole, matières de base pétrochimiques, combustible de raffinerie n.s.a., autres produits pétroliers n.s.a.

f/ Gaz de pétrole liquéfiés (GPL), gaz de raffinerie, éthane.

g/ Gaz naturel, méthane de houillère.

h/ Gaz d'usine à gaz, gaz de cokerie, gaz de haut fourneau. Y compris la production de gaz naturel de synthèse.

i/ Y compris la chaleur géothermique distribuée en l'état aux consommateurs.

Une version beaucoup plus simple de ce bilan serait suffisante pour les pays en développement, et on pourrait (si on le désirait) construire un bilan séparé pour les sources traditionnelles et non conventionnelles d'énergie. On verra des exemples de tels bilans à l'annexe VIII.

F. Autres problèmes relatifs aux bilans

1. Double comptage

260. On pourrait croire qu'il faut à tout prix éviter le double comptage, et en effet l'un des principaux objectifs que l'on s'était proposé lors de l'examen des diverses structures possibles pour un bilan global était d'éliminer le double comptage entre sources primaires et sources dérivées d'énergie. Mais la notion de "double comptage" est un peu ambiguë. A certaines fins, il peut être légitime de compter deux fois dans un total donné deux composantes dont l'une comprend déjà l'autre. Ainsi, lorsque l'on veut mettre en relation la capacité d'une industrie et sa production, il est juste de considérer la production totale de cette industrie, même si une partie de cette production représente du recyclage. Ce principe doit être interprété avec beaucoup de précautions dans le contexte des bilans énergétiques, comme le montrent les deux cas exposés ci-après.

2. Production à partir de pompage

261. Les pays dotés d'énergie hydro-électrique résolvent le problème que pose le caractère "non stockable" de l'électricité par une technique ingénieuse qui consiste à utiliser l'électricité bon marché fabriquée en période creuse par les centrales classiques ou nucléaires pour actionner "à l'envers" des centrales hydrauliques spécialement conçues, ce qui permet de remonter par pompage l'eau d'un niveau inférieur à un niveau supérieur pendant la nuit. Le jour suivant l'eau emmagasinée est relâchée et actionne les alternateurs hydro-électriques. L'eau sert ainsi de milieu de stockage pour l'électricité.

262. On pourrait soutenir que cette opération devrait être traitée comme un mouvement de stocks dans un bilan énergétique. Cela ne serait pas possible dans un bilan annuel parce que le niveau de l'eau au début et à la fin de l'année pourrait varier non seulement en fonction du pompage mais aussi sous l'influence d'autres facteurs tels que hauteur de précipitations, évaporation, etc. Même en l'absence de ces influences, la différence annuelle de niveau ne donnerait aucune indication sur la redistribution dans le temps de la production électrique à usage final.

263. Il y a deux autres façons de traiter l'accumulation par pompage. La première est de comptabiliser les sorties de pompage comme faisant partie de l'approvisionnement électrique et de comptabiliser les entrées en pompage comme faisant partie de l'autoconsommation de l'industrie énergétique. La deuxième consiste à exclure les sorties de la production (puisque'il s'agit en fait seulement d'une sortie précédente rendue disponible ultérieurement pour utilisation finale) et de ne consigner que les entrées nettes (ou les pertes) de pompage comme faisant partie de l'autoconsommation de l'industrie énergétique. Tout bien pesé, il faut préférer cette dernière solution.

264. Parmi les pays dont les bilans indiquent les pompages, la République fédérale d'Allemagne, la Suède et le Royaume-Uni ainsi que l'OSCE et la CEE (ABGES) pratiquent le double comptage des sorties, tandis que l'Autriche, la France (CEREN) et le Portugal ne le font pas.

RECOMMANDATION :

- 22) La production d'électricité à partir d'une installation à accumulation par pompage ne devrait pas être ajoutée à l'électricité produite par d'autres méthodes (car celle-ci comprend déjà l'électricité qui est redistribuée dans le temps au moyen des pompages) lorsque l'on dresse un bilan énergétique. L'écart entre les entrées et les sorties de pompage devrait être traité comme faisant partie de l'autoconsommation de l'industrie électrique.

3. Produits pétroliers retournant aux raffineries

265. Les produits contaminés et les lubrifiants récupérés qui sont retournés pour nettoyage et/ou mixage font partie des entrées aux activités de raffinage bien qu'ils aient déjà été traités comme sorties lors d'une période comptable précédente. Il en est de même pour le naphte et autres matières revenus de l'industrie pétrochimique. On a là un autre cas où il serait possible de construire un bilan énergétique ayant une cohérence interne, soit en excluant, soit en incluant (c'est-à-dire en comptant deux fois) ces produits recyclés. Contrairement au cas des pompages (où un équipement donné est, soit en train de pomper, soit en train de produire), les installations de raffinage traitent en même temps les matières entrant pour la première fois et celles qui sont recyclées, et la production provenant des deux types d'opération et livrée pendant la période comptable. Ainsi, dans ce cas, il faut préférer le double comptage. Pour être complet, il faudrait aussi compter le combustible de raffinerie à la fois comme une production et comme une autoconsommation de l'industrie pétrolière.

RECOMMANDATION :

- 23) Les matières retournées aux raffineries de pétrole devraient être comptabilisées comme entrées en raffinage même si elles ont déjà été comptabilisées précédemment dans les sorties de raffinage. Le combustible de raffinerie devrait également être inclus à la fois dans la production et dans l'autoconsommation.

4. Unités d'origine et unités communes

266. Il est souvent difficile de relier les données fournies dans un bilan énergétique aux données brutes publiées dans les tableaux détaillés concernant les diverses industries énergétiques. C'est très pratique lorsque les bilans sont publiés en double, l'un indiquant les données en unités d'origine, et l'autre les données en unités communes. Même alors cependant il peut arriver que le lien entre les données d'origine du bilan et les données d'origine de l'industrie ne soit pas très clair. Le bilan français de la Conférence mondiale de l'énergie (CME) et les anciens bilans français du CEREN sont très utiles dans la mesure où ils publient un bilan sans données mais où chaque case (ou presque

chaque case) est désignée par un numéro, et une liste séparée donnant la définition et/ou la source de chaque chiffre qui apparaît dans le bilan final.

267. Une autre façon de faire apparaître ce rapport serait d'inclure avec les tableaux des statistiques de l'industrie énergétique un tableau pour chaque industrie montrant comment les données utilisées dans le bilan sont dérivées des données publiées ordinairement par cette industrie.

RECOMMANDATION :

- 24) Il faudrait toujours indiquer clairement le rapport entre les données en unités d'origine utilisées pour un bilan énergétique et celles publiées dans les statistiques courantes de chaque industrie énergétique.

5. Coefficients de conversion

268. Une recommandation précédente (20) préconise que soient clairement exposés les coefficients de conversion retenus et la procédure suivie pour exprimer les quantités d'origine en termes d'une unité de compte commune. Les bilans de l'Autriche (OSZ) et de l'Italie (MIC) indiquent au sommet de chaque colonne (ou à la fin de chaque ligne lorsqu'il s'agit d'un tableau où les sources d'énergie sont portées dans les lignes) les coefficients de conversion utilisés. C'est là une pratique très commode pour aider le lecteur à relier les unités d'origine et les unités communes, notamment lorsque, par exemple, l'électricité est exprimée en énergie calorifique dans un tableau et en entrée d'énergie primaire dans l'autre. Le tableau italien donne des notes de bas de page pour expliquer les écarts par rapport au facteur moyen dans le cas de certains flux particuliers. D'autres bilans (République fédérale d'Allemagne, Suède, Royaume-Uni, CEE, OCDE, OSCE) sont accompagnés de listes détaillées distinctes des coefficients de conversion.

RECOMMANDATION :

- 25) Les bilans énergétiques devraient comporter, dans l'intitulé de colonne correspondant à chaque source d'énergie, le coefficient de conversion moyen (approprié à l'expression des unités d'origine indiquées (ou implicites) dans cette colonne en termes de l'unité de compte commune indiquée dans le bilan). Ces coefficients moyens devraient être explicités dans des notes de bas de page ou dans un texte d'accompagnement par une description claire des procédures et des étapes suivies pour effectuer les conversions qui ne seraient pas définies d'une manière adéquate par les coefficients moyens.

6. Nombre de chiffres

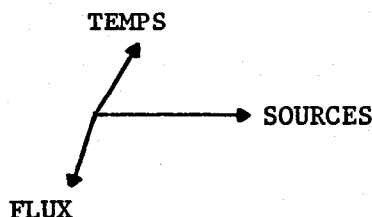
269. Les bilans énergétiques ont pour objet de donner une description visuelle cohérente des nombreux flux interdépendants de l'économie de l'approvisionnement énergétique. Ces bilans peuvent comprendre jusqu'à mille cases d'information (environ 25 colonnes et jusqu'à 50 lignes, y compris les types d'utilisateurs finals). Même lorsque les cases sont beaucoup moins nombreuses, on ne gagne rien à y insérer plus de six chiffres au maximum, et plus généralement quatre ou cinq (y compris les cases réservées aux totaux). Quelques bilans publient plus de

chiffres que ne le justifient les fins du bilan, voire la qualité des données brutes. Les bilans énergétiques ne devraient en principe pas indiquer de nombres de plus de quatre ou cinq chiffres, six chiffres étant l'exception.

270. Il reste à examiner le degré de détail éventuellement nécessaire et la nomenclature à utiliser dans les intitulés de lignes et de colonnes. Ces questions seront traitées au chapitre VI.

7. Matrices et séries chronologiques

271. Un bilan énergétique global de type matriciel, qui indique les sources d'énergie dans les colonnes et les flux d'énergie dans les lignes, convient bien à l'exposition d'un tableau relativement complet des approvisionnements, des transformations et des utilisations de l'énergie dans une période de temps déterminée, normalement une année. Pour une série chronologique, il faut un ensemble de bilans de ce genre (un par année). L'ensemble complet de données pour une période de plusieurs années peut donc être considérée comme formant une figure tridimensionnelle dont les trois axes sont respectivement les sources d'énergie, les flux d'énergie et le temps, selon le schéma ci-après :



272. Il est simple ensuite de dériver de ce bloc de données des tableaux de séries chronologiques à deux dimensions au moyen de découpages verticaux ou horizontaux. Un découpage vertical fera apparaître le bilan des produits énergétiques pour une source d'énergie choisie (gaz naturel, par exemple) dans chacune des années pour lesquelles des données ont été rassemblées, soit en unités d'origine, soit en unités communes, soit dans les deux types d'unités. Un découpage horizontal fera apparaître pour chaque année les quantités de chaque source d'énergie séparément et (si elle est exprimée en unités communes) de toutes les sources réunies pour le flux choisi (par exemple, les importations).

273. Il est possible bien sûr que ces tableaux de séries chronologiques en unités d'origine aient fourni au moins une partie des données de base à partir desquelles ont été compilés les bilans de produits énergétiques standards pour chaque source d'énergie. Il est probable cependant qu'on ne disposait pas sur les bilans de produits énergétiques de toutes les données nécessaires pour les insérer dans les rubriques de ligne standard sans ajustement d'une sorte ou d'une autre. Des tableaux de séries chronologiques standards, qui sont entièrement compatibles avec le bilan énergétique global (du fait qu'ils en sont dérivés), sont un outil d'analyse très pratique, par exemple, pour l'étude de l'évolution du "mélange" de différentes sources d'énergie dans un flux total et de l'évolution de la structure de l'emploi d'une source d'énergie donnée.

VI. CLASSIFICATIONS

A. Généralités

274. Des classifications internationales types existent ou sont envisagées pour les produits (CIBS), les industries (CITI) et le commerce (NCCD et CTCI) et des classifications à peu près semblables ont été établies pour les pays de la CEE (NIPRO, NACE et NIMEXE) ainsi que pour les pays du CAEM (CGP) 63/. Un très grand nombre de pays - la plupart probablement - possèdent leur propre classification nationale qui est conçue pour répondre à leurs besoins particuliers et diffère dans une certaine mesure des normes internationales.

275. Les diverses classifications internationales existantes ont vu le jour en raison de la nécessité d'appliquer un traitement cohérent aux marchandises sujettes aux droits douane (NCCD) et ensuite, plus généralement, pour assurer une classification cohérente de tous les produits entrant dans les échanges internationaux (CTCI) et disposer en même temps d'une base de comparaison internationale des statistiques nationales concernant les diverses branches industrielles (CITI). Ces origines différentes expliquent que des approches différentes aient été suivies pour l'établissement de chaque classification. La NCCD et la CTCI étaient forcément fondées sur les caractéristiques physiques des produits que les douaniers pouvaient reconnaître simplement en regardant les marchandises. La CITI était destinée à servir de cadre pour le rassemblement et l'analyse de statistiques sur les entrées et les sorties des établissements industriels et s'inspire donc d'une description de ces activités.

276. A mesure que l'analyse économique est affinée, il a fallu pouvoir relier la production des industries aux importations et exportations de ces mêmes produits. Le besoin est donc apparu d'établir une correspondance entre les produits de la CTCI et de la NCCD et les industries de la CITI : c'est précisément ce que s'efforce de faire la CIBS. Il en est résulté cependant un degré de détail trop important pour certains usages et le Système de comptabilité nationale (SCN) a adopté une version très simplifiée de la CITI, laissant aux divers pays la responsabilité d'assigner les produits aux branches industrielles. Une tentative plus récente de regrouper les rubriques de la CTCI dans des catégories se prêtant à l'analyse économique est la GCE.

277. A côté de ces classifications internationales à usage assez général, il existe des classifications plus spécialisées portant par exemple sur les statistiques de transport (CSTE), les professions (CITP) et d'autres domaines ayant des rapports plus ou moins lointains avec l'énergie (par exemple, la recherche et le développement et l'enseignement).

278. La nouvelle importance que l'énergie a acquise au cours des quelque cinq dernières années a introduit une nouvelle facette dans ce domaine déjà complexe des classifications. Nous examinerons ici certains aspects de la classification qui découlent directement des considérations exposées dans les chapitres précédents.

63/ Pour le titre intégral des diverses classifications mentionnées, voir annexe IV.

B. Traitement actuel de l'énergie

279. La CTCI regroupe commodément à la section 3 "Combustibles minéraux, lubrifiants et produits connexes" tous les combustibles fossiles, lubrifiants, etc., mais la liste n'est pas aussi complète qu'il y paraît. L'uranium et les minerais analogues se trouvent à la division 28 "Minerais métallifères et déchets de métaux", les combustibles et résidus nucléaires sont à la division 52 "Produits chimiques inorganiques" et le bois de chauffage est à la division 24 "Liège et bois". A part le fait que les sources d'énergie sont dispersées entre trois différentes sections, le détail de la classification présente ses propres inconvénients. Par le simple fait qu'il s'agit d'une classification destinée au commerce international, les produits qui ne font pas normalement l'objet d'échanges ne sont pas prévus, et parmi ceux qui le sont, certains ne peuvent être répartis selon des caractéristiques qui ne sont pas visuellement reconnaissables. La vapeur et l'eau chaude ne figurent pas sur la liste et l'électricité n'est pas ventilée par type de production (nucléaire, thermique, hydraulique, etc.).

280. Dans la CITI et donc dans la CIBS (qui ventile les produits de la CTCI entre les industries de la CITI), cette dispersion des sources d'énergie est encore plus marquée. Le bois de feu se trouve à la branche 12 "Sylviculture et exploitation forestière", l'extraction d'uranium à la branche 23 "Extraction des minerais métalliques", la tourbe qui est dans la section 3 de la CTCI se retrouve à la branche 29 "Extraction d'autres minéraux", les combustibles nucléaires sont à la branche 35 "Industrie chimique et fabrication de produits chimiques, de dérivés du pétrole et du charbon, et d'ouvrages en caoutchouc et en matière plastique". Dans cette dernière branche, deux autres groupes couvrent respectivement les "raffineries de pétrole" (353) et la "fabrication de divers dérivés du pétrole et du charbon" (354). Ce dernier groupe englobe le coke, les briquettes et les lubrifiants. L'extraction de charbon et de pétrole brut ainsi que la production de gaz naturel se retrouvent toutes dans des groupes distincts à l'intérieur de la branche 2 "Industries extractives".

281. Contrairement à la CTCI, la CIBS distingue l'électricité selon son origine : centrales thermiques classiques, nucléaires, hydrauliques, à turbines à gaz, à moteurs à combustion interne et autres origines (par exemple, géothermique). Il est intéressant de noter que la CIBS possède non seulement une classe pour l'approvisionnement de vapeur et d'eau chaude, mais que celle-ci se subdivise en "vapeur, eau chaude, air chaud" et "air refroidi".

282. La seule classification des Nations Unies qui rassemble actuellement toutes, ou presque toutes, les formes d'énergie dans une seule catégorie est la GCE. Celle-ci est fondée sur les trois grandes catégories économiques utilisées dans les comptes nationaux et les tableaux d'entrées-sorties, à savoir les biens d'équipement, les biens intermédiaires et les biens de consommation. Dans les biens intermédiaires, il y a une catégorie "combustibles et lubrifiants" à laquelle s'applique la même répartition que pour les autres biens intermédiaires, à savoir la distinction entre produits primaires et produits manufacturés. Voici le résumé des rubriques figurant dans cette classification :

Combustibles et lubrifiants

Produits primaires

- Bois de feu
- Charbon et lignite
- Pétrole brut
- Gaz naturel

Produits manufacturés

- Charbon de bois
- Briquettes
- Essence-moteur
- Autres produits pétroliers
- Gaz manufacturé
- Electricité

283. Les combustibles nucléaires, que ce soit à l'état brut ou transformé, ne semblent pas figurer dans la GCE. La vapeur et l'eau chaude n'apparaissent pas car ce ne sont pas des combustibles.

284. La NACE et la NIPRO diffèrent fondamentalement des classifications établies par les Nations Unies à deux égards. On trouve dans ces deux nomenclatures une classe 1 distincte et complète intitulée "Energie et eau" dans laquelle (comme dans toutes les autres classes) la classification des produits par industrie énumère successivement d'abord la forme non transformée puis la forme transformée de chaque produit. Dans une forme très simplifiée, la structure est la suivante :

Extraction de charbon

- Charbon
- Briquettes de charbon
- Lignite
- Briquettes de lignite

Cokeries

- Coke de sidérurgie
- Autres cokes
- Gaz de cokerie
- Autres produits de cokerie

Production de pétrole brut et de gaz naturel

- Pétrole brut
- Gaz naturel
- Gaz naturel à l'état liquide
- Roches et schistes bitumineux

Raffinage de pétrole

- Huiles légères
- Huiles moyennes
- Huiles lourdes
- Lubrifiants
- Autres produits pétroliers

Extraction et traitement de combustibles nucléaires

- Minéral d'uranium
- Minéral de thorium
- Concentrés d'uranium et de thorium
- Isotopes fissiles et fertiles
- Éléments combustibles

Production et distribution d'électricité

Approvisionnement public

- Thermique classique
- Géothermique
- Hydraulique
- Nucléaire
- Éléments combustibles irradiés
- Chaleur

Autoproduction

- Thermique classique
- Hydraulique
- Nucléaire
- Éléments combustibles irradiés

Usines à gaz

- Gaz d'usine
- Coke
- Autres produits

Production de vapeur, d'eau chaude et d'air comprimé

Production combinée de deux types d'énergie ou davantage

Les produits pétroliers et les matières nucléaires sont énumérés de manière très détaillée dans la NIPRO et l'électricité est ventilée selon le type de combustible fossile ou fissile utilisé.

285. De toutes les classifications internationales examinées, la NACE/NIPRO est celle qui convient le mieux pour la compilation d'une série de statistiques assez complètes et "articulées" sur la production et l'utilisation de l'énergie et elle mérite une étude plus approfondie à la lumière des recommandations contenues dans le présent rapport concernant les caractéristiques souhaitables des statistiques de l'énergie. Les classifications complètes de la NACE et de la NIPRO pour la rubrique "Energie et eau" sont reproduites à l'annexe V.

286. L'un des besoins qui se font particulièrement sentir dans une classification type des produits énergétiques est une nomenclature acceptée pour les produits pétroliers gazeux et liquides. Toutes les listes énumérées dans les bilans nationaux, internationaux et institutionnels ainsi que dans les classifications types internationales sont très semblables mais recèlent néanmoins des différences quant à la manière de traiter, de désigner ou de définir tels ou tels produits (par exemple, les liquides de gaz naturel). L'OSCE a publié un petit livre très utile intitulé "Définitions du pétrole et des produits pétroliers" 64/.

RECOMMANDATION :

- 26) Les classifications et définitions existantes des hydrocarbures bruts et des produits dérivés devraient être examinées dans le but de dresser un ensemble international convenu de désignations, groupements et définitions.

C. Utilisations finales de l'énergie

287. Aucune des classifications des Nations Unies ou de l'OSCE ne descend suffisamment "en aval" pour couvrir tous les besoins des bilans énergétiques. Lorsque nous avons envisagé l'utilisation de ces bilans pour l'établissement de prévisions, nous avons fait remarquer que c'est en général le bilan "de bas en haut" qui est utilisé, avec une insistance particulière sur l'analyse des utilisations finales. Cette analyse peut être abordée de deux façons. La première est par le concept de l'énergie utile, et la deuxième est par l'examen des utilisations de l'énergie livrée.

1. Energie utile

288. L'énergie utile est l'énergie effectivement transformée en travail utile dans l'équipement ou le processus relevant des utilisations énergétiques finales, telle que la puissance obtenue dans une voiture automobile, la lumière obtenue par une ampoule à filament ou un tube fluorescent, ou encore la chaleur contenue dans la vapeur produite par une chaudière alimentée au combustible fossile. Ces quantités de travail utile traduisent l'effet combiné du rendement théorique de l'appareil, de l'équipement ou du processus ainsi que son intensité et son mode d'utilisation. Un appareil travaillant dans les conditions optimales recommandées par le constructeur aura un meilleur rendement qu'un appareil identique employé dans de mauvaises conditions d'intensité d'usage, d'entretien, etc. De même, l'efficacité du matériel de chauffage des locaux est difficile à mesurer, ou même

64/ Bulletin des statistiques de l'énergie, No 3/1976, Supplément.

à définir, car elle dépendra en grande partie de l'isolation des murs, des fenêtres, du sol et du plafond de l'immeuble en question et du nombre de fois que la chaleur accumulée peut s'échapper par des ouvertures telles que les portes et les fenêtres.

289. Il est néanmoins nécessaire de reconnaître les rendements moyens très différents qui peuvent affecter la conversion des différentes sources d'énergie en travail utile. Ces rendements moyens dépendent aussi bien des diverses utilisations à laquelle chaque source convient le mieux que des facteurs mentionnés plus haut. Nous n'avons pas ici à entrer dans le détail de cette question, mais pour donner une idée très générale des ordres de grandeur, nous reproduisons ci-après des chiffres qui montrent l'éventail très large dans lequel peuvent s'inscrire ces rendements 65/ :

<u>Combustible</u>	<u>Rendement en pourcentage</u>	
	<u>Fourchette</u>	<u>Moyenne</u>
Solides	20-80	55
Liquides	15-19	45
Gaz	60-65	65
Electricité	80-95	90

290. Ces rendements très différents doivent être pris en considération lorsque l'on établit une prévision de la demande d'énergie, car en fin de compte c'est d'énergie utile dont ont besoin les utilisateurs et les possibilités de substitution entre les diverses sources d'énergie n'a de sens réel qu'au niveau de l'énergie utile (car ce n'est qu'à ce niveau que, pour une utilisation donnée, 1 joule d'un type d'énergie peut être remplacé par 1 joule d'un autre type) 66/. Cette substitution est bien évidemment limitée par le parc d'appareils existant à un moment donné.

291. Il n'est pas facile de faire une estimation de ces rendements globaux pour chaque combustible sauf d'une manière assez approximative. Le parc de matériel lui-même ne donne aucune indication sur l'intensité ou le mode d'emploi, et le rassemblement des données nécessaires auprès des usagers peut constituer un travail long et coûteux. Cependant, même l'estimation la plus grossière change considérablement l'importance relative de chaque source d'énergie dans le secteur d'utilisation finale, surtout à cause du rendement très élevé de l'électricité comparé à celui des combustibles fossiles.

292. Le bilan énergétique publié par la Suède s'accompagne d'une large analyse, sur la base de l'énergie utile, de la part relative de chaque source d'énergie dans la consommation totale. La Norvège va plus loin en intégrant dans son bilan

65/ Voir Robert et Hawkins (1977). Des chiffres plus détaillés sont fournis pour chaque stade d'utilisation, de l'extraction, en passant par la transformation, jusqu'à l'utilisation finale dans ONU/ECE (1976). Ce rapport examine également plus en détail le problème que pose l'évaluation des rendements énergétiques. Voir aussi Laading (1960), Guyol (1971) et Romain (1977).

66/ Voir par exemple Royaume-Uni, Department of Energy, "Energy forecasting methodology", Energy paper 29 (Londres, 1978).

Énergétique une analyse de ce genre. Bien que le Royaume-Uni ne publie pas encore régulièrement de statistiques sur l'énergie utile, on trouve une analyse détaillée de la consommation finale d'énergie utile dans le document sur l'énergie No 29 (1978). L'OSCE a publié un bilan énergétique pour 1977 et 1978 qui indique l'utilisation finale d'énergie par destination sur la base de la chaleur (ou de l'énergie) livrée et de l'énergie utile. La Jamaïque a l'intention d'inclure dans son système national de comptabilité énergétique des données sur ces deux formes d'énergie. L'Inde publie des estimations de la consommation énergétique globale, sources non commerciales comprises, exprimées en "tonnes de remplacement charbon" (où chaque source est affectée d'un coefficient de pondération correspondant à son rendement estimé en énergie utile).

RECOMMANDATION :

- 27) Les bureaux de statistique nationaux et internationaux devraient envisager de publier des estimations des quantités d'énergie utile consommées par chaque secteur d'utilisation finale. Ces estimations devraient s'accompagner d'une explication détaillée de la méthodologie employée.

2. Utilisation finale par destination

293. Une autre solution, à défaut de fournir des chiffres sur l'énergie utile (et c'est d'ailleurs une étape nécessaire vers la production de chiffres raisonnablement fiables), consiste à effectuer l'analyse des livraisons d'énergie en fonction de la destination pratique de chaque source d'énergie dans chaque secteur d'utilisation finale. Une telle analyse constitue également une étape vers l'étude de l'utilisation finale en fonction des possibilités de substitution ou non.

294. Cette analyse est la plus simple pour le secteur qui est final au sens de la comptabilité nationale, à savoir les usagers domestiques. Voici le genre d'analyse qui pourrait, en principe, s'appliquer à ce secteur :

Chauffage et ventilation des locaux

Eau chaude

Cuisine

Force motrice domestique (réfrigérateurs, congélateurs, aspirateurs, cireuses, mixers, équipement de jardin et autres outils, autres appareils munis d'un moteur électrique)

Eclairage

Autres usages (télévision, radio, tourne-disques et magnétophones, etc.)

Le rassemblement de ce genre d'informations peut prendre beaucoup de temps (et coûter très cher).

295. La façon la plus simple de procéder pour le secteur des transports est d'en faire l'analyse selon les grandes catégories (terre, mer, air, eau), avec éventuellement une répartition plus détaillée du type suivant :

Route

Automobile
Autobus
Taxi
Camion
Motocyclette

Rail

Passagers
Marchandises

Air

Passagers
Fret

Eau

Eaux intérieures
Raux côtières

Océoduc

On se souviendra que les navires de haute mer sont traités séparément sous la rubrique "sourages".

296. On pourrait affiner encore cette analyse des transports en envisageant une ventilation plus détaillée selon les zones desservies (intérieures/rurales), la distance parcourue, la puissance du moteur ou la charge utile du véhicule et le type de cargaison transportée. Ce champ d'étude est déjà couvert par une classification spéciale pour la région européenne (CSTE) et se trouve actuellement soumis à l'examen d'un groupe d'experts des statistiques de transport relevant du Comité des transports intérieurs de la CEE. Les travaux de ce groupe méritent une étude plus approfondie dans le contexte des bilans énergétiques 67/.

297. L'analyse du secteur commercial peut se faire sur une base assez analogue à celle proposée pour le secteur domestique, mais on se contentera de retenir les rubriques suivantes :

Chauffage, refroidissement et ventilation des locaux
Eau chaude
Force motrice (ascenseurs, machines et équipement de bureau)
Eclairage
Autres usages (s'il y a lieu)

67/ Voir aussi l'analyse détaillée effectuée par l'ERG (Cambridge, Angleterre) pour le compte de la CME (1977).

298. Le secteur agricole, dont l'importance est relativement faible dans la plupart des grands pays industriels mais qui a un poids considérable dans d'autres pays, peut utilement s'analyser selon le schéma suivant :

Chauffage et ventilation des locaux

Serres

Autres (y compris les habitations)

Machines et matériel agricoles

Eclairage

Autres usages

299. Cette classification est beaucoup trop détaillée pour les pays peu développés où l'énergie absorbée par l'agriculture est en grande partie fournie par la traction animale et le travail humain. Lorsqu'il existe des machines et du matériel mécanisé (par exemple, petits ou moyens tracteurs, pompes d'irrigation et de drainage), on introduira les rubriques appropriées. L'utilité qu'il y a à essayer de chiffrer dans un bilan énergétique les importantes quantités d'énergie animale ou humaine dépensées dans la plupart des pays les moins avancés devra être jugée en fonction de la finalité du bilan (évaluer, par exemple, les probabilités futures de voir l'énergie animale et humaine remplacée par les combustibles fossiles ou l'électricité).

300. Le secteur industriel pose le même genre de problème que celui rencontré lorsqu'on a examiné, au chapitre V, l'agrégation horizontale des combustibles 68/. Pour toute source d'énergie, il serait possible en principe d'analyser l'utilisation dans l'industrie selon, par exemple, la ventilation suivante :

Chauffage et ventilation des locaux

Eau chaude

Chaleur industrielle

Force motrice

Eclairage

Autres usages

301. Cette classification est toutefois insuffisamment précise, car elle ne fournit aucune indication sur la température à laquelle l'eau est chauffée. Si elle est transformée en vapeur, cette vapeur elle-même peut être utilisée pour le chauffage des locaux et/ou pour des opérations industrielles, ou encore elle peut actionner un turbo-générateur et l'électricité produite peut servir à n'importe lequel des usages déjà mentionnés. Une différenciation entre "vapeur" et "eau chaude" serait utile, à condition que la liste soit traitée rigoureusement comme une liste de premières utilisations de sources d'énergie achetées.

302. Une telle analyse apporterait un éclairage intéressant, mais elle ne montrerait pas la quantité totale d'énergie consommée pour chacun des usages énumérés. Une analyse complète de ce genre conduit directement au problème de double comptage que nous avons déjà rencontré au chapitre V. De plus, une analyse

68/ Voir également CBI (1975) et Cheshire et Buckley (1976).

complète exigerait l'inclusion de trois types d'énergie non commerciale, à savoir l'électricité autoproduite consommée sur place, la chaleur de récupération provenant d'une première utilisation de l'énergie achetée et, le cas échéant, la chaleur exothermique dégagée par les processus chimiques.

303. Il y a beaucoup à dire en faveur d'une analyse complète de cette sorte, mais il conviendrait de la placer en tableau annexe au bilan énergétique principal. Une analyse complète des utilisations de l'énergie pourrait, en principe, montrer l'étendue (et donner une première impression des possibilités) de la récupération de la chaleur résiduelle dans le secteur industriel au moyen d'utilisations séquentielles de l'énergie. Il faut entendre par là l'utilisation initiale de l'énergie achetée pour la production de chaleur de haute qualité (c'est-à-dire de température élevée) et ses usages en séquence décroissante pour des opérations dont chacune nécessite une chaleur moindre que la précédente. (Cela ne signifie pas que chaque stade d'un processus de fabrication ne peut disposer que d'une chaleur à une température inférieure à celle du stade précédent.)

304. Cette utilisation séquentielle permet à une quantité donnée de chaleur mesurée en joules de fournir davantage de travail au total et elle nous rappelle que la mesure de l'énergie en joules (ou en n'importe quelle autre unité énergétique) ne nous donne aucune information sur la "qualité" de cette quantité d'énergie. Les joules de l'énergie thermique ne sont pas interchangeables à moins qu'ils soient à la même température. (Il ne faut pas perdre de vue que l'énergie utilisée pour l'éclairage fournit également un apport calorifique au chauffage des locaux.)

305. Le tableau ci-après montre une analyse complète des utilisations successives de la chaleur dans une industrie hypothétique. On a retenu la structure des bilans énergétiques de base, avec des colonnes pour les sources d'énergie et des lignes pour les utilisations. Comme auparavant, le signe + indique une production d'énergie et le signe - une utilisation.

306. La récupération de vapeur et de chaleur est distinguée de la production initiale de vapeur. L'autoproduction dans une installation combinée chaleur/électricité est distinguée de la production d'électricité seulement. La chaleur exothermique est censée être produite et récupérée à partir d'un processus chimique.

RECOMMANDATION :

- 28) Les bureaux statistiques nationaux devraient envisager de construire des analyses d'utilisation finale du type illustré dans le tableau ci-après :

Analyse hypothétique de l'utilisation d'énergie dans une industrie
(Entrée - sortie + : en térajoules)

Sources Flux	Combustibles fossiles	Elec- tricité	Vapeur initiale	Eau chaude	Récupération		Total net	Récupé- ration
					Vapeur	Chaleur		
<u>Approvisionnement initial</u>								
Acheté	+100	+20	-	-	-	-	+120	-
Chaleur exothermique	-	-	-	-	-	+10	+10	+10
Total	+100	+20	-	-	-	+10	+130	+10
<u>Transformation</u>								
Chaudières	-100	-	+90	+8	-	-10	-12	-
Générateurs								
Installations combinées C/E	-	+10	-40	-	+20	-	-10	+20
Autres	-	+15	-40	-	-	-	-25	-
Total	-100	+25	+10	+8	+20	-10	-47	+20
<u>Energie disponible</u>								
	-	+45	+10	+8	+20	-	+83	+20
<u>Utilisation finale</u>								
Fourneaux	-	-10	-	-	-	+5	-5	+5
Chaleur de procédé	-	-10	-7	-	-18	+5	-30	+5
Chauffage des locaux et eau chaude	-	-	-	+8	-	-9	-1	+8
Transmission mécanique	-	-10	-	-	-	-	-10	-
Ventilation et refroidissement	-	-5	-	-	-	-	-5	-
Eclairage	-	-5	-	-	-	-	-5	-
Processus chimiques	-	-5	-	-	-	-	-5	-
Autres	-	-	-	-15	-	-	-15	-
Pertes	-	-	-3	-1	-2	-1	-7	-
Total	-	-45	-10	-8	-20	-	-83	+18

VII. AUTRES STATISTIQUES DE L'ENERGIE

A. Généralités

307. Comme on l'a signalé au début du présent rapport, un bilan énergétique constitue, ou devrait constituer, la clé de voûte de tout système cohérent de statistiques de l'énergie, même si la plupart de ces systèmes ont été construits à partir d'ensembles indépendants de statistiques énergétiques industrielles. Il faudra sans doute conserver la quasi-totalité des données statistiques existantes, même si ces données (par exemple, importations des sources d'énergie par origine géographique, exportations par destination, capacité des raffineries de pétrole et des centrales électriques, caractéristiques des installations, telles que type de raffinage, taux d'utilisation en fonction des facteurs de charge, etc.) excèdent souvent de loin les besoins des bilans énergétiques. Une grande partie de cette masse générale d'informations statistiques servira soit à des travaux réguliers d'une périodicité pluriannuelle, soit, dans des domaines de l'économie énergétique dont on tient particulièrement à suivre de près l'évolution, à des travaux spécifiques tels que l'élaboration d'indicateurs à court terme de la production de combustibles sans fumée, de la productivité de la main-d'oeuvre dans les mines de charbon, ou encore des stocks de produits pétroliers dans les centrales électriques. Les pays et les organismes internationaux devront cependant revoir l'ensemble de leur système statistique déjà en place afin de déterminer, en fonction des besoins de l'élaboration d'un bilan énergétique, quelles séries il faut redéfinir, abandonner, fusionner ou introduire et s'il est possible, en harmonisant les concepts et la portée des séries existantes, de réduire le volume des données initiales tout en élargissant l'éventail des objectifs analytiques.

308. De leur côté, les organismes internationaux devront aussi examiner les possibilités d'harmoniser les questionnaires internationaux existants afin de les ramener si possible à un nombre limité de formulaires à usages multiples.

B. Bilans à court terme et bilans régionaux

309. Les bureaux de statistique nationaux et internationaux souhaiteront peut-être examiner l'opportunité d'établir des bilans énergétiques, même simplifiés, plus d'une fois par an et pour des régions à l'intérieur des pays comme pour des zones géographiques plus étendues. Les Pays-Bas publient déjà des bilans détaillés tous les trimestres et l'OCDE et le Royaume-Uni publient des bilans trimestriels simplifiés. La France (CEREN) et le Canada établissent déjà des bilans régionaux détaillés et le CEREN semble fortement intéressé par des bilans globaux mensuels.

310. Plus la période considérée est courte, plus les conditions météorologiques risquent d'influer sur la demande d'énergie pour le chauffage ou le refroidissement de locaux et l'eau chaude. La demande de chaleur de procédé peut aussi varier dans le cas d'industries produisant des biens sensibles aux conditions météorologiques, tels que certains types de vêtements et d'aliments. La demande de carburants peut aussi varier selon les conditions météorologiques. Ce domaine d'analyse n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît mais un examen plus approfondi dépasserait le cadre du présent rapport.

C. Bilans énergétiques et tableaux entrées/sorties

311. L'attention a déjà été attirée sur les problèmes de comparabilité entre les concepts et le champ des flux et des stocks dans les bilans énergétiques d'une part, et dans la comptabilité nationale et les tableaux entrées/sorties, d'autre part. Des travaux supplémentaires sont nécessaires dans ce domaine. Qu'ils parviennent ou non à une comparabilité totale dans un proche avenir, de tels travaux devraient permettre une meilleure comparabilité entre les statistiques industrielles sur les entrées d'énergie et les sorties de biens et services. Une telle comparabilité est extrêmement importante pour les études actuelles sur le contenu énergétique des biens et des services, en tant que facteur dont il faut tenir compte dans l'élaboration de propositions en vue de réaliser des économies d'énergie dans les décennies à venir.

312. Une démarche utile pour identifier les points de divergence entre les données énergétiques telles que les présentent un bilan énergétique, d'une part, et les tableaux entrées/sorties, d'autre part, consiste à élaborer une matrice des échanges en quantités physiques correspondant en théorie, sinon en pratique, aux valeurs monétaires qui apparaissent dans les tableaux existants d'échanges interindustriels et entre ceux-ci et les consommateurs finals (dans le sens de la comptabilité nationale). La démarche suivante consiste à répartir dans le cadre d'un bilan énergétique les données quantitatives ainsi regroupées ^{69/}. (L'attention a déjà été attirée sur les problèmes soulevés par l'utilisation d'énergie au titre des soutages et des transports internes.)

313. Un tel travail est loin d'être insignifiant, car un grand nombre de cases du tableau entrées/sorties ont généralement été complétées à partir de données relatives à la valeur dont les éléments de prix et de quantité ne sont pas toujours facilement disponibles. D'autres données dans une telle matrice proviendront sans doute de sources qui diffèrent dans leur portée ou leur concept des sources utilisées lors de l'élaboration d'un bilan énergétique. Une telle analyse pourrait mener de façon profitable à la création d'un triade de matrices exposant respectivement quantités, valeurs unitaires moyennes et valeurs totales des cases. Certaines valeurs monétaires dans une matrice d'échanges (par exemple impôts, coûts de distribution) n'auront pas de quantités associées.

D. Terminologie de la comptabilité nationale

314. Il est important d'éviter la confusion entre les concepts de consommation "intermédiaire" et "finale" utilisés dans la comptabilité nationale et le concept "utilisation énergétique finale" employé dans les bilans énergétiques. L'idéal pour éviter le risque de confusion serait de s'entendre sur une terminologie satisfaisante, mais cela risque de n'être pas facile à réaliser.

^{69/} Laading (1960) insistait pour que des efforts soient faits en vue d'établir non seulement un bilan énergétique mais aussi un bilan valeur et illustrait sa proposition à l'aide de tableaux pour la région de l'OCDE. (L'OSCE a soutenu dans ses pays membres des travaux effectués dans cette optique.)

315. Un document de travail de la Réunion spéciale sur l'économie et l'efficacité en matière d'énergie dans la région de la CEE (ECE/AC.3R1/Add.1, du 28 février 1977) intitulé "Note concernant certaines questions conceptuelles, statistiques et méthodologiques" propose à juste titre les termes de "demande intermédiaire d'énergie" et "demande finale d'énergie", chaque terme ayant sa connotation appropriée dans la comptabilité nationale et, par conséquent, dans les tableaux entrées/sorties. Dans le bilan qu'il a publié, le Royaume-Uni s'est soigneusement gardé d'utiliser les termes de "consommateurs finals", "consommation finale", et espérait qu'en utilisant le terme de "consommation finale d'énergie", tout malentendu serait évité. Dans le présent rapport, le terme de "demande finale" était d'un usage pratique dans les bilans prévisionnels simplifiés "de bas en haut". Le terme "intermédiaire" serait pratique lorsqu'on se réfère aux industries de transformation de l'énergie, mais l'utilisation de ce terme a été jusqu'à présent évitée dans les bilans énergétiques.

RECOMMANDATION :

- 29) Afin d'éviter toute confusion entre la signification du mot "final" (et "intermédiaire") dans les comptes nationaux, les tableaux d'entrées/sorties et autres analyses économiques d'une part, et dans les bilans énergétiques, de l'autre, les tableaux et les textes qui se rapportent aux flux concernant les industries de transformation d'énergie et/ou les utilisateurs finals d'énergie devraient toujours indiquer clairement ce que l'on entend par "final" (et, le cas échéant, "intermédiaire").

E. Statistiques dérivées

316. Les bilans énergétiques seront d'autant plus utiles qu'ils sont accompagnés de tableaux montrant, par exemple, la répartition en pourcentage des origines et des utilisations pour chaque source d'énergie, et la ventilation en pourcentage entre les sources d'énergie pour chaque niveau principal d'approvisionnement et d'utilisation indiqué dans le bilan. Ceci revient à exprimer en pourcentages les colonnes puis les lignes du bilan. On peut ainsi élaborer ensuite des séries chronologiques à partir de ces pourcentages, et produire des taux de changement échelonnés dans le temps comme troisième type de tableau explicatif. On peut trouver des exemples de ces tableaux dérivés dans les statistiques énergétiques publiées par la Suède, la Norvège et quelques autres pays.

317. Des statistiques dérivées plus sophistiquées, sortant quelque peu du cadre du présent rapport, sont publiées régulièrement par certains pays (l'Autriche et la Pologne par exemple) sur le contenu énergétique de la production des industries ou des marchandises. Ces tableaux se contentent parfois d'indiquer la part revenant aux achats d'énergie dans l'ensemble des achats de chaque industrie, ou la consommation directe d'énergie par unité de valeur de production de chaque industrie, mais elles peuvent aller plus loin encore et - utilisant l'analyse formelle entrées/sorties - indiquer aussi bien le contenu énergétique direct que le contenu énergétique indirect "en amont" (par conséquent total) de la production de chaque industrie ou de chaque type de biens ou de chaque secteur de consommation finale ("finale" dans le sens de la comptabilité nationale).

F. Graphiques de circulation

318. On a déjà répondu au problème de rendre les bilans énergétiques intelligibles pour les non-spécialistes en acceptant d'utiliser une unité de présentation telle que la tep en plus du térajoule. Une autre façon de présenter les divers flux et liens d'interdépendance dans l'économie énergétique consiste à utiliser un graphique de circulation. En simplifiant, cela reviendrait à dessiner des séries de cases représentant des activités (telles que le raffinage du pétrole, la production d'électricité, l'utilisation finale d'énergie) et des flèches reliées entre elles représentant les flux de pétrole brut, d'autres combustibles fossiles, d'électricité, etc. Il serait possible d'attribuer des chiffres aux flèches afin d'indiquer l'importance de chaque flux. (La mise en pourcentage des lignes et des colonnes dans un bilan énergétique équivaut à effectuer des coupes, verticales ou horizontales, dans un graphique de circulation.)

319. Un diagramme plus frappant peut apparaître lorsque la largeur des flèches varie selon la taille des flux. Le diagramme sera encore plus efficace si une couleur différente est utilisée pour chaque source d'énergie. L'un des premiers diagrammes en couleur de ce genre a été publié en 1956 dans les Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques 70/. Un autre se trouve dans le rapport de Laading (1960) et dans Guyol (1971). Parmi les exemples actuels de graphiques de circulation assez détaillés, on peut citer ceux produits pour les pays nordiques par l'Association des ingénieurs de chaufferie scandinaves et ceux publiés par le Bureau central de statistique des Pays-Bas, par le Department of Energy du Royaume-Uni et par l'OCDE. La CEE a publié des graphiques de circulation régionaux pour une seule année dans le rapport de 1976 auquel il a déjà été fait allusion.

320. L'une au moins des principales compagnies pétrolières internationales et quelques-uns des instituts internationaux de recherche visités produisent aussi des graphiques de circulation. L'équipe Brookhaven/Julich utilise un digramme de circulation détaillé à flèches blanches et noires pour décrire avec précision le système énergétique de chacun des nombreux pays qu'elle étudie, et pour aider à comprendre l'impact probable d'éventuels changements futurs dans diverses parties de chaque système (par exemple, les sources d'énergie renouvelables).

321. Plusieurs de ces graphiques de circulation publiés (par exemple Laading, Guyol, CEE, Association scandinave) indiquent les pertes au stade des utilisateurs finals d'énergie. Un graphique norvégien indique de surcroît le contenu énergétique des importations et exportations non énergétiques 71/.

G. Energie et environnement

322. L'un des avantages du bilan matriciel recommandé au chapitre V est qu'il indique de façon explicite les émissions de chaleur dans l'environnement provenant

70/ Voir Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, Genève, 8-20 août 1955 (Publication des Nations Unies, No de vente 56.IX.1).

71/ Longva (1977).

des industries de transformation d'énergie. On a fait remarquer au cours du présent rapport que les pertes de chaleur avaient lieu à tous les stades du processus d'utilisation de l'énergie. On a discuté au chapitre VI la possibilité d'élargir le bilan énergétique afin d'indiquer l'énergie utile effectivement employée par les utilisateurs finals d'énergie. Nebbia (1975) et d'autres ont signalé que même l'énergie contenue dans des produits manufacturés (meubles, automobiles ou bâtiments) retourne un jour - qui peut être très éloigné - à l'environnement lorsque ces produits se désintègrent d'une manière ou d'une autre. L'émission de chaleur n'est qu'un des nombreux facteurs qui influencent la qualité de l'environnement (en mal ou peut-être, dans des climats froids, en bien). L'émission ou la dispersion de divers produits chimiques a peut-être beaucoup plus d'importance que la chaleur pour ceux qui s'occupent d'analyser et de contrôler les différents aspects de la qualité de l'environnement. Il existe cependant un point de rencontre statistique entre les statistiques de l'énergie et celles de l'environnement, que ceux qui travaillent d'un côté ou de l'autre de cette importante frontière doivent se garder d'oublier.

H. Collaboration interdisciplinaire

323. Enfin, il convient de souligner que tout système de statistiques énergétiques sera élaboré d'autant plus efficacement et utilisé d'autant plus largement qu'il est le fruit d'une consultation permanente étroite et d'une coopération active entre les personnes des services statistiques, économiques et politiques qui sont concernées en tant que producteurs ou utilisateurs par les statistiques comme base et résultat d'un travail sur la formulation, la mise en place et l'évaluation d'une politique énergétique.

Annexe I

PRODUCTION COMBINÉE DE CHALEUR ET D'ELECTRICITE ET PROBLEMES DE MESURE

A. Généralités

1. La production combinée de chaleur et d'électricité peut prendre deux formes. La première consiste à récupérer le maximum de chaleur résiduelle provenant des turbines à vapeur des centrales du réseau public. La deuxième consiste à utiliser pour la production d'électricité une partie de la chaleur produite dans l'industrie sous forme de vapeur destinée essentiellement à des opérations industrielles et au chauffage des locaux. Dans les deux cas, le rendement global du combustible utilisé est plus élevé que si la même quantité de chaleur et d'électricité avait été produite dans des systèmes séparés (mais des considérations de coût et autres font que les installations de production spécifiques sont souvent plus économiques que la production combinée).

2. La quantité maximale d'énergie qui peut être tirée d'une quantité donnée de vapeur n'est que de 35 p. 100 dans le cas de la transformation de chaleur en travail mécanique. C'est là une conséquence de la deuxième loi de la thermodynamique. La quantité de travail que l'on peut extraire d'une quantité donnée de chaleur dépend de la réduction que l'on peut opérer dans la température de ce réservoir de chaleur a/; or, avec les chaudières, les turbines, les conduites et les matériaux d'isolation actuels, il n'est pas possible d'arriver à un écart de chaleur supérieur à 40 p. 100 environ entre l'entrée et la sortie de vapeur. Des petites pertes dues à la friction et à d'autres causes dans le turbogénérateur ramènent ce chiffre à environ 35 p. 100.

B. Centrales du réseau de distribution public

3. La grande quantité de chaleur résiduelle, qui s'élève à 65 p. 100 de la chaleur contenue dans l'apport de vapeur, représente les frais énergétiques

a/ Théoriquement, le rendement d'une machine thermique $E = 1 - (T_2/T_1)$, T_1 étant la température à l'entrée et T_2 la température à la sortie de la chaleur utilisée pour actionner la machine. Ces températures sont mesurées en degrés Kelvin. $0^\circ \text{C} = 273^\circ \text{K}$. La température maximale techniquement possible pour la vapeur est environ $600^\circ \text{C} = 873^\circ \text{K}$ et la température la plus faible que l'on puisse obtenir aisément dans une turbine est environ $30^\circ \text{C} = 303^\circ \text{K}$. Il en découle que :

$$E = 1 - (303/873) = 0,653 \text{ soit environ } 65 \text{ p. } 100.$$

Dans la pratique, on n'arrive qu'à la moitié environ de ce niveau théorique. Pour une explication plus détaillée des relations physiques, voir par exemple "Fundamental concepts in technology: energy", Open University (1975).

généraux ou le coût énergétique direct de l'opération consistant à valoriser de la simple vapeur pour la transformer en électricité beaucoup plus adaptable. La température de la chaleur résiduelle est, cependant, trop faible pour pouvoir être transmise à des fins économiques à d'autres utilisateurs qui sont en général installés loin des grandes centrales électriques, de sorte que la plus grande partie du condensat est refroidie avant d'être déversée sous forme d'eau tiède dans les rivières, les lacs ou la mer.

4. Il est évidemment souhaitable de récupérer au moins une partie de cette chaleur résiduelle provenant des centrales, et dans certains pays c'est ce que l'on fait depuis de nombreuses années. D'autres pays ont étudié la possibilité de récupérer cette chaleur par l'implantation de nouvelles centrales électriques et de nouvelles zones résidentielles ou commerciales à proximité les unes des autres. Cette récupération de chaleur n'entraînerait en général aucune réduction de la quantité d'électricité produite à partir d'une quantité déterminée de combustible.

C. Production combinée de chaleur et d'électricité dans l'industrie

5. Dans le cas d'installations industrielles produisant uniquement de la chaleur, l'efficacité du système est de l'ordre de 90 p. 100 car les pertes dans les chaudières ne sont que de 10 p. 100 environ, de sorte que la quasi-totalité de la chaleur dégagée par le combustible consommé est disponible sous forme de vapeur servant à des procédés industriels et/ou au chauffage des locaux. Si les besoins en électricité de telle ou telle entreprise ou industrie sont couverts par des achats au secteur public, celle-ci peut avoir intérêt à utiliser une partie de la chaleur produite par ses chaudières pour actionner un ou plusieurs turbogénérateurs. Ce passage à l'autoproduction nécessitera une augmentation de la température et de la pression de la vapeur émise par les chaudières afin de fournir en même temps l'énergie nécessaire pour les turbines et celle requise pour la chaleur de procédé et le chauffage des locaux.

6. Dans ce cas, la chaleur rejetée par la turbine devient utilisable et peut être considérée comme un produit mixte avec l'électricité ou comme un sous-produit de la production électrique, dont la valeur énergétique peut être déduite de l'entrée totale d'énergie fournie à la turbine. Quelle que soit la base de calcul retenue (à savoir traiter la chaleur résiduelle comme un produit mixte ou comme un sous-produit), l'entrée énergétique à la production d'électricité peut être définie comme étant la différence entre la chaleur contenue dans la vapeur entrant dans la turbine et la chaleur contenue dans la vapeur rejetée par la turbine. Le rendement électro-mécanique d'un turbo-alternateur étant d'environ 95 p. 100, le rendement global de la production d'électricité par méthode combinée peut être évalué à quelque 85 p. 100.

7. Si on le mesure par rapport à l'entrée de chaleur dans la turbine, le rendement à la production sera encore bien plus faible que les quelque 35 p. 100 habituels dans les centrales du réseau de distribution public, puisqu'il suffit qu'une très faible partie de la chaleur contenue dans la vapeur à l'entrée soit extraite par la turbine pour produire la quantité relativement petite d'électricité dont a besoin un établissement industriel donné.

D. Traitement dans un bilan énergétique

8. Que l'on utilise ou non l'entrée énergétique nette au lieu de l'entrée énergétique brute comme base pour définir l'utilisation d'énergie en système combiné, la distinction de l'électricité d'origine combinée dans un bilan énergétique a pour effet que la tendance temporelle de la production totale d'électricité diffèrera de la tendance temporelle de l'entrée d'énergie primaire dans l'électricité si la proportion d'électricité d'origine combinée dans l'électricité totale change avec le temps. C'est cet inconvénient dans le cas de l'électricité hydraulique et thermique qui a conduit les partisans de la méthode de "substitution partielle" à préconiser que l'on attribue à l'hydro-électricité une entrée théorique de combustible fossile sur la base d'un rendement hypothétique de 33 p. 100 environ.

9. Dans le cas de la production combinée de chaleur et d'électricité, un tel traitement semblerait très artificiel et constituerait une simplification excessive des interrelations entre la demande de chaleur et la demande d'électricité. Cette considération renforce la recommandation du chapitre III pour que la production industrielle combinée de chaleur et d'électricité soit traitée comme une forme différenciée d'utilisation de l'énergie fournie à l'industrie.

10. Au chapitre V, section C 4, les différentes pratiques suivies par différents pays ont été relevées et on a souligné les avantages de la méthode suédoise qui consiste à porter sur une seule ligne les entrées en production combinée et les deux sorties distinctes d'électricité et de chaleur. Dans le même chapitre, on notait que, à certaines fins (par exemple, analyse de l'énergie), la ventilation des entrées entre les deux sorties est néanmoins jugée nécessaire. Au chapitre VI, section C 2, un cadre a été proposé qui permettrait d'analyser d'une manière assez détaillée les flux d'énergie achetés, transformés et récupérés à l'intérieur d'un utilisateur industriel.

E. Méthodes de répartition

11. Si l'on juge nécessaire de comptabiliser sur des lignes séparées la production d'électricité et de chaleur d'une installation combinée avec ventilation des parts respectives de l'apport total de combustible, il y a diverses méthodes possibles pour répartir les entrées entre les deux productions :

a) Comparer deux systèmes, dont l'un fournirait seulement de la chaleur et l'autre fournirait la même quantité de chaleur ainsi que de l'électricité, et définir ensuite la différence dans l'entrée énergétique totale comme étant entièrement imputable à l'électricité. (C'est la base retenue dans l'industrie lorsque l'on envisage l'incidence qu'aurait en matière d'approvisionnement en combustible l'adoption d'un système de production combinée au lieu d'un équipement fournissant uniquement de la chaleur.);

b) Comparer l'entrée totale d'énergie dans un système de production combinée avec la quantité totale de chaleur récupérée à partir de la turbine, après avoir "remonté" cette dernière quantité de chaleur en la multipliant par l'inverse du

rendement de la chaudière, et ensuite définir la différence entre ces deux quantités de chaleur comme étant l'entrée nécessaire pour la production d'électricité (c'est cette base qui est recommandée par l'UNIPED);

c) Enregistrer la quantité de chaleur dans l'entrée de vapeur à la turbine et dans la vapeur récupérée à la sortie et ensuite définir cette différence comme étant l'entrée d'énergie imputable à l'électricité (cette base est presque la même que celle indiquée en b), mais elle ne tient pas compte des pertes de la chaudière. Elle est maintenant appliquée aux Pays-Bas);

d) Ventiler l'entrée totale d'énergie entre la chaleur et l'électricité proportionnellement au ratio du contenu énergétique de la chaleur et de l'électricité produite (c'est la base recommandée par la FIIHE).

Ces quatre bases sont essentiellement les mêmes dans leur effet, comme le montre la note figurant à la fin de la présente annexe.

12. Si le cadre suggéré dans la recommandation 28 est utilisé pour faire apparaître les entrées ventilées entre électricité et chaleur, on pourrait avoir des chiffres comme ceux-ci :

	Combustible fossile	Electricité	Chaleur		Total net
			Initiale	Récupérée	
Production d'électricité	-10	+8	-	-	-2
Production de chaleur	-90	-	+77	-	-13
Somme	-100	+8	+77	-	-15

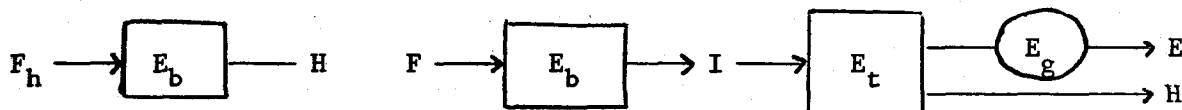
13. Si l'on utilise le même cadre pour faire ressortir l'interdépendance entre les deux activités, on pourrait alors avoir les chiffres suivants :

	Combustible fossile	Electricité	Chaleur		Total net
			Initiale	Récupérée	
Production d'électricité	-100	+8	-	+77	-15
Production de chaleur	-	-	+77	-77	-
Somme	-100	+8	+77	-	-15

14. Il est souhaitable de pousser plus loin la discussion de l'utilité de ces divers traitements.

Les deux diagrammes illustrent sous la forme la plus simple un système uniquement calogène consistant en une chaudière avec une entrée de combustible et une sortie de vapeur, et un système combiné avec une chaudière et une turbine à contrepression

actionnant un générateur. Dans la pratique, on peut avoir des configurations de productions combinées plus complexes avec des points de soutirage de la vapeur entre le point d'entrée et le point d'échappement de la turbine et avec deux ou plusieurs turbines ayant des caractéristiques différentes afin d'avoir plus de souplesse dans les quantités et les proportions d'électricité et de chaleur produites.



Notation :

- F_h = Entrée de combustible à la chaudière pour une production de chaleur seule
- F = Entrée de combustible à la chaudière pour une production combinée chaleur/électricité
- F_e = Entrée de combustible pour l'électricité
- E_b = Rendement de la chaudière
- I = Entrée de chaleur à la turbine
- E_t = Rendement de la turbine
- E_g = Rendement du générateur
- H = Production de chaleur
- E = Production d'électricité

Estimation i) : $F_e = F - F_h$ (i)

Estimation ii) : $F_e = F - \frac{H}{E_b}$ (ii)

Estimation iii) : $F_e = I - H$
 $= (E_b \cdot F) - (E_b \cdot F_h)$
 $= E_b (F - F_h)$ (iii)

Estimation iv) : $F_e = \left(\frac{E}{E+H} \right) \cdot F$
 $= \frac{(I-H) E_g}{(I-H) E_g + H} \cdot F$

Supposons que $(I-E_g)$ soit très petit comparé aux erreurs dans les autres données lorsqu'elles sont agrégées pour un pays, afin que nous puissions écrire E_g plus ou moins égal à I ,

nous avons alors

$$F_e = \left(\frac{I-H}{I}\right) \cdot F = \frac{(E_o \cdot F) - (E_b \cdot F_h)}{E_b \cdot F} \cdot F$$

$$= F - F_h \dots\dots\dots (iv)$$

Annexe II

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE*

Electricité d'origine classique et électricité d'origine nucléaire

Dans une centrale nucléaire, les principes appliqués pour produire de l'électricité sont essentiellement les mêmes que dans une centrale classique alimentée par combustible fossile (charbon, pétrole ou gaz). Dans les deux cas, l'énergie sous forme de chaleur est libérée d'un combustible à un taux contrôlé. Cette chaleur est utilisée pour faire bouillir de l'eau sous pression, de manière à produire de la vapeur à très forte pression.

C'est une réaction chimique qui fournit la source d'énergie nécessaire pour les centrales à combustible fossile. Il s'agit essentiellement d'une réaction entre les atomes d'oxygène de l'air et les atomes de carbone ou d'hydrogène (ou de leurs composés) présents dans le charbon, le pétrole ou le gaz. L'intensité de la réaction et, partant, la quantité d'énergie libérée dépendent de l'apport de combustible ou d'air. Dans un réacteur nucléaire, c'est une réaction d'un genre entièrement différent qui a lieu car elle est fondée sur la désintégration, ou fission, du noyau des atomes.

L'atome

Bien que les atomes soient infiniment petits, ils sont composés de particules encore plus petites. Chaque atome est formé d'un coeur central, ou noyau, qui porte une charge électrique positive. L'atome contient également des particules beaucoup plus légères - les électrons - qui ont une charge négative. Ces électrons tournent autour du noyau dans des orbites variées et relativement immenses (10 000 fois le diamètre du noyau).

Le noyau lui-même se compose de deux types de particules fondamentales : les protons et les neutrons. Chaque proton possède une charge positive qui est égale, mais de sens opposé, à celle de l'électron (qui gravite autour du noyau), et les neutrons n'ont pas de charge. Le nombre d'électrons gravitant dans l'orbite de tout atome donné est exactement égal au nombre de protons, de sorte que la charge électrique nette de l'atome est 0. Le noyau complet de protons et de neutrons est retenu par des forces immenses - dites forces nucléaires - qui contrebalancent les forces électrostatiques de répulsion agissant entre les protons.

* Ce texte est une version abrégée et légèrement modifiée de la description très claire du cycle du combustible nucléaire que l'on trouve dans "Nuclear energy in the United Kingdom - power from the nucleus", Fact Sheet No. 6, publié par l'Information Directorate du Department of Energy du Royaume-Uni (1977).

L'énergie nucléaire

Certains noyaux que l'on rencontre dans la nature sont instables, c'est-à-dire que les forces nucléaires arrivent tout juste à compenser les forces électrostatiques. Dans cet état, les noyaux peuvent se désintégrer spontanément, rejetant des fragments à une vitesse énorme. Bien qu'une telle désintégration radioactive se rencontre dans la nature, l'intensité avec laquelle l'énergie est dégagée dans des matériaux naturellement radioactifs est trop faible pour que ce phénomène puisse être utilisé comme source d'énergie.

Toutefois, certains éléments possèdent la propriété d'avoir des noyaux fissiles à condition qu'on leur fournisse l'énergie nécessaire. On peut réaliser cette fission en bombardant les noyaux, notamment à l'aide de neutrons. Ces neutrons sont particulièrement efficaces puisqu'ils n'ont pas de charge électrique et peuvent donc parvenir à proximité du noyau sans être repoussés par les forces électrostatiques.

En principe, en fournissant une énergie suffisante de cette façon, on peut désintégrer les noyaux de tous les éléments, mais dans la plupart des cas la quantité d'énergie nécessaire pour y parvenir est plus grande que celle qui est dégagée. En fait, il n'y a qu'une seule substance que l'on trouve dans la nature qui ait la propriété de fournir un gain d'énergie net lors de sa fission et qui libère en même temps d'autres neutrons qui peuvent être utilisés pour provoquer la fission d'autres noyaux : il s'agit de l'isotope $a/$ de l'uranium, connu sous le nom de U 235. Cette matière est appelée "fissile".

Uranium et fission

L'uranium naturel est un mélange de deux isotopes : environ 0,7 p. 100 d'uranium fissile 235, et environ 99,3 p. 100 d'uranium 238, qui n'est pas fissile. On peut arriver à concentrer l'uranium 235 en utilisant certaines techniques fondées sur la différence des propriétés physiques des isotopes. Cet uranium est dit "enrichi". Bien que cet élément soit la seule matière fissile à exister dans la nature, deux autres matières fissiles peuvent être fabriquées à partir de substances rencontrées dans la nature. Il s'agit du plutonium 239 (à partir de l'uranium 238) et de l'uranium 233 (à partir du thorium 232).

Une caractéristique essentielle de la fission de l'uranium 233, de l'uranium 235 ou du plutonium 239 réside dans le fait qu'en même temps que de l'énergie, des neutrons sont libérés - entre deux ou trois neutrons par fission - au cours de l'opération. Dans certaines conditions ces neutrons peuvent entraîner de nouvelles réactions de fission dans d'autres noyaux fissiles qui, à leur tour, dégageront de nouveaux neutrons et de nouvelles réactions de fission. Il s'agit en fait d'une réaction nucléaire autoentretenue analogue à la réaction chimique en chaîne de la combustion.

$a/$ Dans la nature, il arrive souvent que les noyaux aient un même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons. On dit alors qu'il s'agit de différents isotopes du même élément.

Si chaque fission produit, en moyenne, plus d'une fission consécutive, le nombre de réactions augmentera au cours d'intervalles de temps successifs. En revanche, si chaque fission produit en moyenne moins qu'une fission consécutive, l'intensité de la réaction déclinera et celle-ci finira par s'arrêter. Un réacteur nucléaire est un appareil où la réaction en chaîne peut se poursuivre à un régime régulier, c'est-à-dire qu'on peut la contrôler de telle manière que, en moyenne, chaque fission n'entraîne qu'une seule nouvelle fission consécutive. Bien que des milliards de fissions puissent se produire chaque seconde, le nombre total par seconde en demeure constant. Ce nombre - le taux de fission - détermine l'intensité du dégagement d'énergie dans le réacteur.

Les réacteurs nucléaires

Les éléments essentiels d'un réacteur nucléaire sont les suivants :

- a) Un assemblage de matière contenant un nombre suffisant de noyaux fissiles du combustible;
- b) Dans la plupart des cas, un "modérateur" servant à réduire la vitesse initiale à laquelle les neutrons sont éjectés au moment de la fission;
- c) Un système permettant de contrôler le taux de fission;
- d) Un fluide de refroidissement servant à extraire la chaleur produite dans le combustible et à en transmettre une grande partie au moins à de l'eau qui sera transformée en vapeur.

L'uranium naturel (qui contient un atome d'uranium fissile 235 pour 140 atomes environ d'uranium 238 qui n'est pas fissile) n'engendre pas, à l'état naturel, une réaction en chaîne soutenue. La raison en est que les neutrons dégagés par la fission de l'uranium 235 se déplacent à des vitesses extrêmement élevées et ont plus de chances d'être captés (absorbés) par les noyaux beaucoup plus abondants d'uranium 238 que de poursuivre leur course pour produire de nouvelles fissions.

Une façon de favoriser une réaction en chaîne est d'utiliser un combustible où la concentration d'uranium 235 aura été augmentée b/ de manière à augmenter également la probabilité qu'un neutron vienne frapper un atome fissile et entraîne une nouvelle fission. Une autre méthode est fondée sur le fait que des neutrons à vitesse ralentie auront plus de chances (jusqu'à 200 fois plus) de produire une fission d'uranium 235 que d'être absorbés par l'uranium 238, plus abondant. On peut y parvenir en associant au combustible (uranium naturel ou légèrement enrichi) un modérateur. Il s'agit d'une matière formée des noyaux des éléments légers - hydrogène ou son isotope deuterium (dans l'eau ou l'eau lourde) ou carbone (dans le graphite). Les neutrons qui traversent cette matière perdent de l'énergie lorsqu'ils entrent en collision avec les noyaux légers, sans capture appréciable. Ces neutrons ralentis sont appelés neutrons "thermiques" et ce nom est donné à tous les réacteurs qui font usage de modérateurs.

b/ A savoir de l'uranium "enrichi".

La chaleur produite par le processus de fission doit être extraite du coeur du réacteur si on veut l'utiliser. Pour ce faire, on fait circuler un liquide de refroidissement sur les éléments combustibles. Après son passage dans le réacteur, ce liquide peut être envoyé dans un circuit fermé où, par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, il abandonne sa chaleur pour faire bouillir de l'eau sous pression avant d'être renvoyé dans le réacteur. Dans certains réacteurs, où l'on utilise comme liquide de refroidissement de l'eau, on laisse celle-ci arriver à ébullition et la vapeur produite alimente directement une turbine avant d'être condensée et renvoyée.

Le combustible utilisé pour les réacteurs thermiques peut être de l'uranium naturel ou enrichi ou encore de l'uranium auquel on a ajouté du plutonium 239. Un élément combustible se compose en général d'un certain nombre de barres ou de plaques contenant le combustible; ces éléments sont disposés dans le coeur du réacteur et entourés du modérateur. A la différence d'une centrale à combustible fossile, où de grandes quantités de charbon ou de pétrole sont continuellement déversées dans la chambre de combustion, dans un réacteur nucléaire le combustible est chargé dans le coeur où il demeure pendant plusieurs années car la consommation annuelle moyenne est faible.

Conversion et surrégénération

Dans un réacteur, les neutrons produits par la fission peuvent être, soit absorbés par des matières fissiles produisant ainsi de nouvelles fissions, soit absorbés par d'autres matières. Ce dernier processus peut être utilisé pour produire de nouvelles matières fissiles qui peuvent servir à alimenter un réacteur. Ainsi, l'uranium 238, qui n'est pas fissile lui-même, peut être converti, par l'absorption d'un neutron, en plutonium 239, qui lui est fissile. De même, le thorium 232 peut être converti en une autre espèce fissile d'uranium, l'uranium 233 (mais pour le moment cette autre filière pour produire des matières fissiles n'a pas été explorée à fond). Les matières qui peuvent être ainsi transformées sont dites "fertiles".

La conversion de matière fertile en matière fissile se produit à une plus ou moins grande échelle dans tous les réacteurs nucléaires. Mais il est évident que si on pouvait développer suffisamment ce processus de conversion il serait alors possible de produire davantage de matières fissiles (à partir des matières fertiles) que l'on n'en consomme. Dans une telle situation, le stock de matières fissiles augmenterait. Le système qui permet une telle opération est appelé "réacteur surrégénérateur".

Réacteurs rapides

Les réacteurs rapides n'emploient pas de modérateur pour ralentir la vitesse des neutrons. A la place (et pour augmenter la chance que les neutrons rapides soient absorbés par des noyaux fissiles, entraînant ainsi de nouvelles fissions), ils comptent simplement sur une concentration élevée de matière fissile pour obtenir une réaction en chaîne. Lorsque le combustible du réacteur rapide est du plutonium 239, il existe un nombre appréciable de neutrons libres qui peuvent être utilisés pour produire du nouveau plutonium à partir de l'uranium 238. Ces réacteurs peuvent convertir de l'uranium 238 en plutonium plus rapidement qu'ils ne brûlent le plutonium pour produire de l'énergie, de sorte que le stock initial

de plutonium s'accroît : on dit qu'il y a "surrégénération". Ce nouveau combustible peut être utilisé pour réalimenter le réacteur ou pour alimenter des réacteurs thermiques, ou encore pour alimenter d'autres réacteurs rapides.

Retraitement du combustible

Le combustible nucléaire peut rester dans un réacteur pendant plusieurs années. Cependant, même après ce laps de temps, tous ses atomes fissiles seront loin d'avoir été utilisés. Il est toutefois nécessaire d'enlever les éléments combustibles, même s'ils ne sont utilisés qu'en partie, pour deux raisons. D'abord les fragments de fission formés dans les éléments absorbent des neutrons et tentent à éteindre la réaction en chaîne et, deuxièmement, les éléments peuvent subir une distorsion physique après une exposition prolongée aux radiations nucléaires. Le combustible brûlé (irradié) peut être précieux en raison de sa teneur restante en uranium 235 et aussi parce qu'une partie de l'uranium 238 aura été transformée en plutonium. Le combustible irradié peut donc être retraité afin de séparer les matières fissiles des fragments de fission radioactifs - les premières étant réutilisées comme combustible et les derniers étant stockés en lieu sûr.

Annexe III

COMPTABILITE NUCLEAIRE

1. L'énergie d'origine nucléaire se distingue de la production classique d'électricité d'origine thermique par certaines caractéristiques que l'on peut résumer comme suit :

a) Bien qu'actuellement l'énergie d'origine nucléaire soit presque toujours convertie en électricité avant d'être utilisée comme source de chaleur ou de travail, il se pourrait qu'à l'avenir la chaleur d'origine nucléaire soit utilisée directement à des fins industrielles : la mesure de la seule production d'électricité ne sera pas alors suffisante dans les futurs bilans énergétiques;

b) Même si la conversion en électricité est la pratique courante actuellement, les pays qui produisent de l'électricité d'origine nucléaire importent des combustibles nucléaires (fabriqués ou non), peuvent exporter ces combustibles après transformation en éléments combustibles pour les réacteurs et peuvent aussi importer ou exporter des combustibles irradiés en vue de leur retraitement : que ces pays soient importateurs ou exportateurs d'électricité, les combustibles nucléaires font partie de leurs échanges internationaux;

c) Seule une très faible partie de la chaleur qui est théoriquement récupérable à partir d'une quantité donnée de combustible dans un réacteur est effectivement obtenue au cours d'une année : la différence entre l'entrée de combustible et la production d'électricité ne représente pas simplement la perte de transformation, mais englobe aussi une grande quantité de chaleur qui pourra être exploitée au cours des années suivantes.

La quantité de chaleur libérée par un réacteur au cours d'une année et la quantité de chaleur qui est récupérable à partir d'une quantité donnée de combustible irradié dépendent toutes deux des types de réacteurs actuels et futurs utilisés et des technologies actuelles et futures de recyclage du combustible.

2. Il est donc clair qu'un bilan énergétique devrait, en principe, pouvoir comptabiliser les combustibles nucléaires en tant que tels et non pas simplement l'électricité produite à partir de ces combustibles. Dans la pratique, il peut y avoir des raisons de sécurité ou autres qui empêchent pour le moment une comptabilisation complète des stocks et des flux dans les bilans publiés, mais cela ne doit pas empêcher d'envisager que la structure des bilans énergétiques recommandée dans le présent rapport puisse s'appliquer à toute la gamme des transactions en combustibles nucléaires.

Traitement dans un bilan

3. Les particularités de l'énergie nucléaire peuvent être prises en compte très simplement dans le schéma matriciel de bilan que nous préconisons. Tout ce qu'il faut c'est ajouter des lignes pour les nouvelles activités - enrichissement

du combustible, fabrication d'éléments combustibles et retraitement des combustibles irradiés - et des colonnes pour les nouveaux produits - uranium naturel, enrichi et appauvri, plutonium et combustible irradié. Si arrive un jour que les réacteurs surrégénérateurs rapides soient mis en service en nombre significatif, il conviendra peut-être de séparer la fabrication et le retraitement selon qu'il s'agisse de réacteurs thermiques ou de réacteurs surrégénérateurs.

4. Les lignes existantes pour les importations et les exportations peuvent être utilisées pour le commerce extérieur de combustibles nucléaires quel qu'en soit l'état (naturel, enrichi, etc.), mais la ligne concernant les variations de stocks devra être subdivisée afin de distinguer les variations de stocks dans les usines de fabrication, les usines d'enrichissement et le coeur des réacteurs. Cette dernière catégorie serait particulièrement importante pendant les années de construction des centrales nucléaires.

5. Le diagramme 1 ci-après fournit une illustration des lignes et des colonnes pertinentes d'un bilan énergétique développé. Des flèches ont été ajoutées pour montrer la nature et la direction des divers flux possibles. Les flux se rapportant aux réacteurs thermiques et aux réacteurs rapides sont indiqués séparément.

Mesure

6. Il reste le problème de savoir comment quantifier dans une unité commune les divers états des combustibles nucléaires (un bilan initial en unités d'origine (tonnes) ne devrait pas présenter de grandes difficultés). Les problèmes surgissent lorsqu'il s'agit d'exprimer dans un multiple approprié du joule - probablement le pétajoule (PJ) - les tonnages de combustibles naturels, enrichis, appauvris et irradiés.

7. Il y a deux solutions possibles à ce problème. Premièrement, on peut admettre que, du fait que chaque atome dans une tonne de matière fissile peut théoriquement être désintégré, le contenu énergétique d'une tonne d'uranium est de 82 PJ (et d'un chiffre correspondant pour une tonne de plutonium ou d'autre matière fissile selon son poids atomique). Sur la base de cette hypothèse, le contenu énergétique du stock de combustible contenu dans le coeur d'un réacteur est un très grand nombre de PJ et le contenu énergétique du combustible irradié à la fin d'une année s'élève également à un nombre très important alors que, par comparaison, la quantité d'énergie libérée sous forme de chaleur durant l'année sera représentée par un très petit nombre.

8. La deuxième solution consisterait à imputer à chaque tonne d'uranium naturel la valeur énergétique de la chaleur que l'on pourrait en extraire pendant une année d'usage dans le type de réacteur le plus commun (eau légère). Le diagramme 2 ci-après fourni par l'Agence internationale de l'énergie atomique illustre le rapport entre les quantités physiques d'uranium naturel et enrichi et les quantités correspondantes d'énergie récupérée sous forme de chaleur et convertie en électricité. Sur cette base, la valeur énergétique par tonne serait seulement d'environ 0,3 à 0,4 PJ.

9. Il subsisterait le problème de savoir quelle valeur énergétique attribuer au combustible irradié (et à l'uranium appauvri résultant du processus

d'enrichissement). Une fois de plus, il y a deux bases possibles. La première consiste à admettre que chaque atome est fissile à une date future inconnue. La deuxième consiste à évaluer la quantité de chaleur que l'on peut extraire de la matière en question en l'état actuel de la technologie. Le tableau qui fait suite au diagramme 2 montre que l'énergie que l'on peut extraire d'une quantité donnée d'uranium varie d'un coefficient pouvant aller jusqu'à 2,5 selon le type de réacteur thermique et d'un coefficient proche de 130 avec les réacteurs surrégénérateurs.

10. Si l'on juge réaliste de dresser un bilan énergétique élargi faisant apparaître les matières fissiles dans leurs divers états, il faudra alors examiner de plus près les valeurs énergétiques qu'il convient d'attribuer au plutonium et au combustible irradié. Même si ce stade d'élaboration est encore hors de portée, il est important de noter que la structure matricielle du bilan est assez solide pour permettre d'y intégrer davantage de détails sur les matières nucléaires le jour où l'on disposera des données statistiques brutes et où l'on se sera mis d'accord sur les facteurs de conversion.

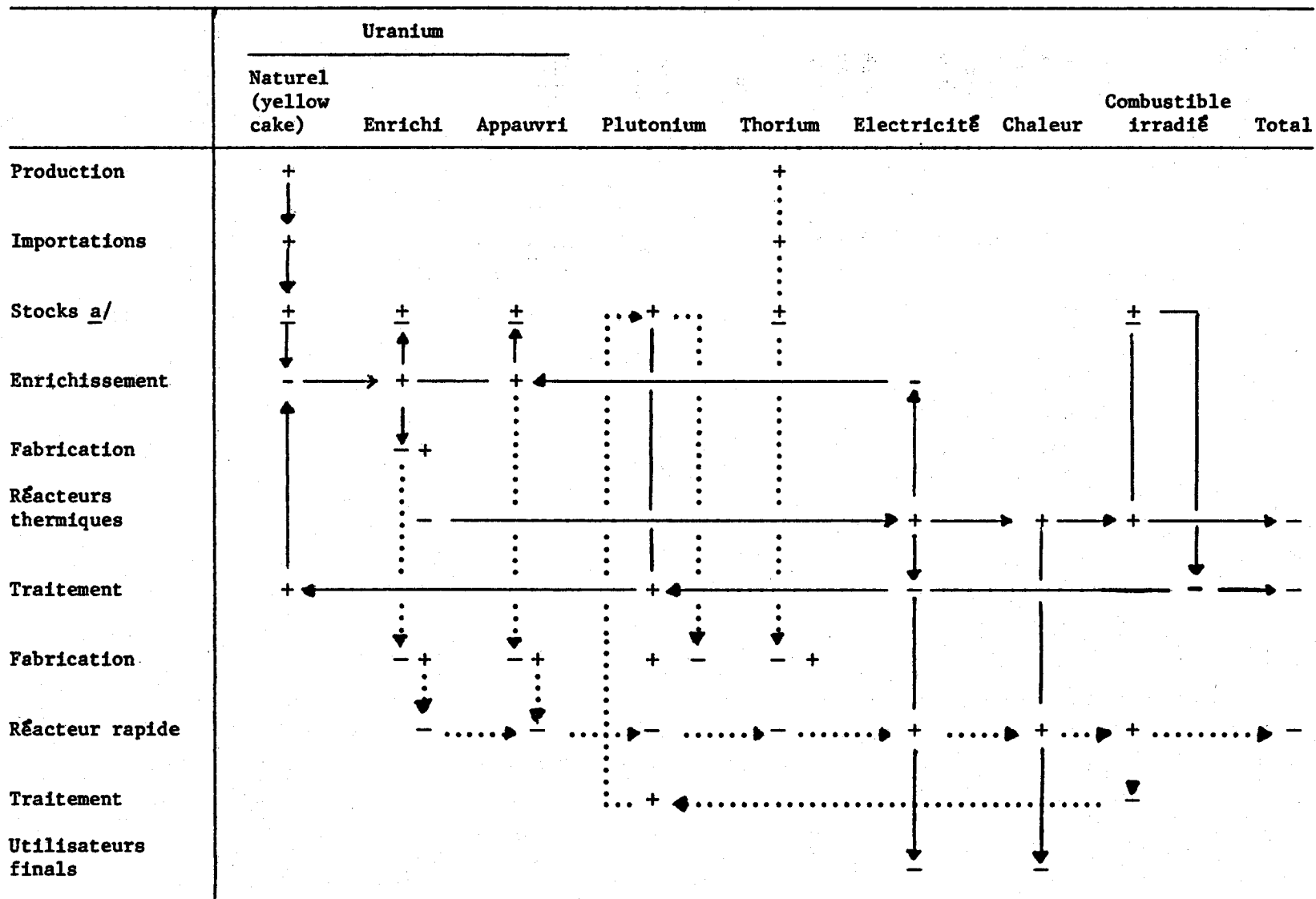
11. Même s'il n'est pas encore possible d'arriver à une élaboration complète du bilan, il faudrait présenter des tableaux montrant le commerce extérieur des matières nucléaires, au moins en unités d'origine. Trois bases s'offrent pour exprimer ce commerce en joules :

a) Evaluer chaque tonne comme si chaque atome fissile pouvait être désintégré à un moment donné;

b) Evaluer chaque tonne en termes de la quantité moyenne annuelle de chaleur que l'on peut en extraire dans l'état actuel de la technologie des réacteurs et du retraitement;

c) Porter pour l'année d'importation et (en tant qu'importation) pour chaque année consécutive de la vie commerciale de cette quantité la valeur estimée en b) ci-dessus.

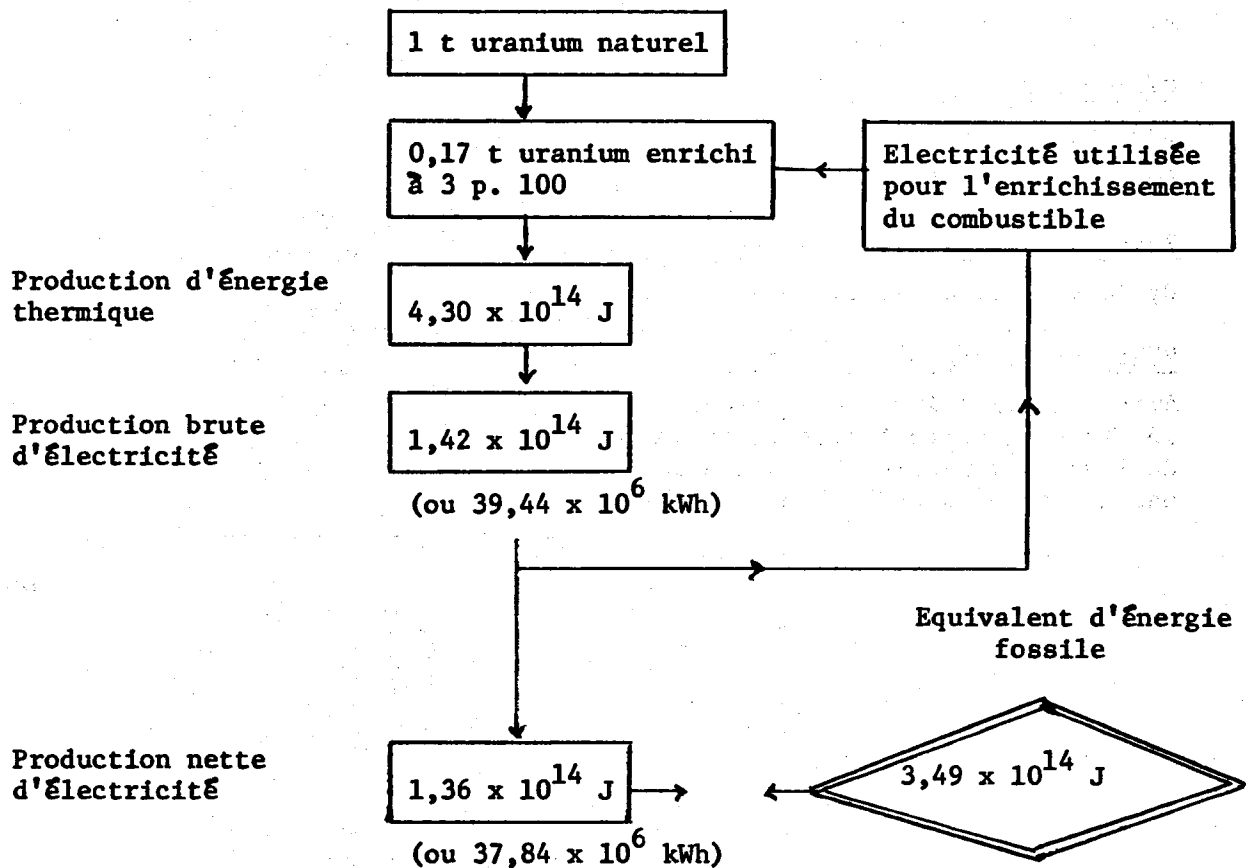
Diagramme 1 : Cadre comptable et traitement des cycles nucléaires dans un bilan énergétique



a/ A ventiler entre a) usines de fabrication; b) usines d'enrichissement; c) réacteurs; d) autres.

Diagramme 2 : Equivalent Énergétique d'une tonne d'uranium naturel

1. Hypothèse de base. Puisque la plupart des réacteurs nucléaires sont actuellement utilisés pour fournir de l'électricité, l'équivalent énergétique d'une tonne d'uranium naturel est estimé sur la base du contenu énergétique du combustible fossile nécessaire pour produire la même quantité d'électricité.
2. Graphique de circulation dans un cas de référence. Ce graphique indique combien d'énergie nette on pourrait obtenir à partir d'une tonne d'uranium naturel en utilisant un réacteur à eau légère. Ce type de réacteur étant le plus courant à l'heure actuelle, on peut le prendre comme cas de référence.



Cas de référence : uranium utilisé dans un réacteur à eau légère sans recyclage de l'uranium et du plutonium.

$$1 \text{ t uranium naturel} = 3,5 \times 10^{14} \text{ J}$$

Une autre solution serait de considérer qu'une tonne d'uranium enrichi à 3 p. 100 équivaut à $2,1 \times 10^{15} \text{ J}$.

3. Autres cas d'utilisation de l'uranium. Si l'uranium et le plutonium sont recyclés dans le réacteur à eau légère, ou si l'on envisage d'autres types de réacteurs, l'équivalent énergie d'une tonne d'uranium naturel dans le cas de référence devrait être multiplié par les coefficients suivants :

Types de réacteurs et de cycles du combustible	Coefficient de multiplication
1. <u>Réacteur à eau légère</u>	
Sans recyclage U et PU	1,0 (référence)
Avec recyclage U mais non PU	1,2
Avec recyclage U et PU	1,5
2. <u>Réacteur à eau lourde</u>	
Sans recyclage	1,2
Avec recyclage PU	2,5
3. <u>Réacteur à haute température à refroidissement du gaz</u>	
Cycle U-Th avec recyclage U	2,1
4. <u>Réacteur surrégénérateur rapide</u>	
Avec une série infinie de recyclages U et PU le réacteur surrégénérateur brûle 60 p. 100 de l'uranium naturel alors que le réacteur à eau légère n'en brûle que 0,7 p. 100.	129,0

Annexe IV

PRINCIPALES CLASSIFICATIONS INTERNATIONALES

Nations Unies

CIBS	Classification internationale type de tous les biens et services
CITI	Index de la classification internationale type, par industrie de toutes les branches d'activité économique
CTCI	Classification type pour le commerce international
GCE	Grandes catégories économiques
SCN	Système de comptabilité nationale

Conseil de coopération douanière (Bruxelles)

NCCD (NDB)	Nomenclature du Conseil de coopération douanière (Nomenclature douanière de Bruxelles pour la classification des marchandises dans les tarifs douaniers)
SH	Système harmonisé, en cours d'élaboration par le Conseil de coopération douanière

Communautés européennes

NACE	Nomenclature générale des activités économiques dans les Communautés européennes
NIMEXE	Nomenclature de marchandises pour les statistiques du commerce extérieur de la Communauté et du commerce entre les Etats membres
NIPRO	Nomenclature commune des produits industriels

Divers

CSTE	Classification des marchandises pour les statistiques de transport en Europe
CGP	Classification générale des produits industriels et agricoles des pays membres du Conseil d'assistance économique mutuelle, Moscou (CAEM)

L'ENERGIE DANS LA NACE ET LA NIPRO

1. Energie et eau

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
11					<u>Extraction et agglomération de combustibles solides</u>	
	111				Extraction et agglomération de la houille	
		111.1			Extraction de la houille	
			111.10		Houille	
			111.10	1	Houille (à l'exclusion des agglomérés de houille)	
				10	Houille (à l'exclusion des agglomérés de houille)	
				101	Houille (par ex. anthracites, maigres anthraciteux, 1/2 gras, gras courte flamme, gras et 3/4 gras, flambants) sous forme de criblés, classés, fines, poussières, mixtes ou schlamms	t
				105	Grisou	m ³ +kcal
		111.2			Manufacture d'agglomérés (y compris sans fumée et combustibles solides similaires fabriqués à partir du charbon)	
			111.20		Briquettes de houille	
			111.20	1	Briquettes et autres agglomérés de houille	
				10	Briquettes et autres agglomérés de houille	
				100	Agglomérés de houille (briquettes, boulets et combustibles solides similaires obtenus à partir de la houille)	t
	112				Lignite et agglomérés de lignite	
		112.1			Lignite ancien	

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
12	120	112.2	112.10		Lignite ancien	kg
			112.10	1	Lignite ancien	
				10	Lignite ancien	
				100	Lignite ancien, même pulvérisé ou déshydraté	
					Lignite récent	kg
			112.20		Lignite récent (sans lignite ancien)	
			112.20	1	Lignite récent (non aggloméré)	
				10	Lignite récent (non aggloméré)	
				100	Lignite récent, même déshydraté, mais non aggloméré (à l'exclusion des jais)	
					Agglomérés de lignite récent	kg
		112.3	112.30		Agglomérés de lignite récent	
			112.30	1	Briquettes et autres agglomérés de lignite récent	
				10	Briquettes et autres agglomérés de lignite récent	
		120.1		100	Briquettes et autres agglomérés de lignite récent	kg
					Cokeries	
					Cokeries minières	
			120.10		Cokes et gaz de cokeries minières	
			120.10	1	Cokes et gaz de cokeries minières	
				10	Cokes et gaz de cokeries minières	t
				101	Cokes de cokeries minières	
					Gaz de cokeries minières	

m³+kcal

Classes	Groupes	Sous- groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
		120.2			Cokeries sidérurgiques	
			120.20		Cokes et gaz de cokeries sidérurgiques	
			120.20	1	Cokes et gaz de cokeries sidérurgiques	
				10	Cokes et gaz de cokeries sidérurgiques	
				101	Cokes de cokeries sidérurgiques Gaz de cokeries sidérurgiques	t m ³ +kcal
		120.3			Agglomérés de lignite récent	
			120.30		Autres cokes et gaz de cokeries (cokeries indépendantes)	
			120.30	1	Autres cokes et gaz de cokeries (provenant de cokeries indépendantes) ainsi que semi-coke de houille ou de lignite (à l'exclusion du coke de brai de goudron et du coke de pétrole)	
				11	Autres cokes de cokeries (y compris semi-cokes de houille) provenant de cokeries indépendantes	
				110	Autres cokes de cokeries (y compris semi-cokes de houille) provenant de cokeries indépendantes	t
				12	Autres gaz de cokeries (provenant de cokeries indépendantes)	
				120	Autres gaz de cokeries (provenant de cokeries indépendantes)	m ³ +kcal
				13	Cokes de houille destinés à la fabrication d'électrodes	
				130	Cokes de houille destinés à la fabrication d'électrodes (cokes purs d'une teneur en poids de cendres de 2 p. 100 ou moins)	t
				15	Cokes et semi-cokes de lignite	
				150	Cokes et semi-cokes de lignite	t

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
13	131	131.0	131.00	17	Sous-produits de la cokéfaction de houille et de lignite	kg
				171	Charbon de cornue en morceaux ou moulu	
				173	Goudrons bruts, obtenus par distillation à basse ou à haute température de jouille ou de lignite, même déshydratés	
				174	Soufre brut de récupération (provenant des cokeries)	
				175	Benzols bruts	
				177	Sulfate d'ammonium	
				179	Autres sous-produits de la cokéfaction de houille et de lignite (par ex. eaux ammoniacales, crude ammoniac)	
					<u>Extraction de pétrole et de gaz naturel</u>	t
					Extraction de pétrole	
					Pétrole brut (y compris pétrole semi-raffiné et gaz naturel associé)	
					Pétrole brut (y compris pétrole semi-raffiné et gaz naturel associé)	
				1	Huiles brutes ou semi-raffinées de pétrole ou de minéraux semi-bitumineux; gaz naturel associé	
				11	Huiles brutes ou semi-raffinées de pétrole	
				110	Huiles brutes ou semi-raffinées de pétrole (même décantées, dessalées, déshydratées, stabilisées ou ayant subi d'autres opérations de minime importance ne modifiant pas le caractère essentiel d'huiles brutes)	
				13	Huiles brutes de minéraux bitumineux	
				130	Huiles brutes de minéraux bitumineux	

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
	132	132.0	132.00	15	Gaz naturel associé	m ³ +kcal
				150	Gaz naturel associé	
					Extraction et épuration du gaz naturel	
					Gaz naturel (non associé) et condensats	
			132.00		Gaz naturel (non associé) et condensats	
			132.00	1	Gaz naturel (non associé)	
				10	Gaz naturel (non associé)	
				101	Gaz naturel brut (non épuré)	m ³ +kcal
				104	Gaz naturel désulfuré ou autrement épuré, à l'état gazeux	m ³ +kcal
				107	Gaz naturel désulfuré ou autrement épuré, à l'état liquide	t+kcal
			132.00	3	Condensats	
				30	Condensats	
				301	Essence naturelle	t+kcal
				305	GPL naturel	t+kcal
				307	Autres condensats	t+kcal
			132.00	5	Soufre brut de récupération	
				50	Soufre brut de récupération	
				500	Soufre brut de récupération (provenant du gaz naturel)	t
	133	133.0			Schistes bitumineux	
					Schistes bitumineux	
			133.00		Schistes bitumineux	

Classes	Groupes	Sous- groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
14	134	134.0	133.00	1	Schistes bitumineux (l'huile extraite de ces schistes est classée 131.00.130)	t
			11	Schistes bitumineux		
			110	Schistes, sables, calcaires et autres pierres bitumineux		
			15	Goudron de schistes bitumineux		
			150	Goudron de schistes bitumineux, même déshydraté		
				Prospection de pétrole et de gaz naturel		
				Services de recherche du pétrole et du gaz naturel		
			134.00		Services de recherche du pétrole et du gaz naturel	
			134.00	0	Services de recherche du pétrole et du gaz naturel	
				00	Services de recherche du pétrole et du gaz naturel	
				000	Services de recherche du pétrole et du gaz naturel	
					Raffinage des huiles minérales	
					Raffinage de pétrole	
				140.11	Raffinage sans distribution de produits pétroliers	
				140.12	Raffinage et distribution associée de produits pétroliers	
				140.10	Produits des raffineries de pétrole	
		Note. La NACE prévoit, au niveau du 5ème chiffre une distinction entre raffineries avec (140.12) ou sans (140.11) distribution associée de produits pétroliers. Cette distinction n'est pas prévue ici. Les produits de ces deux positions à 5 chiffres ont été classés dans la NIPRO sous 140.10.				

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
			140.10	1	Huiles légères, moyennes et lourdes	
				11	Naphtes	
				110	Naphtes	t
				12	Essence moteur	
				121	Essence moteur normale	t
				123	Essence moteur super	t
				125	Essence d'aviation	t
				13	Pétrole lampant et carburéacteurs	
				131	Pétrole lampant	t
				133	Pétrole moteur et tracteur	t
				135	Carburéacteur type essence	t
				137	Carburéacteur type pétrole	t
				15	Gas-oil et fuel-oil fluide	
				151	Fuel-oil domestique léger, gas-oil pour chauffage	t
				155	Gas-diesel oil	
				16	Fuel-oil résiduel	
				160	Fuel-oil résiduel	t
				17	White spirit et essences spéciales	
				171	White spirit	t
				175	Essences spéciales	t
			140.10	3	Lubrifiants et autres huiles minérales, n.d.a.	

Classes	Groupes	Sous- groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
				31	Huiles lubrifiantes (même utilisables à d'autres usages)	
				311	Spindle-oil	t
				314	Huile mouvement (pour machines)	t
				317	Huiles blanches	t
				33	Graisses lubrifiantes contenant en poids 70 p. 100 ou plus d'huile de pétrole	
				330	Graisses lubrifiantes contenant en poids 70 p. 100 ou plus d'huile de pétrole	
				35	Préparations lubrifiantes contenant jusqu'à 70 p. 100 d'huile de pétrole	t
					<u>256.60.111 = Préparations lubrifiantes en tant que produits auxiliaires pour l'industrie textile</u>	
					<u>.511 = Préparations lubrifiantes en tant que produits auxiliaires pour l'industrie du cuir et de la fourrure</u>	
					<u>259.20.109 = Produits d'entretien des cuirs, n.d.a.</u>	
					<u>256.70.140 = Préparations lubrifiantes en tant que produits auxiliaires pour l'industrie du caoutchouc</u>	
					<u>.319 = Préparations lubrifiantes en tant que produits de protection pour le bâtiment</u>	
					<u>.550 = Produits antirouille, n.d.a.</u>	
					<u>.520 = Préparations lubrifiantes, n.d.a. (par ex. huile de coupe, huile pour démontage, huiles et graisses d'étirage)</u>	

Classes	Groupes	Sous- groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
				37	Autres huiles minérales lubrifiantes	
				370	Autres huiles minérales lubrifiantes	
					Huile lubrifiante	t
				39	Autres huiles minérales, autres que lubrifiantes	
				391	Huiles pour le traitement des métaux	t
				395	Huiles isolantes	t
				399	Huiles minérales, n.d.a., autres que lubrifiantes	t
			140.10	5	Autres dérivés du pétrole (à l'exclusion des produits pétrochimiques)	
				51	Vaseline	
				511	Vaseline brute	t
				519	Autre vaseline (à l'exclusion des types à usage pharmaceutique ou cosmétique)	t
				53	Paraffine et résidus paraffineux	
				531	Paraffine brute	t
				534	Paraffine dure (point de fusion supérieur à 45°C)	t
				537	Paraffine, autre (point de fusion jusqu'à 45°C)	t
				539	Résidus paraffineux	t
				55	Ozokérite, cire de lignite ou de tourbe, épurée	
				550	Ozokérite, cire de lignite ou de tourbe, épurée	t
				57	Autres dérivés du pétrole (à l'exclusion des gaz et des produits pétrochimiques)	
				571	Bitume de pétrole	t

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
				574	Mélanges bitumineux à base de bitume de pétrole (par ex. mastics bitumineux)	t
				577	Coke de pétrole	t
			140.10	7	GPL et autres gaz de raffineries	
				71	GPL (issu de raffinage)	
				710	GPL (propane, butane)	t+kcal
				75	Gaz de raffineries (à l'exclusion du gaz naturel)	
				750	Gaz de raffineries (à l'exclusion du gaz naturel)	m ³ +kcal
			140.10	8	Soufre brut de récupération	
				80	Soufre brut de récupération	
				800	Soufre brut de récupération (provenant du raffinage du pétrole)	t
			140.10	9	Résidus du raffinage de pétrole	
				90	Extraits du raffinage (autres que de lubrifiants) et autres résidus des huiles de pétrole	
				900	Extraits du raffinage (autres que de lubrifiants) et autres résidus des huiles de pétrole	t
		140.2			Transformation de dérivés du pétrole (à l'exclusion de la pétrochimie)	
			140.20		Dérivés du pétrole transformés ou mélangés (à l'exclusion des produits pétrochimiques)	
			140.20	1	Graisses lubrifiantes contenant en poids 70 p. 100 ou plus d'huile de pétrole	

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
				10	Graisses lubrifiantes contenant en poids 70 p. 100 ou plus d'huile de pétrole	
					<u>140.10.330 = Graisses lubrifiantes contenant en poids 70 p. 100 ou plus d'huile de pétrole</u>	
			140.20	5	Autres dérivés du pétrole transformés ou mélangés	
				50	Autres dérivés du pétrole transformés ou mélangés	
				500	Emulsions de bitume	t
					<u>140.10.311 = Spindle oil</u>	
					<u>.314 = Huile mouvement (pour machines)</u>	
					<u>.317 = Huiles blanches</u>	
					<u>.330 = Graisses lubrifiantes contenant en poids 70 p. 100 ou plus d'huile de pétrole</u>	
					<u>.370 = Autres huiles minérales lubrifiantes</u>	
					<u>.391 = Huiles pour le traitement des métaux</u>	
					<u>.395 = Huiles isolantes</u>	
					<u>.399 = Huiles minérales, n.d.a., autres que lubrifiantes</u>	
			140.20	9	Résidus obtenus lors de la transformation de dérivés du pétrole	
				90	Extraits du raffinage et autres résidus obtenus lors de la transformation de dérivés du pétrole	
				900	Extraits du raffinage et autres résidus obtenus lors de la transformation de dérivés du pétrole	t

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
15	151	151.0	151.00		<u>Industrie des combustibles nucléaires</u>	
					Extraction de minerais contenant des matières fissiles et fertiles	
					Minerais contenant des matières fissiles et fertiles	
			151.00		Minerais contenant des matières fissiles et fertiles	
			151.00	1	Minerais d'uranium et pechblende	
				10	Minerais d'uranium et pechblende	
				101	Minerais d'uranium et pechblende d'une teneur en uranium supérieure à 5 p. 100 en poids	t-U
				105	Minerais d'uranium et pechblende d'une teneur en uranium égale ou inférieure à 5 p. 100 en poids	t-U
			151.00	5	Minerais de thorium	
				50	Minerais de thorium	
				501	Monazite : urano-thorianite et autres minerais de thorium d'une teneur en thorium supérieure à 20 p. 100 en poids	t-Th
				509	Autres minerais de thorium	t-Th
	152	152.0			Production et transformation des matières fissiles et fertiles	
					Matières fissiles et fertiles	
			152.00		Matières fissiles et fertiles	
			152.00	1	Concentrés d'uranium et de thorium	
				11	Concentrés d'uranium	
				110	Concentrés d'uranium ("Yellow cake" et solution de nitrate d'uranyle)	kg-U

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
			152.00	15	Concentrés de thorium	
				150	Concentrés de thorium	kg-Th
				3	Eléments chimiques et isotopes fissiles et fertiles, leurs composés, alliages, dispersions et cermets, même mélangés entre eux	
				31	Eléments chimiques et isotopes fissiles et fertiles, leurs composés et alliages à uranium naturel	
				311	Tétrafluorure d'uranium	kg-U
				312	Hexafluorure d'uranium	kg-U
				313	Oxydes	kg-U
				315	Métal brut (y compris déchets et débris)	kg-U
				316	Métal ouvré	kg-U
				319	Autres composés chimiques à uranium naturel	kg-U
				32	Eléments chimiques et isotopes fissiles et fertiles, leurs composés et alliages, à uranium enrichi	
				321	Tétrafluorure d'uranium	kg-U + kg-U235
				322	Hexafluorure d'uranium	kg-U + kg-U235
				323	Oxydes	kg-U + kg-U235
				326	Métal et alliages	kg-U + kg-U235
				328	Nitrate d'uranyle	kg-U + kg-U235
				329	Autres composés à uranium enrichi	kg-U + kg-U235

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
				33	Eléments chimiques et isotopes fissiles et fertiles, leurs composés et alliages, au plutonium	
				350	Plutonium métal, ses alliages et autres composés chimiques	kg-Pu + kg-Pu241
				35	Eléments chimiques, isotopes, composés, alliages et mélanges au thorium	
				353	Oxydes	kg-Th
				355	Métal brut	kg-Th
				356	Métal ouvré	kg-Th
				359	Autres composés chimiques au thorium	kg-Th
				36	Eléments chimiques et isotopes, leurs composés et alliages, à l'uranium appauvri	
				361	Tétrafluorure d'uranium	kg-U + kg-U235
				362	Hexafluorure d'uranium	kg-U + kg-U235
				363	Oxydes	kg-U + kg-U235
				366	Métal et alliages	kg-U + kg-U235
				368	Nitrate d'uranyle	kg-U + kg-U235
				39	Mélanges (uranium, plutonium, thorium)	
				390	Oxydes, carbures, cermets, dispersions et alliages à partir de mélanges d'uranium, de plutonium et de thorium	kg

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
16	161	161.1	152.00	4	Eléments combustibles non irradiés	kg-U + kg-U235
				41	Eléments combustibles à uranium naturel	
				410	Eléments combustibles à uranium naturel	
				42	Eléments combustibles à uranium enrichi	
				421	Eléments combustibles à uranium faiblement enrichi	
				422	Eléments combustibles à uranium hautement enrichi	
				43	Eléments combustibles au plutonium	
				430	Eléments combustibles au plutonium	
				46	Eléments combustibles à uranium appauvri	
				460	Eléments combustibles à uranium appauvri	
				49	Eléments combustibles mixtes	
				490	Eléments combustibles mixtes (uranium, plutonium, thorium) sous différentes compositions chimiques (oxydes, carbures, nitrures, etc.)	
					<u>Production et distribution d'énergie électrique, de gaz, de vapeur et d'eau chaude</u>	
					Production et distribution d'énergie électrique	
					Production d'énergie électrique thermique (classique et géothermique)	
			161.10		Energie électrique thermique pour l'approvisionnement public	kg

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
			161.10	1	Energie électrique thermique classique et productions connexes	
				11	Energie électrique thermique classique	
				111	Energie électrique à partir de houille et dérivés	GWh
				112	Energie électrique à partir de lignite récent	GWh
				113	Energie électrique à partir de produits pétroliers non gazeux	GWh
				114	Energie électrique à partir de gaz naturel	GWh
				115	Energie électrique à partir de gaz dérivés	GWh
				119	Energie électrique à partir d'autres combustibles	GWh
				15	Chaleur	
					<u>163.00.104 = Vapeur commercialisée (à travers un réseau de distribution)</u>	
					<u>.107 = Eau chaude commercialisée (à travers un réseau de distribution)</u>	
			161.10	2	Energie électrique géothermique	
				20	Energie électrique géothermique	
				200	Energie électrique géothermique	GWh
		161.2			Energie électrique hydraulique	
			161.20		Energie électrique hydraulique pour l'approvisionnement public	
			161.20	1	Energie électrique hydraulique	
				10	Energie électrique hydraulique	
				101	Energie électrique à partir d'apports naturels	GWh

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
		161.3		105	Energie Électrique à partir de pompages	GWh
					Production d'Énergie Électrique nucléaire	
			161.30		Energie Électrique nucléaire pour l'approvisionnement public	
			161.30	1	Energie Électrique nucléaire et productions connexes	
				11	Energie Électrique nucléaire	
				111	Energie Électrique à partir de réacteurs à uranium naturel	GWh
				114	Energie Électrique à partir de réacteurs à uranium enrichi	GWh
				117	Energie Électrique à partir de surgénérateurs	GWh
				15	Chaleur	
					<u>163.00.104 = Vapeur commercialisée (à travers un réseau de distribution)</u>	
					<u>.107 = Eau chaude commercialisée (à travers un réseau de distribution)</u>	
				17	Eléments combustibles irradiés	
				171	Eléments combustibles à uranium naturel	kg
				172	Eléments combustibles à uranium enrichi	kg
				173	Eléments combustibles au plutonium	kg
				174	Eléments combustibles à uranium appauvri	kg
				179	Eléments combustibles mixtes (uranium, plutonium, thorium)	kg

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
		161.4			Distribution d'Énergie Électrique	
			161.40		Energie Électrique distribuée (pour l'approvisionnement public)	
			161.40	1	Energie Électrique distribuée (pour l'approvisionnement public)	
				10	Energie Électrique distribuée (pour l'approvisionnement public)	
				100	Energie Électrique distribuée (pour l'approvisionnement public)	
		161.5			Production d'Énergie Électrique thermique (classique)	
			161.50		Energie Électrique produite par des centrales thermiques classiques d'autoproduiteurs	
			161.50	1	Energie Électrique produite par des centrales thermiques classiques d'autoproduiteurs	
				11	Energie Électrique produite par des centrales thermiques classiques d'autoproduiteurs	
					<u>161.10.111 = Energie Électrique à partir de houille et dérivés</u>	
					<u>.112 = Energie Électrique à partir de lignite récent</u>	
					<u>.113 = Energie Électrique à partir de produits pétroliers non gazeux</u>	
					<u>.114 = Energie Électrique à partir de gaz naturel</u>	
					<u>.115 = Energie Électrique à partir de gaz dérivés</u>	
					<u>.119 = Energie Électrique à partir d'autres combustibles</u>	

GWh

Classes	Groupes	Sous- groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
		161.6			Production d'énergie électrique hydraulique	
			161.60		Energie électrique produite par des centrales hydrauliques d'autoproduiteurs	
			161.60	1	Energie électrique produite par des centrales hydrauliques d'autoproduiteurs	
				10	Energie électrique produite par des centrales hydrauliques d'autoproduiteurs	
					<u>161.20.101 = Energie électrique à partir d'apports naturels</u>	
					<u>.105 = Energie électrique à partir de pompage</u>	
		161.7			Production d'énergie électrique nucléaire	
			161.70		Energie électrique produite par des centrales nucléaires d'autoproduiteurs	
			161.70	1	Energie électrique produite par des centrales nucléaires d'autoproduiteurs	
				11	Energie électrique produite par des centrales nucléaires d'autoproduiteurs	
					<u>161.30.111 = Energie électrique à partir de réacteurs à uranium naturel</u>	
					<u>.114 = Energie électrique à partir de réacteurs à uranium enrichi</u>	
					<u>.117 = Energie électrique à partir de surgénérateurs</u>	

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
	162	162.1		17	Eléments combustibles irradiés <u>161.30.171 = Eléments combustibles irradiés à uranium naturel</u> <u>.172 = Eléments combustibles irradiés à uranium enrichi</u> <u>.173 = Eléments combustibles irradiés au plutonium</u> <u>.174 = Eléments combustibles irradiés à uranium appauvri</u> <u>.179 = Eléments combustibles irradiés mixtes (uranium, plutonium, thorium)</u> Usines à gaz; distribution de gaz Usines à gaz <u>Note.</u> La production de gaz d'usines englobe les gaz produits par les entreprises qui ont pour objet principal la production et la distribution de gaz dérivés. Sont compris aussi les gaz provenant du traitement et mélange d'autres types de gaz.	
			162.10		Gaz et coke d'usines	
			162.10	1	Gaz et coke d'usines	
				10	Gaz et coke d'usines	
				101	Gaz d'usines	m ³ +kcal
				102	Coke d'usines (y compris semi-coke de houille)	t

Classes	Groupes	Sous-groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Description	Unité de mesure
					<u>120.30.173 = Goudrons bruts</u>	
					<u>.175 = Benzols bruts</u>	
					<u>.177 = Sulfate d'ammonium</u>	
					<u>.179 = Autres sous-produits de la cokéfaction de houille et de lignite (par ex. eaux ammoniacales, crude ammoniac)</u>	
		162.2			Distribution de tous combustibles gazeux par canalisations	
			162.20		Combustibles gazeux de tous genres, distribués localement par canalisations à basse pression	
			162.20	1	Combustibles gazeux de tous genres distribués localement par canalisations à basse pression	
				10	Combustibles gazeux de tous genres distribués localement par canalisations à basse pression	
				101	Gaz naturel, non modifié (env. 8 000-10 000 kcal/m ³)	m ³ +kcal
				104	Gaz d'usines (env. 4 000 kcal/m ³)	m ³ +kcal
	163				Production et distribution de vapeur, d'eau chaude, d'air comprimé; centrales de production de chaleur	
		163.0			Chaleur (vapeur, eau chaude); air comprimé	
			163.00		Chaleur (vapeur, eau chaude); air comprimé	
			163.00	1	Chaleur (vapeur, eau chaude); air comprimé	
				10	Chaleur (vapeur, eau chaude); air comprimé	
				101	Air comprimé, distribué par canalisations	m ³

Classes	Groupes	Sous- groupes et positions	Réf. NACE	Code NIPRO	Distribution	Unité de mesure
17	169			104	Vapeur et chaleur, produites à partir de centrales de production de chaleur, distribuées par canalisations	Tcal
				107	Eau chaude, produite à partir de centrales de production de chaleur, distribuée par canalisations	m ³ +tcal
					Production et distribution de plusieurs sortes d'énergie	
	170		170.00		<u>Note.</u> Les produits de ce groupe étant les mêmes que ceux des groupes 161, 162 et 163, ils ne sont pas repris ici. Cette rubrique a été créée pour le classement d'entreprises et d'unités locales.	
					Captage, épuration et distribution d'eau	
					Eau captée, épurée et distribuée	
			170.00	1	Eau captée, épurée et distribuée	
				10	Eau captée, épurée et distribuée	
				100	Eau captée, épurée et distribuée	t

Légende

kg-U	teneur en kilogrammes d'uranium actif
kg-Th	teneur en kilogrammes de thorium actif
kg-U+kg-U235	teneur en kilogrammes d'uranium actif ou d'uranium 235 actif
kg-Pu+kg-Pu239.241	teneur en kilogrammes de plutonium actif ou de plutonium 239.241 actif
t+kcal	tonne ou kilocalorie
t-U	teneur en tonnes d'uranium actif
t-Th	teneur en tonnes de thorium actif

Annexe VI

CONSTITUTION DES DONNEES DE BASE

1. Dans le texte principal du manuel, on a signalé que l'élaboration d'un bilan énergétique global passe forcément par l'établissement préalable d'un bilan (ou d'un compte) des produits énergétiques. Cette étape préliminaire elle-même dépend de l'existence de données brutes suffisantes et récentes sur les approvisionnements, les stocks, les transformations et les utilisations de toutes les sources énergétiques d'importance économique pour le pays. L'expérience montre que cette condition n'est pas toujours réalisée, et si le manque de données est souvent un problème particulier aux pays en développement, il arrive parfois aussi que d'autres pays ne disposent pas de toutes les informations statistiques voulues. De plus, dans un certain nombre de pays appartenant aux deux groupes, les statistiques tirées de sources commerciales, fiscales ou administratives qui apparaissent, de par leur description habituelle (par exemple, ventes, importations), convenir pour l'élaboration de comptes énergétiques peuvent en réalité n'être acceptables que comme point de départ et ne pas se prêter réellement aux fins envisagées. On verra dans les paragraphes ci-après certains des problèmes spécifiques qui peuvent surgir et on indiquera diverses façons de les résoudre.

2. Les pays qui produisent, importent ou exportent du pétrole brut et/ou des produits pétroliers posséderont presque à coup sûr des statistiques assez complètes établies par les sociétés ou organismes de production, de raffinage ou de commerce. Cela vaut également, mutatis mutandis, pour le charbon, le gaz naturel, l'hydro-électricité et l'électricité d'origine thermique. Il peut y avoir des problèmes de compatibilité entre les statistiques disponibles. Cela peut être dû au fait que, à différents stades du flux entre la production ou l'importation de brut (ou autre source d'énergie primaire) et la vente de produits finis, chaque société enregistre les informations sur les stocks et les mouvements dans la forme qui convient le mieux à ses propres opérations commerciales.

3. Si, dans le cas des combustibles liquides à tel ou tel point de la chaîne de l'offre et de la demande, le brut et/ou les produits pétroliers sont mesurés en termes volumétriques (barils ou multiples du baril), alors les différents poids spécifiques des produits se traduisent par des gains de volume (comparés au volume total de brut à l'entrée en raffinerie) pour les produits qui sont moins denses que le brut, et des pertes de volume pour les produits qui sont plus denses. D'autres gains et pertes apparents peuvent se produire si les statistiques volumétriques sont consignées sur la base de la température réelle au moment de la mesure alors que d'autres sont enregistrées après conversion des volumes réels en volumes standardisés à, par exemple, 15°C. Même lorsque tous les volumes se rapportent à la même base de température, les quantités indiquées par une raffinerie, par exemple, comme livraisons à une société de commercialisation peuvent ne pas correspondre aux quantités que cette société déclare avoir reçues de la raffinerie. En dehors du facteur température, ces variations peuvent avoir de multiples causes : ainsi, il peut arriver que la société de commercialisation n'arrête pas ses comptes le même jour du mois que la raffinerie, ou encore qu'elle exclut les pertes dues à l'évaporation ou aux quantités répandues. On peut éviter les différences volumétriques en utilisant, à tous

les niveaux de la chaîne de l'offre et de la demande, une unité de masse (tonne impériale ou tonne métrique, par exemple) au lieu d'une unité de volume (telle que le baril).

4. Il convient d'étudier attentivement toutes les sources de données afin de déterminer avec précision la signification et le champ couvert par chacune. Les chiffres tirés des différentes sources devraient être comparés et toute incohérence devrait être tirée au clair avec le responsable initial de ces chiffres. Toute explication devrait toujours être consignée par écrit, pour référence et afin d'éviter que quelqu'un qui n'est pas au courant du travail antérieur soit obligé de reprendre l'investigation. (En dehors même des recherches de type spécial évoquées plus haut, tous les états devraient être vérifiés aussitôt que possible après leur réception et les erreurs ou incohérences éventuelles devraient être signalées au responsable de l'envoi des données en question.)

5. Les statistiques douanières sont un sous-produit de la documentation nécessaire pour la perception des diverses taxes qui frappent les importations et exportations de marchandises. Les fonctionnaires des douanes ne s'intéressent en général pas (car ce n'est pas leur affaire) à la mesure des flux physiques, ou des changements de propriété, qui interviennent chaque mois. Les statistiques douanières sont basées sur le volume ou la valeur des marchandises qui ont fait l'objet de paiements de droits ou de certificats de dédouanement pendant le mois, et la chronologie et la structure de ces faits fiscaux seront établies plus tard - parfois beaucoup plus tard - que la chronologie des flux économiques qui intéressent le statisticien aux fins de l'élaboration de comptes énergétiques.

6. Les statistiques fournies par les producteurs et utilisateurs d'énergie risquent aussi parfois de ne pas refléter aussi étroitement qu'on l'aurait voulu la répartition dans le temps des stocks et des flux énergétiques. Cela peut arriver lorsque les statistiques sont établies par le service de comptabilité plutôt que par le service de l'approvisionnement, de la production ou de la commercialisation de l'entreprise concernée. Comme c'est le cas pour les documents douaniers, l'échelonnement dans le temps des faits financiers (tels que la facturation ou l'apurement des comptes) subira un décalage par rapport aux événements physiques auxquels ils se rapportent.

7. Cette investigation des chiffres devrait s'accompagner d'un examen critique des imprimés servant à établir les états périodiques fournis par les organismes commerciaux (ou des rapports d'activité et tableaux habituels établis à l'intérieur de ces organismes) afin de déterminer si ces documents sont satisfaisants eu égard aux critères suivants :

a) Clarté en ce qui concerne le contenu précis des informations à porter dans chaque case et les dates de l'année civile délimitant la période de temps à laquelle se rapporte l'état;

b) Exhaustivité, en ce sens que l'état devrait comporter un dispositif d'autovérification grâce à la fourniture, chaque fois que possible, d'un bilan complet des approvisionnements et/ou des utilisations (par exemple, stocks d'ouverture + importations - pertes = écoulement + stocks de fermeture);

c) Cohérence entre des États connexes (par exemple, les secteurs d'utilisation finale devraient, autant que possible, être les mêmes ou mutuellement compatibles);

d) Champ d'application englobant tous les flux et usages de l'énergie (non pas limité, par exemple, aux seuls combustibles liquides ou transactions de raffinerie).

Si nécessaire, les imprimés existants devraient être remodelés pour inclure ces caractéristiques et de nouveaux États devraient être introduits pour couvrir les approvisionnements et utilisations énergétiques qui ne figurent pas dans les États périodiques en vigueur (par exemple, combustibles fossiles, déchets et énergie hydraulique utilisées pour l'autoproduction d'électricité à l'intérieur d'une industrie).

8. Les chiffres provenant des États vérifiés (et si nécessaire corrigés) devraient être reportés sur des feuilles de travail conçues de manière à permettre de voir au premier coup d'oeil la situation de chaque mois comparé aux mois précédents. Ces feuilles de travail devraient comprendre des tableaux qui regroupent les stocks et les flux en dehors aussi bien qu'à l'intérieur des principaux secteurs de production et de commerce (par exemple, importations directes de produits pétroliers par les sociétés de distribution, l'industrie électrique ou des industries du secteur manufacturier). Le schéma détaillé des feuilles de travail variera d'un pays à l'autre en fonction des caractéristiques des flux énergétiques qui lui sont propres.

9. La terminologie employée dans les feuilles de travail concernant les produits devra, au moins initialement, se conformer à celle utilisée dans les États industriels spécifiques dont sont tirés les chiffres de base. Par conséquent, des flux à peu près similaires (par exemple, production, commerce, consommation) pour les combustibles liquides, solides et gazeux ainsi que pour l'électricité peuvent avoir une désignation différente dans chacune des feuilles de travail concernant les produits (par exemple, production de raffinerie, production brute d'électricité, réception nette, livraisons intérieures). Dans un compte de produits énergétiques, cependant, une seule série d'intitulés de lignes est utilisée pour tous les produits énergétiques.

10. Cette comptabilisation mensuelle permet de repérer les incohérences dans le temps se rapportant à des chiffres qui peuvent être arithmétiquement corrects si on les considère isolément pour le mois en cause : des hausses ou des baisses soudaines d'un mois à l'autre devraient soulever la méfiance et conduire à une investigation rapide. Un autre avantage que présente la construction de séries mensuelles est que celles-ci peuvent révéler, avec ou sans l'aide d'une analyse statistique formelle, des structures saisonnières qui peuvent être intéressantes du point de vue de la politique générale.

11. La compilation de séries chronologiques mensuelles a aussi l'avantage de fournir une banque de données qui peut servir à élaborer un bulletin mensuel d'indicateurs à court terme des approvisionnements et des utilisations de l'énergie. Un tel bulletin pourrait donner, par exemple, des statistiques des trois derniers mois; celles des trois mois correspondants de l'année précédente; le total de chaque série et la variation de pourcentage entre cette année et

l'année dernière; le total cumulatif de l'année à ce jour et le chiffre correspondant pour l'année précédente; ainsi que la différence entre les deux. On pourrait ajouter un commentaire de nature explicative (plutôt que de se contenter de déclarations évidentes du genre : "... A a baissé de x et B a augmenté de y..."). Les chiffres qu'il n'est pas facile de rassembler chaque mois peuvent figurer dans une série périodique de tableaux trimestriels ou semestriels (accompagnés d'un texte explicatif approprié).

12. Lorsque les bilans énergétiques globaux sont élaborés sur une base régulière, on peut sortir chaque trimestre des bilans fortement agrégés et, si cela est possible, les différents totaux figurant dans les mini-bilans peuvent alors être transformés en tableaux de séries chronologiques pour le bulletin. Il est probable que les producteurs (par exemple, les sociétés qui fabriquent de l'électricité) et les distributeurs (par exemple, les sociétés de commercialisation de produits pétroliers) s'intéresseront aux différents types de clients auxquels ils vendent leurs produits, aux fins de fixation des prix et de promotion des ventes. Toutefois, dans le cas des sources d'énergie solides et liquides (par exemple, produits pétroliers, charbon et, à moindre échelle, charbon de bois et bois de feu) qui peuvent être conservées en stock par un marchand ou un négociant qui effectue ses achats auprès d'un producteur ou d'une grande société de distribution, ces derniers "vendeurs en amont" ne sauront pas à quel type d'utilisateur final leurs produits sont vendus par les "négociants en aval". Il peut néanmoins être possible d'inclure dans le bulletin des tableaux trimestriels ou semestriels donnant une large analyse sectorielle des acheteurs d'énergie.

13. Les statistiques sur la répartition de chaque type d'énergie entre les utilisateurs finals sont plus difficiles à obtenir que les données sur les approvisionnements énergétiques. Cela tient à plusieurs raisons, mais surtout au fait suivant : plus les utilisateurs sont nombreux et plus les quantités d'énergie qu'ils consomment sont faibles, moins il est facile dans la pratique d'essayer d'enregistrer régulièrement les quantités qu'ils utilisent. Mais même dans le cas d'utilisateurs plus importants (par exemple, petites usines et ateliers et autres entreprises) la collecte des données risque de coûter trop cher en temps et en argent eu égard aux priorités statistiques générales de tel ou tel gouvernement.

14. La manière la plus efficace d'obtenir des renseignements sur le niveau et la structure de la consommation d'énergie lorsqu'il existe de nombreux petits utilisateurs consiste à avoir recours à des enquêtes par sondage bien conçues et bien exécutées. Ceci s'applique particulièrement au secteur des ménages. Les enquêtes par sondage peuvent également jouer un rôle utile dans les secteurs des transports, de l'hôtellerie et du commerce ainsi que pour évaluer la contribution économique du bois de feu, de l'énergie animale et humaine et d'autres combustibles traditionnels. Dans certains autres cas (par exemple, le secteur public), une enquête du type recensement spécifique peut être menée dans tous les ministères et organismes analogues.

15. Il n'y a pas lieu ici d'entrer dans le détail des principes et les procédures à suivre pour ces enquêtes par sondage. La méthodologie des sondages est un domaine spécialisé et, s'il est envisagé d'y avoir recours, il faut s'entourer dès le départ des conseils d'un statisticien ayant les qualifications et l'expérience voulues.

16. La méthode générale préconisée dans les paragraphes précédents pour la compilation et la validation de statistiques énergétiques de base s'applique aussi bien sûr aux autres sources secondaires d'énergie telles que le coke, le gaz de cokerie, les agglomérés de combustible solide et le gaz de ville.

17. Comme on l'a signalé dans le texte principal du présent manuel, la construction de comptes de produits énergétiques et de bilans énergétiques d'ensemble ne constitue pas seulement une méthode précieuse pour élaborer un ensemble pleinement articulé de statistiques de l'énergie, mais elle permet aussi d'identifier les lacunes dans les données disponibles, de vérifier soigneusement la cohérence interne et externe de toutes les données normalement disponibles ou obtenues dans un but spécial, et d'aider à déterminer les priorités pour les travaux futurs.

Annexe VII

RAPPORTS ENTRE DIVERS TERMES ENERGETIQUES

Le tableau ci-après montre les rapports existant entre diverses désignations en usage courant pour classifier les sources d'énergie, ainsi que les sources spécifiques auxquelles s'applique chaque description. La classification générale la plus satisfaisante à des fins pratiques semblerait actuellement être la suivante : commerciale/traditionnelle/non classique/animale et humaine.

Toute classification de ce genre devra être revue dans une dizaine d'années, car l'appréciation de ce qui est non classique aura peut-être changé. Une classification plus durable pourrait peut-être reposer sur le lien plus ou moins étroit entre l'énergie solaire et chaque source d'énergie terrestre (par exemple, solaire directe telle que thermique solaire et photovoltaïque; solaire directement dérivée telle que éolienne, hydraulique, vagues, cultures combustibles, bois de feu et déchets végétaux; solaire dérivée indirectement telle que charbon de bois, résidus animaux, biogaz et alcools; enfin, comme sources distinctes non solaires, énergie fossile, fissile, géothermique, marémotrice et humaine ou animale). Le degré de dépendance solaire de certaines de ces sources n'est pas directement évident et une classification fondée sur ce principe ne serait sans doute pas facilement acceptée par nombre de statisticiens de l'énergie et autres spécialistes qui sont habitués au genre de terminologie indiquée dans le tableau ci-après. Ce qu'il faut en priorité c'est arriver à la clarté et la cohérence dans l'utilisation de cette dernière terminologie.

CLASSIQUE OU NON	POSSIBILITE DE RENOUVELLEMENT	
	RENOUVELABLE	NON RENOUVELABLE
COMMERCIALE	Energie hydraulique (à grande échelle) Géothermique	Combustibles fossiles Nucléaire (autres)
NON COMMERCIALE/ TRADITIONNELLE	Bois de feu (cueillette), charbon de bois, brindilles, feuilles, petit bois, etc. Déchets végétaux Déchets animaux Déchets industriels Hydro (moulins à eau) Vent (moulins à vent et pompes)	Bois de feu (abattage) Charbon de bois
NOUVELLE	Autres cultures combustibles (pour la production d'alcool, etc.) Biogaz Solaire Marée motrice et houlomotrice Thermique marine Hydraulique (mini) Vent (éoliennes)	Pétrole de charbon
ANIMALE OU HUMAINE*	Energie animale Energie humaine	

* L'énergie animale pourrait aussi être classée sous la rubrique "renouvelable traditionnelle".

Annexe VIII

BILANS ENERGETIQUES POUR LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

Les deux tableaux qui suivent montrent, d'abord, à quoi pourrait ressembler un bilan énergétique simplifié pour un pays en développement, et ensuite, comment un bilan distinct pourrait être construit pour couvrir les sources traditionnelles et nouvelles d'énergie renouvelable. Ainsi, lorsqu'il y a une entrée de produits pétroliers dans l'agriculture pour la production de cultures combustibles, cette entrée devrait être portée à la rubrique "autoconsommation du secteur énergétique" avec une note de bas de page appropriée dans le bilan principal et une note correspondante dans la colonne pertinente du bilan des sources renouvelables.

Joules $\times 10^{12}$ (Térajoules) Supprimer un
Tonnes d'équivalent pétrole (TEP) $\times 10^3$

Année :

Flux	Source	pétrole brut	Essence	Kérosène/ carbu- réacteur	Diesel oil	Fuel oil	Asphalte	GPL	Essence avia- tion	Gaz raffi- nerie	Electricité		Bois de feu	Charbon de bois	Divers	Total
											Ther- mique	Hydro				
1. Production primaire																
2. Importations																
3. Exportations																
4. Soutes																
5. Variations de stocks																
6. Augmentation (-) diminution (+) ☒																
7. Approvisionnement intérieur																
1+2-(3+4)+5																
7. Transformation :																
Entrée (-) sortie (+) ☒																
Raffineries																
Production d'électricité																
Distribution publique																
Sucre																
Bauxite																
Divers a/																
Total																
8. Autoconsommation et pertes																
secteur énergétique																
Raffineries																
Centrales																
9. Pertes de distribution																
10. Utilisation non énergétique																
11. Utilisation finale :																
6+7-(8+9+10)																
Agriculture																
Bauxite																
Autres industries extractives																
Sucre, mélasse et rhum																
Autres aliments, boissons et tabac																
Produits chimiques																
Autres produits manufacturés																
Transports																
Rail																
Route																
Air																
Distribution, commerce et finance																
Ménages																
Services publics																
Hôtels, etc.																
Divers																

a/ Spécifier le champ couvert et distinguer les principaux éléments, si nécessaire, dans un tableau annexe (par exemple, sources solaire, éolienne, biogaz/autres industries).

BILAN ENERGETIQUE POUR LES SOURCES RENOUVELABLES

Source Flux	Bois de feu	Cultures combustibles a/		Déchets agricoles		Charbon de bois	Alcool	Biogaz	Solaire		Energie éolienne	Hydro- élec- tricité	Elec- tricité	Total
		Canne à sucre	Autres	Végé- taux	Ani- maux				Ther- mique	Lumière				
Production primaire														
Variation de stocks														
Approvisionnement primaire														
Transformation														
Production de charbon de bois														
Distillation														
Fermentation														
Production de gaz														
Production d'électricité														
Utilisation finale														
Agriculture														
Irrigation														
Drainage														
Séchage et refroidissement														
Force mécanique														
Traitement des aliments														
Séchage														
Chauffage et refroidissement														
Force mécanique														
Eclairage														
Transports														
Usage domestique														
Cuisson des aliments														
Eclairage														
Divers														
Autres usages (spécifier)														
Résiduel														

a/ Entrée finale correspondante de combustible pour la production végétale et les récoltes.

BIBLIOGRAPHIE

Méthodologie des bilans Énergétiques

- AIE/OCDE (1979) Actes du Colloque sur les données Énergétiques des pays en développement, vol. I, Agence internationale de l'Énergie/Organisation de coopération et de développement Économiques (Paris)
- Chatterjee, M. (1971) "Energy and power for development", Indian Planning Commission (1971)
- Guyol, N. B. (1971) "Energy in the perspective of geography" (Englewood, N.J.) (Prentice Hall, Inc.)
- Laading, K. F. (1960) "Methods for establishing overall energy balance sheets". World Power Conference paper
- Nebbia, G. (1975) "An attempt to find an accounting method: energy". Rassegna Economica (Naples)
- Ramain, P. (1977) Réflexions critiques sur les bilans Énergétiques (Institut Économique et juridique de l'Énergie) (Grenoble)
- Roberts, W. N. T. et W. A. "Energy balances, some problems and recent developments"
- Hawkins (1977) United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, Department of Energy (Londres)
- UNIPED (1976) Union internationale des producteurs et distributeurs d'Énergie Électrique

Équivalences et facteurs de conversion Énergétiques

- Guyol, N. B. (1977) "Energy interrelationships - A handbook of tables and conversion factors for combining and comparing international energy data". National Energy Information Centre of the Federal Energy Administration (Washington, D.C.)

Analyses de l'Énergie

- Bullard, C. W. et Herenden, R. A. (1975) "The energy cost of goods and services", Energy Policy (décembre)
- Chapman, P., G. Leach et M. Slessor (septembre 1974) "The energy cost of fuels", Energy Policy

- Common, M. (1975) "The economics of energy analysis reconsidered", Energy Policy (décembre)
- FIIHE (1974) "Energy Analysis". Rapport du colloque No 6
"Energy analysis and economics". Rapport du colloque No 9. Fédération internationale des instituts de hautes études (stockholm)
- _____ (1975) "The natural resources requirements of commodities", Applied Economics (juillet)
- Leach, G. (1975) "Net energy analysis - is it any use?", Energy Policy (décembre)
- Longva, P. (1977) "Energy use in Norway", Bureau central de statistique (Oslo)
- Sagaroff, S. W. Frank, K. Schagginer et K. Turetschek (1970) "Die energetische Struktur der österreichischen Volkswirtschaft", Institut de statistique de l'Université de Vienne
- Sroczynski, W. et A. Szpilewicz (1977) "Accumulated energy consumption in the production of construction materials and large buildings", document de la Conférence mondiale de l'énergie
- Webb, M. et D. Pearce (1975) "The economics of energy analysis", Energy Policy (décembre)
- Wright, D. J. (1974) "Goods and services - an input/output analysis of energy requirements", Energy Policy (décembre 1974)

Bilans énergétiques

- AIE/OCDE (1979) "Bilans énergétiques des pays en développement", Agence internationale de l'énergie/Organisation pour la coopération et le développement économiques (Paris)
- Bureau de statistique des Nations Unies (1977) World Energy Supplies, Etudes statistiques, séries J, No 20 (Publication des Nations Unies, No de vente E.77.XVII.4)
- OCDE (1977) "Bilans énergétiques des pays de l'OCDE", Organisation de coopération et de développement économiques (Paris)
- OSCE (1976) "Annuaire de statistiques de l'énergie", Office statistique des Communautés européennes (Luxembourg)

Divers

- CBI (1975) "A statistical survey of industrial fuel and energy use", Confederation of British Industry (Londres)
- CEE (1976) "Accroissement des économies et de l'efficacité en matière d'énergie dans la région de la CEE", Commission économique pour l'Europe (Genève)
- Chesshire, J., et C. Buckley (septembre 1976) "Energy use in UK industry", Energy Policy
- Darmstadter, J., et autres (1971) "Energy in the world economy", Resources for the Future Inc. (Washington, D.C.)
- NEDO (1974a) "The increased cost of energy - implications for United Kingdom industry", National Economic Development Office (Londres)
- Open University (1972) "Energy conversion, power and society"
- Slessor, M. (1978) "Energy in the economy"
- United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, Department of Energy (1976) "Energy audits" (Londres)
- _____ (1977) "Energy audits" (Londres)
- _____ (1978) "Energy forecasting methodology", Energy paper No. 29 (Londres)

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم. استعلم عنها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى: الأمم المتحدة، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف.

如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经售处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.
