

DÉPARTEMENT DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES INTERNATIONALES
BUREAU DE STATISTIQUE

ÉTUDES MÉTHODOLOGIQUES

Série F N° 44

**STATISTIQUES DE L'ÉNERGIE :
DÉFINITIONS, UNITÉS DE MESURE
ET FACTEURS DE CONVERSION**



NATIONS UNIES
New York, 1987

DÉNI GÉNÉRAL DE RESPONSABILITÉ

Les appellations employées dans la présente 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/44

PUBLICATION DES NATIONS UNIES

Numéro de vente : F.86.XVII.21

00750
ISBN 92-1-261094-3



Secrétariat

RECTIFICATIF
Ref : Numéro de vente F.86.XVII.21
(ST/ESA/STAT/SER.F/44)
15 novembre 1991
New York

STATISTIQUES DE L'ENERGIE : DEFINITIONS, UNITES DE MESURE ET
FACTEURS DE CONVERSION

Rectificatif

Page 31, tableau 8, première ligne (Pétrole brut)

Sous la rubrique "Gigacalories", remplacer 10,18 par 10,00

Sous la rubrique "Tonnes équivalent pétrole", remplacer 0,018 par 1,000

Page 36, tableau 13

Remplacer la dernière colonne par :

0,086

0,115

0,172

0,215

0,246

0,287

0,344

0,433

Page 49

Sous la rubrique "Volume", lire la troisième ligne de la façon suivante :

1 pied cube = 1 ft³ = 0,0283168 m³

TABLE DES MATIERES

<u>Chapitres</u>	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	1
I. DEFINITIONS	3
A. Sources d'énergie et produits énergétiques	3
B. Comptabilité de l'énergie	10
C. Réserves d'énergie	12
II. UNITES DE MESURE	15
A. Masse	15
B. Volume	15
C. Densité et masse volumique	16
D. Viscosité	16
E. Energie, chaleur, travail et puissance	18
F. Unités d'énergie	18
G. Pouvoir calorifique des combustibles	19
H. Unités de compte	20
1. Tonne d'équivalent charbon	21
2. Tonne d'équivalent pétrole	22
3. Joule	22
4. Unité thermique britannique	22
5. Calorie	23
6. Traitement de l'électricité primaire dans les bilans énergétiques	23
III. FACTEURS DE CONVERSION	25
A. Unités internationales de masse, de volume, d'énergie, de travail et de puissance	25
B. Conversion d'unités originales en unités communes	28
1. Combustibles solides	29
2. Combustibles liquides	30
3. Combustibles gazeux	35
4. Electricité	36
5. Biomasse et énergie animale	37

TABLE DES MATIERES (suite)

Pages

Annexes

I.	Le Système international d'unités	47
II.	Tables d'équivalences de la densité, de la masse volumique et de la viscosité	52
III.	Efficacité des procédés de conversion de l'énergie	58

Liste des tableaux

1.	Différence entre les pouvoirs calorifiques net et brut de quelques combustibles	20
2.	Equivalents de masse	25
3.	Equivalents de volume	26
4.	Equivalents d'énergie et de travail	27
5.	Equivalents de puissance	28
6.	Equivalents de combustibles solides	29
7.	Variation du pouvoir calorifique de la houille et du lignite	30
8.	Equivalents de combustibles liquides	31
9.	Equivalents de volume des combustibles liquides	32
10.	Volume de liquides de différentes densités contenus dans une tonne métrique	33
11.	Poids de liquides de densités différentes exprimés en kilogrammes	34
12.	Equivalents de combustibles gazeux	35
13.	Equivalents d'électricité	36
14.	Table de conversion du bois de feu	38
15.	Influence de l'humidité sur le volume massique et le poids du bois de feu	38
16.	Influence de l'humidité sur le pouvoir calorifique net du bois de feu	39
17.	Table de conversion du bois de feu en charbon de bois	41

TABLE DES MATIERES (suite)

	<u>Pages</u>
18. Quantités de bois de feu nécessaires pour la production de charbon de bois selon le type de four	41
19. Masse volumique de certaines espèces de bois de feu	42
20. Contenu énergétique de quelques déchets animaux et végétaux	44
21. Puissance et énergie animales	46
22. Equivalents de densité	53
23. Equivalents de densité API	54
24. Equivalents de masse volumique	55
25. Masse volumique de certains combustibles	56
26. Conversion de la viscosité cinématique	57
27. Efficacité moyenne des appareils au stade de la consommation finale	59

INTRODUCTION

L'importance cruciale prise par les questions énergétiques dans les années 70 suscita un effort intensif de recherche et d'analyse dans le domaine de l'énergie, dont l'un des résultats fut la constatation de l'insuffisance de la plupart des données énergétiques. A cette époque, en effet, la plupart des données portaient exclusivement sur l'offre et négligeaient le secteur de la transformation ainsi que la consommation finale. Il apparut également qu'on n'avait guère essayé de normaliser les méthodes de collecte et de présentation des données de base. Les définitions posaient des problèmes. On n'était pas d'accord sur les unités communes qu'il convenait d'adopter.

L'un des principaux problèmes était celui que posait - et que continue à poser - la diversité des systèmes employés par les pays pour la collecte et l'établissement des statistiques énergétiques. En conséquence, l'utilisateur actuel de ces statistiques doit s'attendre à devoir comparer des joules à des BTUs et à des calories, des barils à des tonnes métriques, des équivalents-pétrole à des équivalents-charbon et l'électricité primaire à toutes ces unités de mesure.

Le présent manuel vise à servir de guide pour les planificateurs, les économistes et les statisticiens qui ont à débrouiller les complexités des données énergétiques. Pour les diverses sources d'énergie, les différentes unités et les diverses terminologies utilisées pour les décrire, il fournit des définitions, des facteurs de conversion et des tableaux descriptifs adoptés sur le plan international. Il offre un ensemble de facteurs de conversion compatibles fondé sur les informations disponibles et tenant compte des pratiques mises au point par les pionniers de la recherche énergétique.

I. DEFINITIONS

A. Sources d'énergie et produits énergétiques

Pour comprendre comment l'énergie est mesurée et convertie, il faut connaître la nature des diverses sources d'énergie et des différents produits. Les multiples produits de la mine, du puits et de la raffinerie doivent être définis avec précision aux fins de leurs utilisations commerciales actuelles. Comme ces produits peuvent varier sensiblement suivant l'emplacement géographique, il importe d'établir pour eux des échelles de valeurs.

Il faut aussi être au fait des processus biologiques, étant donné que la plupart des combustibles résultent de l'action exercée au fil du temps par des forces biologiques. Par exemple, la tourbe, le lignite et l'antracite sont trois matières combustibles résultant de phases différentes d'un processus biologique, la houillification de la biomasse végétale.

Par ailleurs, l'homme a exercé une influence considérable sur les caractéristiques des combustibles en les transformant selon divers procédés. Les différents types de produits pétroliers témoignent de notre ingéniosité s'agissant de créer des produits à des fins spécifiques : des essences légères pour nettoyer à sec des vêtements, des carburants pour faire fonctionner les moteurs, des fuels lourds pour alimenter les chaudières et des lubrifiants pour graisser les roulements et paliers.

Toutes les sources d'énergie, de même que les produits énergétiques, peuvent être définies avec exactitude conformément à des normes internationalement acceptées. Qu'il s'agisse d'une formule chimique, d'une densité, d'un pouvoir calorifique ou d'une viscosité, le consommateur doit être à même de spécifier et de recevoir le produit énergétique requis, même s'il provient d'un point reculé du globe.

On trouvera ci-dessous des définitions normalisées de sources d'énergie et de produits énergétiques utilisées par le Bureau de statistique du Secrétariat de l'ONU. Un glossaire des termes techniques employés dans certaines de ces définitions figure à la page 9.

1. Combustibles solides

La houille est un charbon ayant subi un degré élevé de houillification dont le pouvoir calorifique brut est supérieur à 24 MJ/kg (5 700 kcal/kg) (humidité et cendres déduites) et dont la réflectance de vitrain est de 0,5 ou plus. Les fines, le poussier et les autres produits charbonniers de qualité inférieure, qui ne peuvent être classés suivant le type de charbon dont ils proviennent, sont inclus dans la catégorie "houille".

Le lignite est un charbon ayant subi un faible degré de houillification et qui a conservé la structure anatomique de la matière végétale dont il provient. Son pouvoir calorifique brut est inférieur à 24 MJ/kg (5 700 kcal/kg) (humidité et cendres déduites) et sa réflectance de vitrain est inférieure à 0,5.

La tourbe est un combustible solide provenant de la décomposition partielle de végétaux morts dans des conditions d'humidité élevée et de faible aération (stade initial de la houillification). Cette catégorie ne comprend que la tourbe utilisée comme combustible.

Les briquettes de houille sont des agglomérés uniformes fabriqués par pression et chauffe au moyen de fines de huilles et de liants.

Les briquettes de lignite sont faites de lignite qui, après broyage et séchage, est moulé sous pression, sans adjonction de liants, en agglomérés uniformes.

Les briquettes de tourbe sont faites de tourbe brute qui, après broyage et séchage, est moulée sous pression, sans adjonction de liants, en agglomérés uniformes.

Le coke est le résidu solide obtenu par la distillation à sec de la houille ou du lignite à l'abri de l'air (carbonisation). Il y a deux types de coke : le coke d'usine à gaz - sous-produit du charbon utilisé pour la production de gaz d'usine - et le coke de four à coke, qui comprend tous les autres cokes provenant de la houille.

Le coke de lignite est un produit solide obtenu par carbonisation de briquettes de lignite.

Le schiste bitumineux est une roche sédimentaire contenant une proportion élevée de matière organique (kérogène) qui peut être transformée thermiquement en hydrocarbures.

Les sables bitumineux sont des sables ou des grès (bitumes) contenant une proportion élevée d'hydrocarbures goudronneux et permettant d'obtenir de l'huile par chauffage ou autres procédés d'extraction. Sont également compris dans cette catégorie des huiles lourdes et des goudrons qui sont si denses et si visqueux qu'ils ne peuvent être extraits commercialement par les méthodes classiques, à savoir l'écoulement naturel ou le pompage. Etant donné qu'elles ne coulent pas naturellement et qu'elles doivent être séparées par des moyens artificiels, comme le chauffage, des formations rocheuses qu'elles imprègnent, les huiles brutes lourdes sont rattachées aux combustibles solides. C'est la viscosité qui doit servir de critère pour distinguer les huiles lourdes des bitumes. Ensuite, c'est la masse volumique qui doit permettre de classer les huiles brutes en huiles extra-lourdes, huiles lourdes et autres huiles.

Les bitumes ont des viscosités supérieures à 10 000 centiposes. Celles des huiles brutes sont inférieures ou égales à 10 000 centiposes. Ces viscosités s'entendent sans gaz et sont mesurées par référence à la température du gîte d'origine.

Les huiles brutes extra-lourdes ont une masse volumique supérieure à 1 000 kg/m³ (densité API inférieure à 10° API). Les huiles brutes lourdes ont une masse volumique allant de 934 à 1 000 kg/m³ (densité API de 20° à 10°) inclusivement. Ces mesures sont déterminées par référence à 15,60 C et à la pression atmosphérique.

2. Combustibles liquides

Le pétrole brut est une huile minérale composée d'un mélange d'hydrocarbures d'origine naturelle, d'une couleur allant du jaune au noir et d'une densité et viscosité variables. Sont également comprises dans cette catégorie des huiles minérales brutes extraites de minéraux bitumineux (schistes, sables bitumineux, etc.). Les statistiques du pétrole brut comprennent les données relatives aux condensats récupérés des hydrocarbures gazeux dans les installations de séparation au lieu d'extraction.

Par alcool, en matière d'énergie, on entend généralement l'éthanol (alcool éthylique) et le méthanol (alcool méthylique) utilisés comme combustibles. L'éthanol peut être produit à partir du sucre, de fécule et de cellulose et est surtout utilisé dans l'industrie des transports (seul ou mélangé à l'essence). Le méthanol peut être extrait du bois, de résidus végétaux, etc., et peut être utilisé dans les moteurs à combustion interne.

Les liquides de gaz naturel sont des hydrocarbures liquides ou liquéfiés produits lors de la fabrication, de la purification et de la stabilisation du gaz naturel. Leurs caractéristiques varient, allant de celles du butane et du propane jusqu'à des huiles lourdes. Figurent notamment dans cette catégorie la gazoline, le gaz de pétrole liquéfié et le condensat d'usine.

Le condensat d'usine est composé d'hydrocarbures liquides condensés à partir de gaz humide dans les usines de traitement du gaz naturel. Il est utilisé comme matière première dans les raffineries.

La gazoline est une essence légère extraite du gaz humide, souvent en association avec le pétrole brut. Elle est utilisée comme matière première dans les raffineries de pétrole et dans les usines pétrochimiques et elle peut aussi, sans traitement supplémentaire, être mélangée directement au carburant auto.

Les produits pétroliers comprennent les combustibles liquides, les huiles lubrifiantes et les produits solides et semi-solides obtenus par distillation et craquage de pétrole brut, d'huile de schiste ou de produits pétroliers semi-raffinés et intermédiaires. Sont exclus de cette catégorie les produits extraits du gaz naturel, du charbon, du lignite et de leurs dérivés.

L'essence d'aviation est une essence spécialement préparée pour les moteurs d'avion à piston et dont l'indice d'octane varie entre 80 et 145 IOR avec un point de congélation de -60° C.

L'essence pour moteur est un hydrocarbure léger utilisé dans les moteurs à allumage positif (par bougies) autres que ceux d'avion. Elle distille à $35-200^{\circ}$ C et est traitée pour lui donner un indice d'octane suffisamment élevé, généralement entre 80 et 100 IOR. Le traitement se fait par reformage, mélange avec une fraction aromatique, ou addition de benzol ou d'autres additifs (comme du plomb tétraéthyle).

Le carburéacteur est composé de carburants pour moteur à réaction du type essence et du type kérosène. Par carburéacteur du type essence on entend tous les hydrocarbures légers destinés à être utilisés dans des moteurs d'aviation à turbine à gaz distillant à $100-250^{\circ}$ C, 20 p. 100 au moins du volume distillant

à 143° C. Il est obtenu en mélangeant du kérosène et de l'essence ou du naphta de telle sorte que la teneur en aromatiques ne dépasse pas 25 p. 100 en volume. Des additifs sont ajoutés afin d'abaisser le point de congélation à -58° C et de maintenir la tension de vapeur Reid entre 0,14 et 0,21 kg/cm². Par carburéacteur du type kérosène on entend des huiles moyennes pour utilisation dans les moteurs d'aviation à turbine à gaz. Il a les mêmes caractéristiques de distillation et le même point d'éclair que le kérosène, avec une teneur en aromatiques maximale de 20 p. 100 en volume. Il est traité pour obtenir une viscosité cinématique inférieure à 15 centistokes à -34° C et un point de congélation inférieur à - 50° C.

Le kérosène est une huile moyenne distillant à 150-300° C, 65 p. 100 au moins du volume distillant à 250° C. Sa densité est d'environ 0,80 et son point d'éclair est supérieur à 38° C. Il est utilisé pour l'éclairage et comme carburant dans certains types de moteurs à allumage par bougies, comme ceux des tracteurs agricoles et des engins stationnaires.

Le gazole (fuel-oil distillé) comprend les huiles lourdes distillant à 200-380° C, moins de 65 p. 100 en volume distillant à 250° C et 85 p. 100 ou plus à 350° C. Son point d'éclair dépasse toujours 50° C et sa densité est supérieure à 0,82. Les huiles lourdes obtenues par mélange sont rattachées aux gazoles à condition que leur viscosité cinématique ne dépasse pas 27,5 centistokes à 38° C. Sont également compris dans cette catégorie les distillats moyens destinés à l'industrie pétrochimique. Les gazoles sont utilisés comme carburant pour combustion interne dans les moteurs diesel, comme combustible de brûleur dans les installations de chauffage, comme les chaudières, et pour enrichir le gaz à l'eau pour en augmenter la luminosité. Ce produit est aussi connu sous les appellations de carburant diesel, huile diesel et gas-oil.

Le fuel résiduel est une huile lourde qui constitue le résidu de la distillation atmosphérique. Cette catégorie englobe tous les produits (y compris ceux qui sont obtenus par mélange) dont la viscosité cinématique dépasse 27,5 centistokes à 38° C. Leur point d'éclair est toujours supérieur à 50° C et leur densité dépasse 0,90. Le fuel résiduel est communément utilisé comme combustible dans les chaudières des navires et des grandes installations industrielles de chauffage. Il est également connu sous le nom de mazout.

Le gaz de pétrole liquéfié désigne des hydrocarbures qui sont à l'état gazeux dans des conditions de température et de pression normales mais sont liquéfiés par compression ou refroidissement pour en faciliter l'entreposage, la manipulation et le transport. Ils sont 1) extraits par désessencage du gaz naturel aux gisements de pétrole brut et de gaz naturel; 2) extraits par désessencage de gaz naturel importé dans les installations du pays importateur; et 3) produits dans les raffineries et dans les raffineries d'aval lors du traitement du pétrole brut ou de ses dérivés. Les liquides extraits comme il est indiqué sous 1) et 2) ci-dessus sont compris dans la catégorie des liquides de gaz naturel. L'appellation gaz de pétrole liquéfié recouvre généralement le propane (C₃H₈), le butane (C₄H₁₀) ou un mélange de ces deux hydrocarbures. Elle recouvre également l'éthane (C₂H₆) des raffineries de pétrole ou des installations de séparation et de stabilisation des producteurs de gaz naturel.

Le gaz de raffinerie est un gaz non condensable qui est obtenu dans les raffineries de pétrole et qui est généralement utilisé en totalité comme combustible de raffinerie. Il est également connu sous le nom de gaz de distillation.

Le gaz de raffinerie est un gaz non condensable qui est obtenu dans les raffineries de pétrole et qui est généralement utilisé en totalité comme combustible de raffinerie. Il est également connu sous le nom de gaz de distillation.

Les charges d'alimentation sont des produits ou une combinaison de produits dérivés du pétrole brut qui sont destinés à être traités plus avant dans le schéma de raffinage autrement que par mélange. Elles sont transformées en un ou plusieurs composants ou en produits finis. Cette catégorie recouvre le naphta importé comme matière première de raffinerie et le naphta retourné de l'industrie chimique à l'industrie de raffinage.

Le naphta comprend les produits légers ou moyens distillant à 30-210° C pour lesquels il n'y a pas de définition officielle mais qui ne répondent pas aux normes fixées pour l'essence pour moteurs. Ses caractéristiques varient suivant les spécifications des consommateurs. Le rapport carbone/hydrogène est généralement de 84/14 ou 84/16, avec une très basse teneur en soufre. Le naphta peut être associé ou mélangé à d'autres matières pour obtenir une essence pour moteur de haute qualité ou un carburéacteur, ou peut encore être utilisé comme matière première pour la production de gaz d'usine. Le naphta figure parfois parmi les matières premières servant à fabriquer diverses sortes de produits chimiques ou peut être utilisé comme solvant.

Le white-spirit est un distillat hautement raffiné dont le point d'ébullition se situe entre 135 et 200° C et qui est utilisé comme solvant pour peinture et pour le nettoyage à sec.

Les huiles de graissage sont des hydrocarbures liquides visqueux, riches en paraffines, distillant à 380-500° C, obtenues par distillation sous vide du résidu atmosphérique. Des additifs peuvent être employés pour en modifier les caractéristiques. Elles ont un point d'éclair supérieur à 125° C, un point d'écoulement de -25° et +5° C, un indice d'acide fort (0,5 mg/g), et une teneur en cendres et une teneur en eau basses. Sont comprises dans cette catégorie les huiles de coupe, les huiles blanches, les huiles isolantes, les huiles à broches et les graisses lubrifiantes.

Le bitume est un hydrocarbure solide ou visqueux à structure colloïdale, de couleur brune ou noire, obtenu en tant que résidu de la distillation à vide du résidu atmosphérique. Il est parfois soluble dans le sulfure de carbone, il n'est pas volatil, il est thermoplastique entre 150 et 200° C, et a souvent des propriétés isolantes et adhésives. Il est généralement utilisé pour étanchéiser et imperméabiliser des toits et des routes.

Par cire de pétrole on désigne des hydrocarbures aliphatiques saturés obtenus comme résidu lors du déparaffinage des huiles de graissage. Leurs principales caractéristiques sont les suivantes : elles sont incolores et, dans la plupart des cas, inodores et translucides; elles ont un point de fusion supérieur à 45° C, une densité d'environ 0,77 à 80° C et une viscosité cinématique s'établissant entre 3,7 et 5,5 centistokes à 99° C. Ces cires sont utilisées pour la fabrication de bougies et de produits d'entretien, ainsi que pour l'imperméabilisation de conteneurs, d'emballages, etc.

Le coke de pétrole est un résidu d'un noir brillant obtenu par craquage thermique et carbonisation. Il est essentiellement composé de carbone (90 à

95 p. 100) et il brûle généralement sans laisser de cendres. Il est surtout utilisé en métallurgie. Cette catégorie ne comprend pas les résidus solides provenant de la distillation de la houille.

L'expression autres produits pétroliers recouvre les produits d'origine pétrolière (y compris des produits partiellement raffinés) non dénommés ailleurs.

3. Combustibles gazeux

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures et de petites quantités d'autres matières existant à l'état gazeux ou en solution avec du pétrole dans des réservoirs souterrains naturels. On peut le subdiviser en gaz associé (provenant de gisements produisant à la fois des hydrocarbures liquides et des hydrocarbures gazeux) et en gaz dissous ou gaz non associé (provenant de gisements ne produisant que des hydrocarbures à l'état gazeux). Sont compris dans cette catégorie le méthane (CH_4) récupéré dans les mines de charbon, le gaz de gadoue et le gaz naturel liquéfié pour le transport. En sont toutefois exclus le gaz utilisé pour la recompression et la réinjection, ainsi que le gaz brûlé, éventé ou autrement éliminé, et la contraction afférente aux opérations d'extraction des liquides de gaz naturel.

Le gaz d'usine est le gaz produit par carbonisation ou gazéification totale avec ou sans enrichissement par des produits pétroliers. Il comprend tous les types de gaz produit par des entreprises dont l'objectif principal est la production de gaz de ville. Il comprend aussi le gaz produit par craquage de gaz naturel et par reformatage et simple mélange de gaz.

Le gaz de cokerie est un sous-produit du processus de carbonisation dans la production de coke dans les cokeries.

Le gaz de haut fourneau est un sous-produit récupéré à la sortie du haut fourneau.

Le biogaz est un sous-produit de la fermentation bactérienne de la biomasse, principalement des déchets animaux. Il est composé surtout de méthane et de gaz carbonique.

4. Electricité et autres formes d'énergie

La production d'électricité peut être enregistrée en termes bruts ou en termes nets. La production brute comprend la consommation par les sous-stations ainsi que les pertes intervenues dans les transformateurs qui sont considérés comme parties intégrantes de la centrale. La production nette exclut la consommation et les pertes susmentionnées. Tant la production brute que la production nette excluent l'électricité provenant de réserves pompées.

L'électricité primaire est produite au moyen de l'énergie géothermique, hydraulique, nucléaire, solaire, marémotrice, éolienne et des vagues.

La production d'uranium désigne la teneur en uranium des minerais et concentrés d'uranium destinés à être exploités pour l'extraction d'uranium.

Par vapeur et eau chaude on entend la vapeur et l'eau chaude provenant a) de sources géothermiques et distribuées telles quelles pour la consommation finale et b) de centrales thermiques produisant à la fois de l'énergie électrique et de la chaleur pour la consommation publique. Entre également dans cette catégorie la chaleur produite par les installations de chauffage proprement dites et par les agents qui produisent de la chaleur pour répondre en tout ou en partie à leurs propres besoins.

5. Formes traditionnelles d'énergie

Le bois de feu désigne tout le bois à l'état brut utilisé comme combustible. Les statistiques de production englobent les quantités utilisées pour la production de charbon de bois, utilisant un facteur de 6 pour convertir en volume le poids du charbon de bois (tonnes en mètres cubes).

Le charbon de bois est un résidu solide principalement formé de carbone obtenu par la distillation destructive du bois à l'abri de l'air.

La bagasse est le résidu cellulosique qui reste après l'extraction du sucre de la canne à sucre. Elle est souvent utilisée comme combustible dans l'industrie sucrière.

Parmi les déchets végétaux figurent surtout les résidus agricoles (paille du maïs, du blé, du riz, etc.) et les déchets du traitement de produits alimentaires (rison, coques de noix de coco et d'arachide, etc.) utilisés comme combustible. La bagasse est exclue.

Les déchets animaux comprennent les excréments non séchés des bovins, chevaux, porcs, volailles, etc., ainsi que, en principe, les excréments humains. Ils peuvent être séchés et utilisés directement comme combustible ou transformés en méthane par des procédés de fermentation ou de décomposition.

Dans la catégorie autres déchets sont classées toutes les formes d'énergie qui ne sont pas expressément définies ci-dessus, comme les déchets urbains et les déchets de papeterie.

Par énergie animale on entend l'énergie produite par la puissance musculaire des animaux lorsqu'ils effectuent un effort de traction pour accomplir un travail.

6. Termes techniques employés dans les définitions précédentes

Indice d'acidité : quantité de potasse nécessaire pour neutraliser l'acidité des huiles, c'est-à-dire le nombre de milligrammes d'agent de neutralisation par gramme d'huile.

Teneur en aromatiques : fraction d'un hydrocarbure consistant en benzène ou ses dérivés.

Mélanger : action d'associer divers produits pétroliers afin d'obtenir un produit final homogène particulier.

Carbonisation : distillation destructive de substances organiques à l'abri de l'air aboutissant à l'élimination des composants volatiles et laissant un résidu à teneur de carbone élevée, comme le coke et le charbon de bois.

Houillification : transformation de la matière végétale en charbon.

Craquage : méthode permettant de transformer des hydrocarbures relativement lourds en hydrocarbures plus légers.

Distillation : procédé de séparation des coupes volatiles des coupes plus lourdes par évaporation et condensation.

Point d'éclair : température à laquelle un produit pétrolier s'enflamme brusquement.

Viscosité cinématique : quotient de la viscosité par la masse volumique.

Indice d'octane : échelle arbitraire utilisée pour caractériser les propriétés antidétonantes d'une essence de moteur; l'indice représente le pourcentage d'isooctane d'un mélange heptane normal-isooctane ayant le même comportement que l'essence étudiée.

Point d'écoulement : la plus basse température à laquelle une huile coule encore lorsqu'elle est refoirdie sans agitation.

Indice de réflectance : quotient de la lumière que réfléchit une surface par la lumière incidente totale.

Reformage : procédé de craquage utilisant comme charge une essence de distillation directe ou du naphta.

Tension de vapeur Reid : méthode de mesure de la tension produite à l'intérieur d'un vase spécial (vaporimètre de Reid) par la tendance du produit à se vaporiser.

IOR : indice d'octane recherche.

Distillation sous vide : distillation en dessous de la pression atmosphérique, ce qui abaisse les températures auxquelles les matières s'évaporent et accroît le nombre de produits distillant à des températures élevées.

Viscosité : mesure d'un liquide par sa résistance à l'écoulement; elle est généralement mesurée par le temps requis pour qu'une quantité donnée de liquide s'écoule par un orifice calibré à une température donnée.

B. Comptabilité de l'énergie

La production d'énergie primaire recouvre les quantités d'énergie extraites calculées après toutes opérations éventuelles de retrait de matière inerte contenue dans les combustibles. Sont prises en compte d'une manière générale les quantités consommées dans ce processus d'extraction ainsi que les fournitures

à d'autres producteurs d'énergie à des fins de transformation ou autres. La production de houille et de lignite comprend la somme des ventes, la consommation des mines, les fournitures aux mineurs, les quantités affectées à la cokéfaction, à la fabrication de briquettes et à d'autres productions subsidiaires des mines, et les mouvements de stocks au carreau. Les données relatives au gaz naturel ne comprennent pas les quantités réinjectées, recompressées, brûlées, éventées et rejetées, ni les quantités correspondant aux liquides de gaz naturel extrait (contraction). La production de LGN est rattachée à celle du pétrole brut. La production brute d'électricité nucléaire, hydraulique et géothermique peut être comptabilisée selon la quantité d'électricité produite, l'équivalent en combustible classique ou la consommation d'énergie primaire.

Les importations et exportations recouvrent les quantités d'énergie primaire et transformée qui sont reçues d'autres pays ou qui leur sont fournies. Les importations et exportations de pétrole brut comprennent aussi les importations et les exportations de charges d'alimentation, d'huiles non raffinées et semi-raffinées et de composants dérivés du pétrole brut. Le combustible utilisé pour le transport est exclu des importations et exportations et inclus dans les combustibles de soute.

Les combustibles de soute comprennent les quantités de combustible livrées aux navires de haute mer et aux aéronefs de tous pavillons se livrant au trafic international. Les livraisons aux bateaux assurant des transports dans les eaux intérieures et côtières ou à des aéronefs assurant des vols intérieurs ne sont pas comprises.

Par mouvements des stocks (aux niveaux des producteurs, des importateurs et des consommateurs industriels) on entend la différence entre les quantités d'énergie stockées au début et à la fin de l'année.

L'énergie convertie indique les entrées nettes d'énergie primaire ou transformée aux fins de conversion ainsi que les sorties nettes d'énergie transformée. Les sorties correspondent à la production brute.

Les transferts nets sont les mouvements nets de produits énergétiques entre traitements dans différents secteurs, par exemple l'introduction de gaz naturel dans le gaz manufacturé, l'affectation de produits (charges d'alimentation) à un traitement plus poussé dans l'industrie du raffinage ou le transfert de produits pour mélange. Les transferts comprennent également les produits pétroliers retournés aux raffineries par les industries chimiques et pétrochimiques.

La consommation par le secteur de l'énergie désigne la consommation d'énergie par les producteurs et les transformateurs d'énergie pour le fonctionnement de leurs installations. Elle comprend la consommation des stations de compression et de pompage des pipelines, ainsi que les utilisations et les pertes des centrales électriques (y compris l'électricité utilisée pour le pompage dans les installations de stockage par pompage).

Les pertes en cours de transport et de distribution sont les pertes d'énergie électrique, de gaz naturel et de gaz transformés qui se produisent en dehors des lieux de production avant d'atteindre le consommateur final.

La consommation par l'industrie et le bâtiment et les travaux publics exclut la consommation par le secteur de l'énergie ainsi que toutes les matières premières utilisées pour la conversion de l'énergie, comme les combustibles utilisés par les producteurs d'électricité thermique à des fins industrielles ou pour leurs propres besoins. La consommation dans l'industrie chimique comprend seulement l'utilisation comme combustible.

La consommation des transports englobe tous les combustibles consommés par les transports routiers ainsi que les livraisons aux bateaux assurant le transport dans des eaux intérieures et côtières et aux aéronefs assurant des vols intérieurs. Les combustibles consommés par les machines agricoles sont pris en compte dans la consommation agricole.

La consommation des ménages et autres consommateurs recouvre les ménages (y compris les fournitures gratuites aux employés), l'agriculture et tous les autres secteurs non dénommés ailleurs. L'agriculture comprend la chasse, l'exploitation forestière et la pêche. Les autres consommateurs comprennent en particulier le commerce, les communications et les services, y compris l'éclairage public.

C. Réserves d'énergie

Houille, lignite et tourbe

Les réserves prouvées en place sont celles des ressources totales qui, non seulement ont été soigneusement mesurées, mais ont aussi été évaluées comme étant exploitables dans les conditions économiques locales actuelles et escomptées (ou à un coût déterminé) au moyen des techniques actuellement disponibles.

Les réserves récupérables prouvées sont celles des réserves prouvées en place qui peuvent être récupérées (extraites du sol sous forme brute) dans les limites économiques et techniques susmentionnées.

Les ressources additionnelles embrassent toutes les ressources, autres que les réserves prouvées, qui présentent un intérêt économique envisageable. Les estimations relatives aux ressources additionnelles sont fondées, sinon sur la certitude de l'existence de toutes les quantités indiquées, au moins sur un degré raisonnable de confiance conférée par la reconnaissance de conditions géologiques propices à la présence des ressources. Les ressources dont l'existence est entièrement spéculative ne sont pas comprises.

Pétrole brut et liquides de gaz naturel

Les réserves récupérables prouvées sont celles des réserves prouvées en place qui peuvent être extraites sous forme brute dans les conditions économiques locales actuelles et escomptées au moyen des techniques actuellement disponibles.

Schistes et sables bitumineux

Les réserves récupérables prouvées sont celles des ressources totales qui ont été non seulement soigneusement mesurées mais aussi évaluées comme étant

exploitables dans les conditions économiques locales actuelles et escomptées (ou à un coût déterminé) au moyen des techniques actuellement disponibles.

Gaz naturel brut

Les réserves récupérables prouvées sont celles des réserves prouvées en place qui peuvent être extraites du sol sous forme brute dans les conditions économiques locales actuelles et escomptées (ou à un coût déterminé) au moyen des techniques actuellement disponibles. Sont exclues les quantités de gaz de gisement récupérées sous forme liquide dans des séparateurs ou installations de surface et notées comme étant des liquides de gaz naturel.

Uranium

Les réserves raisonnablement assurées désignent l'uranium qui se présente dans des gisements minéraux d'une taille, d'une qualité et d'une configuration telles qu'il peut être récupéré à un coût compris dans une fourchette donnée au moyen de techniques d'extraction et de traitement couramment utilisées.

Les réserves additionnelles estimées désignent l'uranium dont la présence, outre celle des réserves raisonnablement assurées, est escomptée sur la base d'indications géologiques directes.

Eau mouvante

Par potentiel théorique brut des ressources hydrauliques on entend l'énergie potentiellement disponible si tous les écoulements naturels estimés sur la base des précipitations atmosphériques et du ruissellement étaient transportés par turbine jusqu'au niveau de la mer dans des conditions d'efficacité maximale des centrales hydrauliques.

Biomasse végétale ligneuse

Les ressources des forêts, des terrains boisés et des plantations englobent toute la biomasse sur pied des forêts naturelles, des terrains boisés et des plantations commerciales. Cette catégorie comprend également tous les résidus provenant exclusivement de cette végétation ligneuse.

Les ressources des plantations agro-industrielles se distinguent de celles des plantations forestières en ce qu'elles produisent des matières premières agro-industrielles et que leur biomasse ligneuse est récoltée en tant que sous-produit. Il s'agit notamment des plantations de théiers, de caféiers, d'hévéas, d'éléis, de cocotiers et de bambous.

Les ressources en arbres des exploitations agricoles englobent les arbres croissant en dehors des forêts et des terrains boisés.

Biomasse végétale non ligneuse

Les ressources végétales agricoles désignent les plantes qui sont cultivées expressément pour produire des aliments, du fourrage, des fibres et de l'énergie.

Les ressources en résidus agricoles comprennent les résidus végétaux produits sur le lieu de la récolte. Il s'agit par exemple de la paille des céréales, des feuilles et des tiges des plantes.

Les ressources en résidus de transformation sont les résidus résultant de la transformation ou du traitement agro-industriel des produits agricoles (y compris les produits de l'arboriculture), comme la sciure de bois, les déchets de scieries, la bagasse, les coques et les balles.

Déchets animaux

Les ressources comprennent les déchets provenant de l'élevage intensif et extensif.

II. UNITES DE MESURE

Les sources d'énergie et les produits énergétiques sont mesurés selon leur masse ou poids, leur volume, leur enthalpie, leur puissance et le travail accompli. La normalisation de l'enregistrement et de la présentation des unités originales est une tâche primordiale que le statisticien de l'énergie doit accomplir avant de pouvoir analyser ou comparer des quantités.

Il est recommandé que, dans les rapports destinés aux instances internationales, ainsi que, dans la mesure du possible, dans les travaux de comptabilité nationale, les statisticiens de l'énergie utilisent le Système international d'unités, dont le sigle officiel est SI. Le SI est une version modernisée du système métrique adoptée sur le plan international. Il offre un cadre logique et interconnecté pour toutes les mesures utilisées dans les sciences, dans l'industrie et dans le commerce. Le SI est construit sur un fondement de sept unités de base, plus deux unités supplémentaires. Les multiples et les sous-multiples sont exprimés suivant le système décimal. Une liste sélective d'unités du SI intéressant l'énergie est donnée à l'annexe I du présent ouvrage.

A. Masse

La plupart des combustibles solides sont mesurés en unités de masse, de même que de nombreux combustibles liquides. Les principales unités de masse utilisées pour mesurer les produits énergétiques sont le kilogramme, la tonne métrique, la livre, la tonne courte et la tonne forte.

Les tonnes sont très couramment utilisées pour mesurer le charbon, le pétrole et leurs dérivés ainsi que de nombreux combustibles non commerciaux. La tonne métrique (1 000 kg) est la plus largement adoptée. La tonne courte (2 000 lb) est utilisée par les Etats-Unis, le Canada et quelques autres pays. La tonne forte (2 240 lb) est utilisée dans le système britannique de mesures. La plupart des pays utilisant ce système qui n'ont pas encore adopté le système métrique donnent également leurs chiffres en unités métriques.

B. Volume

Les unités de volume sont les unités initialement utilisées pour mesurer la plupart des combustibles liquides et gazeux ainsi que certains combustibles traditionnels. Les unités de volume de base du SI sont le litre et le kilolitre, qui est l'équivalent du mètre cube. Le système britannique, qui utilise le gallon britannique ou impérial, est employé dans de nombreux pays du Commonwealth. Le système américain est employé dans toute l'Amérique du Nord ainsi que dans des parties de l'Amérique centrale et de l'Amérique du Sud. Il utilise le gallon américain et le baril. Le baril est communément utilisé dans beaucoup de régions du monde comme mesure de production des combustibles liquides. Il vaut 42 gallons américains ou 34,97 gallons impériaux. Le baril-jour est communément utilisé dans le secteur pétrolier (par exemple, la production officielle de pétrole brut de l'OPEP était de 19 millions de barils-jour en 1982, mais seulement 17 millions de barils-jour en décembre de cette même année).

C. Densité et masse volumique

Etant donné que les combustibles liquides peuvent être mesurés par le poids ou par le volume, il est essentiel de pouvoir convertir l'un en l'autre. Cela peut se faire en utilisant soit la densité, soit la masse volumique du liquide. La densité est le rapport de la masse d'un volume donné de pétrole à la température de 15° C à la masse du même volume d'eau à cette température. La masse volumique est la masse de l'unité de volume.

$$\text{Densité} = \frac{\text{masse}_{\text{pétrole}}}{\text{masse}_{\text{eau}}} \qquad \text{Masse volumique} = \frac{\text{masse}}{\text{volume}}$$

Lorsque la masse volumique est exprimée en kilogrammes par litre, elle équivaut à la densité. Lorsqu'on utilise le SI ou le système métrique, pour obtenir le volume on divise la masse par la densité ou la masse volumique et, vice versa, pour calculer la masse on multiplie le volume par la densité ou la masse volumique. Si l'on utilise d'autres systèmes de mesure, on doit consulter des tables de conversion pour passer d'une forme de mesure à l'autre.

Une autre mesure fréquemment utilisée pour exprimer la densité ou la masse volumique des combustibles liquides est la densité API, étalon adopté par l'American Petroleum Institute. La densité API s'établit par la formule suivante :

$$\text{Densité API} = \frac{141,5}{\text{densité}} - 131,5$$

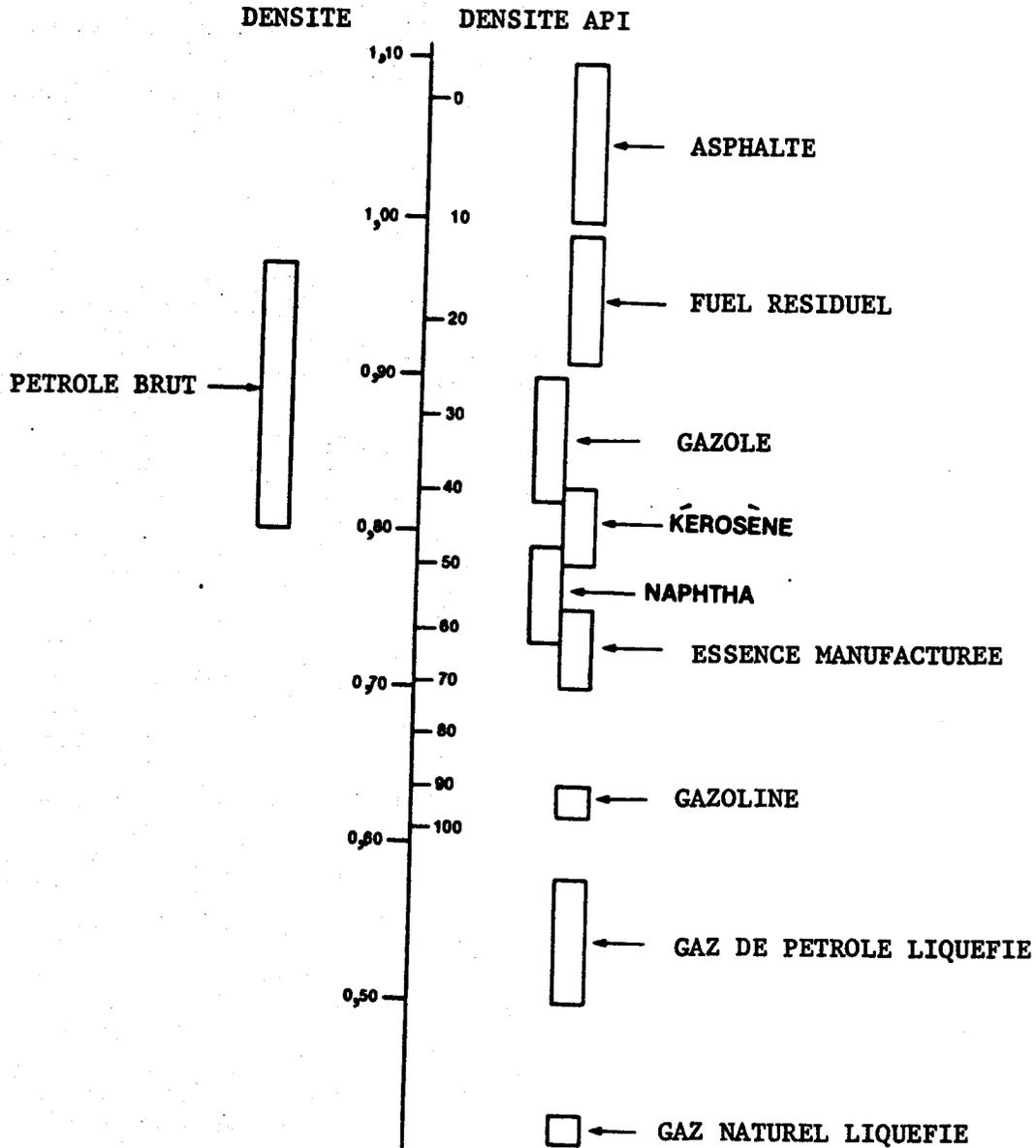
La densité et la densité API sont donc en rapport inverse. Toutes deux sont utiles en ce sens que la densité augmente avec le contenu énergétique par unité de volume (par baril, par exemple), tandis que la densité API augmente avec le contenu énergétique par unité de masse (par tonne, par exemple).

D. Viscosité

La viscosité d'un liquide est une mesure de son frottement intérieur ou de sa résistance à l'écoulement. On la mesure généralement par le nombre de secondes nécessaires pour qu'une quantité donnée du liquide passe à travers un orifice étalon à une température donnée. L'unité SI de la viscosité est le poise. La viscosité d'un liquide est aussi communément mesurée par rapport à la viscosité de l'eau. D'autres unités parfois employées dans l'industrie sont les secondes Redwood et les secondes Saybolt universelles.

Une autre mesure de la viscosité internationalement utilisée est la viscosité cinématique, qui est le quotient de la viscosité par la masse volumique. Plusieurs unités sont utilisées pour exprimer la viscosité cinématique. Le SI utilise le stokes ou le centistokes (mm²/sec).

Densité et densité API rapportées à des produits
pétroliers particuliers à 60° F



Source : United States of America, Federal Energy Administration, Energy Interrelationships (Springfield, Virginia, National Technical Information Service, 1977).

E. Energie, chaleur, travail et puissance

L'énergie, la chaleur, le travail et la puissance sont quatre notions que l'on confond souvent. Si une force est exercée sur un objet et le déplace sur une certaine distance, un travail est accompli, de la chaleur est produite (dans des conditions loin d'être idéales) et de l'énergie est transformée. L'énergie, la chaleur et le travail sont trois aspects d'un même concept. L'énergie est la capacité d'accomplir un travail (et souvent le résultat de celui-ci). La chaleur peut être un sous-produit du travail, mais c'est aussi une forme d'énergie. Considérez une automobile dont le réservoir est plein d'essence. Cette essence renferme une énergie chimique capable de créer de la chaleur (par la production d'une étincelle) et d'accomplir un travail (la combustion de l'essence fait rouler l'automobile sur une certaine distance).

L'unité SI pour l'énergie, la chaleur et le travail est le joule (J). Le système métrique utilise le kilocalorie (kcal) ou un de ses multiples. Les systèmes britannique et américain emploient l'unité thermique britannique (Btu) ou un de ses multiples. Le kilowattheure (kWh) est une autre unité employée.

La puissance est la vitesse à laquelle un travail est accompli (ou de la chaleur est produite, ou de l'énergie est transformée). Une ampoule électrique absorbe 100 joules d'énergie par seconde d'électricité et utilise cette électricité pour émettre de la lumière et de la chaleur (deux formes d'énergie). Le transfert d'un joule par seconde est appelé un watt. L'ampoule électrique, fonctionnant à 100 J/s, commande une puissance de 100 watts. Les unités communément utilisées pour la puissance sont les multiples du watt, le cheval-vapeur britannique, le cheval-vapeur métrique, le pied-livre par seconde et le kilogramme-force par seconde.

F. Unités d'énergie

La calorie-gramme est une mesure précise de l'énergie calorifique; elle est égale à la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré Celsius la température d'un gramme d'eau à 14,5° C. On peut aussi la désigner sous l'appellation de calorie du Tableau international de la vapeur (calorie TI). La kilocalorie et la téralcalorie sont deux de ses multiples qui sont communément employés pour la mesure de produits énergétiques.

L'unité thermique britannique est une mesure précise de la chaleur qui est égale à la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré Fahrenheit la température d'une livre d'eau à 60° F. Ses multiples sont le therm (1×10^5 Btu) et le quad (1×10^{15} Btu).

Le kilowattheure est une mesure précise de la chaleur et du travail. C'est l'équivalent travail de 1 000 watts (joules par seconde) pendant une heure. Un kilowattheure égale donc $3,6 \times 10^6$ joules.

Le joule est une mesure précise de l'énergie et du travail. Il est défini comme étant le travail produit lorsqu'une force constante de 1 Newton est exercée sur un corps d'une masse de 1 gramme pour le déplacer de 1 mètre. Un

joule de chaleur est à peu près égal à un quart de calorie et à un millième de Btu. Le mégajoule, le gigajoule, le térajoule et le pétajoule sont des multiples courants du joule.

G. Pouvoir calorifique des combustibles

L'expression des unités originales des sources d'énergie en termes d'une unité de compte déterminée, comme le Btu, la calorie ou (de préférence) le joule, peut se faire sur l'une ou l'autre de deux bases correspondant aux deux stades auxquels peut être mesurée l'énergie contenue dans les combustibles fossiles. Le pouvoir calorifique brut (PCB), ou pouvoir calorifique supérieur, représente la quantité totale de chaleur produite par la combustion. Toutefois, une partie de cette chaleur reste emprisonnée dans la chaleur latente de vaporisation de l'eau présente dans le combustible au cours de la combustion. Le pouvoir calorifique net (PCN), ou pouvoir calorifique inférieur, ne comprend pas cette chaleur latente. Il représente la quantité de chaleur que la combustion rend effectivement disponible pour récupération et utilisation. Plus un combustible contient d'humidité, plus la différence est grande entre le PCB et le PCN.

Plusieurs considérations pratiques militent en faveur du PCN. En l'état actuel de la technique, la chaleur latente de vaporisation ne peut pas être récupérée des gaz d'échappement. Si ces gaz étaient refroidis en dessous d'un certain niveau, ils ne s'élèveraient pas hors du carneau de chaudière et le courant d'air réduit diminuerait l'efficacité de la chaudière ou obligerait à utiliser de l'énergie pour actionner un ventilateur afin d'évacuer les gaz du carneau. La condensation de l'eau entraînerait des problèmes de corrosion dus à l'acide sulfureux et autres résidus. Autre considération pratique : l'humidité naturelle des combustibles solides dépend considérablement de la quantité de pluie reçue durant le transport et l'entreposage. Pour toutes ces raisons, le PCN constitue une meilleure indication de l'énergie que peuvent effectivement fournir les matières combustibles.

La notion théorique de PCN est aussi ancienne que celle du PCB, mais elle n'a pas été adoptée dans les statistiques de l'énergie que bien après le PCB, au début des années 70. En conséquence, on ne dispose guère que depuis une décennie de données exprimées à la fois en PCB et en PCN et l'on doit se contenter d'estimations pour les périodes antérieures. Cela vaut aussi, dans une large mesure, pour les gaz naturels et manufacturés. Les PCN du pétrole brut et des produits pétroliers sont mieux connus, mais non pas uniformément pour toutes les régions.

Quantitativement, la différence entre les pouvoirs calorifiques brut et net des sources d'énergie commerciales (charbon, produits pétroliers et gaz) est inférieure à 10 p. 100, tandis que, pour les sources traditionnelles (bois de feu, bagasse), elle dépasse généralement 10 p. 100. On trouvera ci-dessous, dans le tableau 1, les chiffres relatifs aux principaux produits énergétiques.

Pour une étude plus détaillée de la question des pouvoirs calorifiques brut et net des combustibles, il y a lieu de se référer à la publication des Nations Unies intitulée Concepts et méthodes d'établissement des statistiques de l'énergie et notamment des comptes et bilans énergétiques.

Tableau 1. Différence entre les pouvoirs calorifiques net et brut de quelques combustibles

Combustible	Pourcentage
Coke	0
Charbon de bois	0 - 4
Anthracite	2 - 3
Charbons bitumineux	3 - 5
Charbons à faible teneur de bitume	5 - 7
Lignite	9 - 10
Pétrole brut	8
Produits pétroliers	7 - 9
Gaz naturel	9 - 10
Gaz naturel liquéfié	7 - 10
Gaz d'usine	8 - 10
Gaz de cokerie	10 - 11
Bagasse (50 p. 100 de teneur en eau)	21 - 22
Bois de feu (10 p. 100 de teneur en eau)	11 - 12
(20 p. 100 de teneur en eau)	22 - 23
(30 p. 100 de teneur en eau)	34 - 35
(40 p. 100 de teneur en eau)	45 - 46

Sources : T. T. Baumeister et collaborateurs, Marks Standard Handbook for Mechanical Engineers (McGraw Hill, New York, 1978); United States of America, Federal Energy Administration, Energy Interrelationships (Springfield, Virginia, National Technical Information Service, 1977); Nations Unies, Commission Économique pour l'Europe, Bulletin annuel de statistiques du gaz pour l'Europe, 1983 (Publication des Nations Unies, No de vente : EFR 84.II.E.28).

H. Unités de compte

Les unités originales par lesquelles les combustibles et l'électricité sont le plus communément mesurés sont très disparates (tonnes, barils, kilowattheures, therms, calories, joules, mètres cubes). Néanmoins, n'importe laquelle d'entre elles pourrait servir de base pour comptabiliser les autres combustibles à condition de disposer de facteurs de conversion appropriés. Pour la plupart des applications, la base la plus utile sur laquelle fonder des facteurs de conversion est l'énergie qui peut être obtenue d'une unité quantitative originale de chaque source d'énergie.

Plusieurs unités de compte communes ont été adoptées, mais leur degré d'utilisation a varié au fil des ans suivant les réalités économiques. La tonne d'équivalent charbon (téc) fut choisie lorsque le charbon était le principal combustible commercial. Il était alors naturel que les économistes retiennent une unité qui leur permette de calculer tous leurs besoins de combustible en termes de charbon. Quand les besoins ont changé et que le pétrole a été plus demandé que le charbon, le pétrole est devenu le principal combustible commercial.

La tonne d'équivalent pétrole (tép) en a résulté, ainsi que le baril-jour, et leur utilisation a, depuis une génération, distancé celle du téc. Au cours de la décennie écoulée, une autre unité, le joule, est de plus en plus employée.

La facilité de l'emploi est une considération primordiale lorsqu'on choisit une unité de compte. Selon leurs définitions traditionnelles, une téc représente 7×10^6 kcal et une tép 1×10^7 kcal. Ces unités sont commodes pour les planificateurs qui ont à préparer et à prendre des décisions de politique économique.

La conversion des unités originales en téc ou en tép implique le choix de coefficients d'équivalence entre les différentes formes et sources d'énergie primaire. Plusieurs approches peuvent être envisagées. Entre autres, on pourrait adopter la même équivalence unique dans tous les pays, par exemple 7 000 kcal par kg de charbon, sans spécifier le pouvoir calorifique (PCB ou PCN).

La principale objection à cette méthode est qu'elle entraîne des distorsions étant donné qu'il y a une large fourchette de pouvoirs calorifiques entre les différents types de charbon et les divers produits pétroliers, ainsi qu'entre les pouvoirs calorifiques des charbons et des pétroles bruts dans les différents pays. Il est par conséquent nécessaire d'adopter des facteurs distincts pour chaque type de combustible et pour chaque pays d'origine afin de pouvoir aboutir à une unité unique, comme le téc ou le tép. Ces facteurs doivent tenir compte des qualités énergétiques spécifiques des combustibles fossiles.

On examinera ci-après les unités de compte le plus communément utilisées, ainsi que leurs méthodes de calcul.

1. Tonne d'équivalent charbon

L'Office statistique des communautés européennes (EUROSTAT), le Bureau de statistique du Secrétariat de l'ONU et le Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM) utilisent tous le téc comme unité de compte commune. Ils définissent tous les trois le téc comme représentant un pouvoir calorifique net de 7 Gcal.

Il existe toutefois des différences entre les méthodes de calcul. Le cheminement suivi par EUROSTAT pour convertir le charbon en téc est assez compliqué : il consiste à classer chaque qualité de charbon séparément, selon son contenu en eau et en cendres, par rapport à une qualité de charbon standard ayant le pouvoir calorifique spécifié. Pour l'ONU et le CAEM, tous les charbons bitumineux (y compris l'anhracite) sont présumés posséder le pouvoir calorifique spécifié (net si possible). Cela revient à traiter des tonnes physiques de charbon comme étant déjà exprimées en équivalent charbon. Dans tous les cas, les autres combustibles solides et les autres sources d'énergie sont convertis en téc en utilisant des facteurs reflétant les valeurs énergétiques relatives de la qualité de charbon spécifiée et de la source d'énergie en question.

La "tonne de remplacement du charbon" utilisée par l'Inde est définie comme étant la quantité de charbon produisant la même quantité d'énergie qu'une unité d'une source d'énergie donnée quelconque utilisée à une fin particulière (la cuisson des aliments, par exemple).

2. Tonne d'équivalent pétrole

L'Agence internationale de l'énergie de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AIE/OCDE) utilise le tép comme unité de compte commune. Pour l'AIE/OCDE, le tép est défini comme ayant un PCN de 10 Gcal (41,9 GJ).

A l'AIE/OCDE, l'unité de base d'un millier de tép est obtenue en exprimant tout d'abord toutes les sources d'énergie en termes de leur PCN en téralcalories, puis en divisant le résultat par 10. Contrairement à EUROSTAT, qui rapporte en détail chaque qualité de charbon à une qualité standard théorique et ne distingue pas entre les produits pétroliers pour la conversion des unités originales en téc, l'AIE/OCDE utilise une base globale pour le charbon et une base produit par produit pour les produits pétroliers pour la conversion en tép des unités originales. Les autres combustibles solides et les autres sources d'énergie sont convertis en tép chacun par son propre coefficient.

En 1978, EUROSTAT a cessé d'utiliser le téc et a adopté le tép comme unité de présentation, tout en employant le joule comme unité de compte rigoureuse. La même année, il a également commencé à convertir les unités originales des produits pétroliers en joules, séparément pour chaque produit principal. EUROSTAT publie son bilan énergétique global en termes de térajoules.

Le Bureau de statistique du Secrétariat de l'ONU avait défini une tép comme représentant $1,018 \times 10^7$ kcal, ce qui visait à une plus grande précision, étant donné que c'est là le pouvoir calorifique du pétrole brut d'une densité de 0,86. Toutefois, comme le tép est une unité relative et qu'elle est censée faciliter les travaux des planificateurs de l'énergie, le Bureau de statistique a décidé de ramener sa définition à $1,0 \times 10^7$ kcal, l'alignant ainsi sur celle adoptée par les autres organismes internationaux.

3. Joule

De nombreux pays, y compris les pays membres de la Communauté économique européenne, utilisent un grand multiple du joule comme unité de compte commune. Le Bureau de statistique du Secrétariat de l'ONU a adopté le joule comme unité de compte pour les bilans énergétiques globaux qu'il publie, de même que la Commission économique pour l'Europe (CEE).

Le joule est la seule unité de mesure de l'énergie reconnue par le SI. Il a initialement été promulgué comme unité d'énergie du SI en 1946, puis comme unité thermique du SI en 1948, par la Conférence générale des poids et mesures. Les analystes de l'énergie qui ont une formation en physique ont bien accueilli le joule, mais son adoption universelle s'est heurtée à une certaine résistance dans quelques pays. La principale objection a trait à sa petite taille et au fait que les pays qui ont une certaine importance comme producteurs ou consommateurs d'énergie doivent donc utiliser une puissance très élevée de 10 comme multiplicateur. Des préfixes appropriés ont été incorporés dans le SI et, grâce à eux, les nombres comportant beaucoup de chiffres peuvent être évités.

4. Unité thermique britannique

L'unité thermique britannique (Btu) est utilisée au Canada, aux Etats-Unis et dans d'autres anciennes colonies britanniques. C'est une petite unité

(1 Btu = 0,252 kcal = 1 055,1 joules). Dans le bilan énergétique publié par le Canada apparaissent des grandeurs de neuf chiffres ou davantage et dans celles des Etats-Unis on trouve des multiplicateurs de 10^{12} et 10^{15} . Le Royaume-Uni utilise le therm comme unité de compte rigoureuse (1 therm = 10^5 Btu = 25,2 mégacalories = 105,5 mégajoules).

5. Calorie

La téralcalorie (Tcal), un multiple de la calorie, est utilisée par de nombreux pays comme unité de compte. Toutefois, cinq pouvoirs calorifiques différents sont attribués à la calorie, allant, en termes d'énergie, de 4,184 joules à 4,205 joules. La téralcalorie est basée sur la kilocalorie, appelée aussi calorie du Tableau international de la vapeur. La Tcal (égale à 4,1868 Btu) était l'unité de compte rigoureuse adoptée par l'EUROSTAT jusqu'à son abandon en 1978 en faveur du térajoule. L'OCDE continue d'utiliser le Tcal et n'envisage pas de l'abandonner étant donné le rapport très commode de 10/1 qu'elle a établi entre la Tcal et 1 000 tép (soit 10 000 kcal par kg).

6. Traitement de l'électricité primaire dans les bilans énergétiques

Lorsqu'on établit un bilan énergétique, on peut comptabiliser l'électricité primaire, c'est-à-dire l'électricité de source nucléaire, hydraulique, géothermique, solaire, éolienne ou marémotrice, de deux façons distinctes. L'une recourt à l'équivalent combustible classique, qui correspond à la quantité de combustible fossile qui aurait été nécessaire pour produire une quantité identique d'électricité dans une centrale thermique classique. L'autre méthode de comptabilisation utilise l'apport d'énergie physique, lequel varie suivant le type de production d'électricité, comme il est indiqué ci-dessous.

a) Electricité nucléaire

L'apport d'énergie physique à l'électricité nucléaire devrait, en principe, être défini comme étant la chaleur dégagée par les réacteurs pendant la période considérée. En pratique, une valeur de remplacement peut être utilisée, à savoir le chiffre obtenu en divisant la production d'électricité nucléaire par le rendement moyen de toutes les centrales nucléaires.

b) Hydro-électricité

L'apport d'énergie physique à l'hydro-électricité doit être défini comme étant le pouvoir énergétique de l'électricité elle-même ou le quotient de la production d'électricité par le rendement moyen de toutes les centrales hydro-électriques.

c) Electricité géothermique

L'apport d'énergie physique à l'électricité géothermique doit être défini comme étant la production de chaleur du système de captage ou le quotient de la production d'électricité par le rendement moyen de toutes les centrales géothermiques.

d) Electricité solaire, éolienne et marémotrice

L'apport d'énergie physique à ces nouvelles sources d'électricité serait à définir comme étant la production de chaleur ou d'électricité du système de captage.

III. FACTEURS DE CONVERSION

A. Unités internationales de masse, de volume, d'énergie, de travail et de puissance

1. Masse et volume

Du fait que différents systèmes de mesure ont été adoptés au fil des ans dans diverses régions du monde, il y a une grande variété entre les unités par lesquelles l'énergie est exprimée. C'est le cas en particulier des unités de masse et de volume. Les tableaux 2 et 3 facilitent la conversion entre ces unités. Les équivalents de masse et de volume pour les différentes sources d'énergie sont donnés dans des sections ultérieures du présent chapitre consacrées auxdites sources : combustibles solides, liquides, gazeux, etc.

Tableau 2. Equivalents de masse

DE	EN	MULTIPLIER PAR			
	Kilogrammes	Tonnes métriques	Tonnes fortes	Tonnes courtes	Livres
Kilogrammes	1,0	0,001	0,000984	0,001102	2,2046
Tonnes métriques	1 000,0	1,0	0,984	1,1023	2 204,6
Tonnes fortes	1 016,0	1,106	1,0	1,120	2 240,0
Tonnes courtes	907,2	0,9072	0,893	1,0	2 000,0
Livres	0,454	0,000454	0,000446	0,0005	1,0

Note : Pour convertir les unités énumérées horizontalement en celles qui sont énumérées verticalement, il faut les diviser par le facteur de conversion donné dans le tableau.

Exemple : Convertir des tonnes métriques en tonnes fortes : $t : 1,016 = t \text{ fortes}$.

Tableau 3. Equivalents de volume

DE	EN	Gallons	Gallons	Barils	Pieds	Litres	Mètres
	Gallons	E.-U.	impériaux		cubes		cubes (kilolitres)
MULTIPLIÉ PAR							
Gallons E.-U.	1,0	0,8327	0,02381	0,1337	3,785	0,0038	
Gallons impériaux	1,201	1,0	0,02859	0,1605	4,546	0,0045	
Barils	42,0	34,97	1,0	5,615	159,0	0,159	
Pieds cubes	7,48	6,229	0,1781	1,0	28,3	0,0283	
Litres	0,2642	0,220	0,0063	0,0353	1,0	0,001	
Mètres cubes (kilolitres)	264,2	220,0	6,289	35,3147	1 000,0	1,0	

Note : Pour convertir les unités énumérées horizontalement en celles qui sont énumérées verticalement, il faut les diviser par le facteur de conversion donné dans le tableau.

Exemple : Convertir des barils en kilolitres : barils : 6,289 = kl.

2. Energie, travail et puissance

Après les unités de masse et de volume, les unités d'énergie sont les moyens les plus courants d'enregistrer les quantités produites par les sources d'énergie. Les unités d'énergie sont également des unités de travail. Le tableau 4 indique le rapport de ces unités d'énergie et de travail entre elles. Les équivalents d'énergie pour les différentes sources d'énergie sont donnés dans des sections ultérieures du présent chapitre consacrées auxdites sources : combustibles solides, liquides, gazeux, etc. On peut obtenir le travail à partir de la puissance en multipliant celle-ci par la durée de son application. On trouvera au tableau 5 des facteurs de conversion permettant de passer d'une unité de puissance à une autre.

Tableau 4. Equivalents d'énergie et de travail

DE	Joules	Btus	Calories	Kilowattheures	Mètres- kilogrammes
MULTIPLIER PAR					
Joules	1,0	947,8 x 10 ⁻⁶	0,23884	277,7 x 10 ⁻⁹	0,10197
Gigajoules	1,0 x 10 ⁹	947,8 x 10 ³	238,84 x 10 ⁶	277,7	101,97 x 10 ⁶
Térajoules	1,0 x 10 ¹²	947,8 x 10 ⁶	238,84 x 10 ⁹	277,7 x 10 ³	101,97 x 10 ⁹
Btus	1,0551 x 10 ³	1,0	252,0	2,9307 x 10 ⁻⁶	107,6
Therms	0,10551 x 10 ⁹	1,0 x 10 ⁵	252,0 x 10 ⁵	29,307	10,76 x 10 ⁶
Quads	1,0551 x 10 ¹⁸	1,0 x 10 ¹⁵	252,0 x 10 ¹⁵	2,9307 x 10 ⁹	107,6 x 10 ¹⁵
Calories	4,1868	3,968 x 10 ⁻³	1,0	1,163 x 10 ⁻⁶	0,4269
Kilocalories	4,1868 x 10 ³	3,968	1,0 x 10 ³	1,163 x 10 ⁻³	426,9
Thermies	4,1868 x 10 ⁶	3,968 x 10 ³	1,0 x 10 ⁶	1,163	426,9 x 10 ³
Téracalories	4,1868 x 10 ¹²	3,968 x 10 ⁹	1,0 x 10 ¹²	1,163 x 10 ⁶	426,9 x 10 ⁹
Kilowattheures	3,6 x 10 ⁶	3 412,0	860,0 x 10 ³	1,0	367,1 x 10 ³
Mégawattheures	3,6 x 10 ⁹	3 412,0 x 10 ³	860,0 x 10 ⁶	1,0 x 10 ³	367,1 x 10 ⁶
Gigawattheures	3,6 x 10 ¹²	3 412,0 x 10 ⁶	860,0 x 10 ⁹	1,0 x 10 ⁶	367,1 x 10 ⁹
Térawattheures	3,6 x 10 ¹⁵	3 412,0 x 10 ¹²	860,0 x 10 ¹²	1,0 x 10 ⁹	367,1 x 10 ¹²
Pieds-livres	1,3558	1,285 x 10 ⁻³	0,3238	376,6 x 10 ⁻⁹	0,13825
Mètres-kilogrammes	9,807	9,295 x 10 ⁻³	2,342	2,724 x 10 ⁻⁶	1,0
Hp-heure	26,845 x 10 ³	2 544,43	641,2 x 10 ³	0,7457	273,7 x 10 ³
Ch-heure	26,478 x 10 ³	2 509,62	632,4 x 10 ³	0,7355	270,0 x 10 ³

Note : Pour convertir les unités énumérées horizontalement en celles qui sont énumérées verticalement, il faut les diviser par le facteur de conversion donné dans le tableau.

Exemple : Convertir des kilowattheures en gigajoules : kWh : 277,7 = GJ.

Tableau 5. Equivalents de puissance

DE	EN	Pieds- livres par seconde	Mètres- kilogrammes par seconde	Kilowatts	Chevaux- vapeur britanniques (Hp)	Chevaux-vapeur métriques (Ch)
MULTIPLIER PAR						
Pieds-livres par seconde		1,0	0,1383	$1,355 \times 10^{-3}$	$1,818 \times 10^{-3}$	$1,843 \times 10^{-3}$
Mètres- kilogrammes par seconde		7,233	1,0	$9,803 \times 10^{-3}$	$13,15 \times 10^{-3}$	$13,33 \times 10^{-3}$
Kilowatts		738,0	102,0	1,0	1,341	1,360
Hp		550,0	76,04	0,7457	1,0	1,014
Ch		542,6	75,0	0,7353	0,9862	1,0

Note : Pour convertir les unités énumérées horizontalement en celles qui sont énumérées verticalement, il faut les diviser par le facteur de conversion donné dans le tableau.

Exemple : Convertir des kilowatts en chevaux-vapeur britanniques :
 kW : $0,7457 = \text{hp}$.

B. Conversion d'unités originales en unités communes

Pour les bilans énergétiques et autres analyses, il y a lieu de convertir les quantités exprimées en unités physiques originales en unités de compte communes afin de pouvoir totaliser la production de différentes sources d'énergie. Attribuant à chaque forme d'énergie un pouvoir calorifique standard, les tableaux ci-après proposent des facteurs de conversion spécifiques permettant de convertir les données exprimées en unités originales en l'une quelconque des unités de compte communes. En outre, ils permettent les conversions entre les différentes unités de compte.

1. Combustibles solides

Tableau 6. Equivalents de combustibles solides^{a/}

DE	EN		MULTIPLIER PAR				Tonnes équivalent charbon	Tonnes équivalent pétrole
	tonnes métriques	Gigajoules	Millions de Btus	Gigacalories	Mégawatt-heures	Barils pétrole		
Houille b/	25,31	27,78	7,00	8,14	4,9	1,000	0,700	
Lignite b/	11,28	10,70	2,70	3,13	2,5	0,385	0,270	
Tourbe	9,53	9,03	2,28	2,65	2,3	0,325	0,228	
Schiste bitumineux	9,20	8,72	2,20	2,56	1,8	0,314	0,220	
Briquettes de houille	29,31	27,78	7,00	8,14	4,9	1,000	0,700	
Briquettes de lignite	19,64	18,61	4,69	5,45	3,3	0,670	0,469	
Briquettes de tourbe	14,65	13,89	3,50	4,07	2,5	0,500	0,350	
Coke de gaz	26,38	25,00	6,30	7,33	4,4	0,900	0,630	
Coke de cokerie	26,38	25,00	6,30	7,33	4,4	0,900	0,630	
Coke de lignite	19,64	18,61	4,69	5,45	3,4	0,670	0,469	
Coke de pétrole	35,17	33,33	8,40	9,77	5,9	1,200	0,840	
Charbon de bois c/	28,89	27,38	6,90	8,02	4,8	0,985	0,690	
Bois de feu c/	12,60	11,94	3,01	3,50	2,1	0,430	0,301	

Note : Pour obtenir des tonnes métriques à partir des unités énumérées en tête des colonnes, il faut diviser celles-ci par les facteurs de conversion donnés dans le tableau.

Exemple : Convertir une quantité de houille exprimée en GJ en tonnes métriques : GL : 29,31 = tonnes métriques.

a/ Tous les chiffres correspondent au pouvoir calorifique net.

b/ Le pouvoir calorifique de la houille et du lignite peut varier considérablement suivant l'origine géographique ou géologique ainsi qu'avec le temps. A titre d'illustration, voir ci-dessous quelques exemples de pouvoirs énergétiques moyens relevés pour la houille et le lignite en Gcal/tonnes métriques.

c/ Pour une analyse plus détaillée, voir la section 5.

Tableau 7. Variation du pouvoir calorifique de la houille et du lignite a/

Année	Houille		Lignite	
	Royaume-Uni	E.-U.	Tchécoslovaquie	URSS
1970	5 975	6 490	3 224	3 267
1975	5 810	6 120	3 133	2 776
1980	5 841	5 977	2 979	2 521

a/ Pouvoir calorifique net exprimé en kcal/kg.

2. Combustibles liquides

Les tableaux 8, 9, 10 et 11 fournissent des facteurs de conversion pour les combustibles liquides. Le tableau 8 offre des facteurs de conversion pour diverses unités de mesure de la chaleur et attribue des pouvoirs calorifiques standard aux différents combustibles liquides. Les autres tableaux permettent la conversion de liquides exprimés en unités de masse et de volume, étant donné que les combustibles liquides sont généralement comptabilisés en ces unités. Étant donné que chaque produit pétrolier a sa propre densité, il est nécessaire de disposer d'une table de facteurs de conversion pour convertir des unités de volume en unités de masse, ou vice versa. Le tableau 9 donne les facteurs de conversion pour les combustibles liquides ayant une densité moyenne donnée. Au tableau 10, il n'est fait aucune hypothèse concernant la densité moyenne des combustibles liquides et on se borne à y énumérer les facteurs de conversion volume/poids correspondant à chaque indice de densité. Le tableau 11 énumère les facteurs de conversion poids/volume pour chaque indice de densité. Des tableaux concernant la masse volumique, la densité et la densité API figurent à l'annexe II.

Tableau 8. Equivalents de combustibles liquides^{a/}

DE tonnes métriques	EN					Tonnes équi- valent charbon	Tonnes équi- valent pétrole
	Giga- joules	Millions de Btus	Giga- calories	Mégawatt- heures	Barils pétrole		
MULTIPLIER PAR							
Pétrole brut	42,62	40,39	10,18	11,84	7,32	1,454	1,018
Liquides de gaz naturel	45,19	42,83	10,79	12,55	10,40	1,542	1,079
Gaz de pétrole liquéfié/gaz de raffinerie liquéfié	45,55	43,17	10,88	12,65	11,65	1,554	1,088
Propane	45,59	43,21	10,89	12,67	12,34	1,556	1,089
Butane	44,80	42,46	10,70	12,44	10,85	1,529	1,070
Essence naturelle	44,91	42,56	10,73	12,47	10,00	1,532	1,073
Essence pour moteur	43,97	41,67	10,50	12,21	8,50	1,500	1,050
Essence d'aviation	43,97	41,67	10,50	12,21	8,62	1,500	1,050
Carburacteur type essence	43,68	41,39	10,43	12,13	8,28	1,490	1,043
Carburacteur type kérosène	43,21	40,95	10,32	12,00	7,77	1,474	1,032
Kérosène	43,21	40,95	10,21	12,00	7,77	1,474	1,032
Gazole/huile diesel	42,50	40,28	10,15	11,81	7,23	1,450	1,015
Fuel-oil résiduel	41,51	39,34	9,91	11,53	6,62	1,416	0,991
Huile de graissage	42,14	39,94	10,07	11,70	6,99	1,438	1,007
Bitume/asphalte	41,80	39,61	9,98	11,61	6,05	1,426	0,998
Coke de pétrole	36,40	34,50	8,69	10,11	5,52	1,242	0,869
Cire de pétrole	43,33	41,07	10,35	12,03	7,86	1,479	1,035
Condensat d'usine	44,32	42,01	10,59	12,31	8,99	1,512	1,059
White-spirit	43,21	40,95	10,32	12,00	7,77	1,474	1,032
Naphta	44,13	41,83	10,54	12,26	8,74	1,506	1,054
Charges d'alimentation	43,94	41,65	10,50	12,20	8,50	1,499	1,050
Autres produits pétroliers	42,50	40,28	10,15	11,80	6,91	1,450	1,015
Alcool éthylique	27,63	26,19	6,60	7,68	4,60	0,94	0,660
Alcool méthylique	20,93	19,84	5,00	5,82	3,50	0,71	0,500

Note : Pour obtenir des tonnes métriques à partir des unités énumérées en tête des colonnes, il faut diviser celles-ci par les facteurs de conversion donnés dans le tableau.

Exemple : Convertir du pétrole brut exprimé en barils en tonnes métriques :
barils : 7,32 = tonnes métriques.

a/ Toutes les données thermiques correspondent au pouvoir calorifique net.

Tableau 9. Equivalents de volume des combustibles liquides

DE tonnes métriques	EN			Gallons	Gallons	Barils	Barils- jour a/
	Densité	Litres	Kilolitres	E.-U.	impériaux		
MULTIPLIER PAR							
Pétrole brut	0,86	1 164	1,164	308	256	7,32	0,02005
Liquides de gaz naturel	0,55	1 653	1,653	437	364	10,40	0,02849
Gaz de pétrole liquéfié/gaz de raffinerie liquéfié	0,54	1 852	1,852	489	407	11,65	0,03192
Propane	0,51	1 962	1,962	518	432	12,34	0,03381
Butane	0,58	1 726	1,726	456	380	10,85	0,02874
Essence naturelle	0,63	1 590	1,590	420	350	10,00	0,02740
Essence pour moteur	0,74	1 351	1,351	357	297	8,50	0,02329
Essence d'aviation	0,73	1 370	1,370	362	301	8,62	0,02362
Carburéacteur type essence	0,76	1 317	1,317	348	290	8,28	0,02270
Carburéacteur type kérosène	0,81	1 235	1,235	326	272	7,77	0,02129
Kérosène	0,81	1 235	1,235	326	272	7,77	0,02129
Gazole/huile diesel	0,87	1 149	1,149	304	253	7,23	0,01981
Fuel-oil résiduel	0,95	1 053	1,053	278	232	6,62	0,01814
Huiles de graissage	0,90	1 111	1,111	294	244	6,99	0,01915
Bitume/asphalte	1,04	962	0,962	254	212	6,05	0,01658
Coke de pétrole	1,14	877	0,877	232	193	5,52	0,01512
Cire de pétrole	0,80	1 250	1,250	330	275	7,86	0,02153
Condensat d'usine	0,70	1 429	1,429	378	314	8,99	0,02463
White-spirit	0,81	1 235	1,235	326	272	7,77	0,02129
Naphta	0,72	1 389	1,389	367	306	8,74	0,02395
Autres produits pétroliers	0,91	1 099	1,099	290	241	6,91	0,01893

Note : Pour obtenir des tonnes métriques à partir des unités énumérées en tête de colonnes, il faut diviser celles-ci par les facteurs de conversion donnés dans le tableau.

Exemple : Convertir du pétrole brut exprimé en barils en tonnes métriques :
barils : 7,32 = tonnes métriques.

a/ Sur une base annuelle.

Tableau 10. Volume de liquides de différentes densités contenus dans une tonne métrique

Densité	Densité API	Litres	Kilolitres	Gallons impériaux	Gallons E.-U.	Barils	Barils-jour (base annuelle)
0,65	86,19	1 540	1,540	339	407	9,69	0,0265
0,66	82,89	1 516	1,516	334	401	9,54	0,0261
0,67	79,69	1 494	1,494	329	395	9,40	0,0257
0,68	76,59	1 472	1,472	324	389	9,26	0,0254
0,69	73,57	1 450	1,450	319	383	9,12	0,0250
0,70	70,64	1 430	1,430	315	378	8,99	0,0246
0,71	67,80	1 410	1,410	310	372	8,87	0,0243
0,72	65,03	1 390	1,390	306	367	8,74	0,0240
0,73	62,34	1 371	1,371	302	362	8,62	0,0236
0,74	59,72	1 352	1,352	298	357	8,51	0,0233
0,75	57,17	1 334	1,334	294	353	8,39	0,0230
0,76	54,68	1 317	1,317	290	348	8,28	0,0227
0,77	52,27	1 300	1,300	286	343	8,18	0,0224
0,78	49,91	1 283	1,283	282	339	8,07	0,0221
0,79	47,61	1 267	1,267	279	335	7,97	0,0218
0,80	45,38	1 251	1,251	275	331	7,87	0,0216
0,81	43,19	1 236	1,236	272	326	7,77	0,0213
0,82	41,06	1 220	1,220	269	323	7,68	0,0210
0,83	38,98	1 206	1,206	265	319	7,59	0,0208
0,84	36,95	1 191	1,191	262	315	7,50	0,0205
0,85	34,97	1 177	1,177	259	311	7,41	0,0203
0,86	33,03	1 164	1,164	256	308	7,32	0,0201
0,87	31,14	1 150	1,150	253	304	7,24	0,0198
0,88	29,30	1 137	1,137	250	301	7,15	0,0196
0,89	27,49	1 124	1,124	247	297	7,07	0,0194
0,90	25,72	1 112	1,112	245	294	7,00	0,0192
0,91	23,99	1 100	1,100	242	291	6,92	0,0190
0,92	22,30	1 088	1,088	239	287	6,84	0,0189
0,93	20,65	1 076	1,076	237	284	6,77	0,0186
0,94	19,03	1 065	1,065	234	281	6,70	0,0184
0,95	17,34	1 053	1,053	232	278	6,63	0,0182
0,96	15,90	1 043	1,043	229	275	6,56	0,0180
0,97	14,38	1 032	1,032	227	273	6,49	0,0178
0,98	12,89	1 021	1,021	225	270	6,42	0,0176
0,99	11,43	1 011	1,011	222	267	6,36	0,0174
1,00	10,00	1 001	1,001	220	264	6,30	0,0173
1,01	8,60	991	0,991	218	262	6,23	0,0171
1,02	7,23	981	0,981	216	259	6,17	0,0169
1,03	5,88	972	0,972	214	257	6,11	0,0168
1,04	4,56	962	0,962	212	254	6,05	0,0166
1,05	3,26	953	0,953	210	252	6,00	0,0164

Source : United States Federal Energy Administration, Energy Interrelationships (Springfield, Virginia, National Technical Information Service, 1977).

Tableau 11. Poids de liquides de densités différentes exprimés en kilogrammes

Densité	Densité API	Kilogrammes par litre	Kilogrammes par kilolitre	Kilogrammes par gallon impérial	Kilogrammes par gallon E.-U.	Kilogrammes par baril
0,65	86,19	0,651	651	2,957	2,462	103,4
0,66	82,89	0,661	661	3,003	2,500	105,0
0,67	79,69	0,671	671	3,048	2,538	106,6
0,68	76,59	0,681	681	3,094	2,576	108,2
0,69	73,57	0,691	691	3,139	2,614	109,8
0,70	70,64	0,701	701	3,185	2,652	111,4
0,71	67,80	0,711	711	3,230	2,689	112,9
0,72	65,03	0,721	721	3,276	2,727	114,5
0,73	62,34	0,731	731	3,321	2,765	116,1
0,74	59,72	0,741	741	3,367	2,803	117,7
0,75	57,17	0,751	751	3,412	2,841	119,3
0,76	54,68	0,761	761	3,458	2,879	120,9
0,77	52,27	0,771	771	3,503	2,917	122,5
0,78	49,91	0,781	781	3,549	2,955	124,1
0,79	47,61	0,791	791	3,594	2,993	125,7
0,80	45,38	0,801	801	3,640	3,030	127,3
0,81	43,19	0,811	811	3,685	3,068	128,9
0,82	41,06	0,821	821	3,731	3,106	130,5
0,83	38,98	0,831	831	3,776	3,144	132,0
0,84	36,95	0,841	841	3,822	3,182	133,6
0,85	34,97	0,851	851	3,867	3,220	135,2
0,86	33,03	0,861	861	3,913	3,258	136,8
0,87	31,14	0,871	871	3,958	3,296	138,4
0,88	29,30	0,881	881	4,004	3,333	140,0
0,89	27,49	0,891	891	4,049	3,371	141,6
0,90	25,72	0,901	901	4,095	3,409	143,2
0,91	23,99	0,911	911	4,140	3,447	144,8
0,92	22,30	0,921	921	4,186	3,485	146,4
0,93	20,65	0,931	931	4,231	3,523	148,0
0,94	19,03	0,941	941	4,277	3,561	149,6
0,95	17,45	0,951	951	4,322	3,599	151,2
0,96	15,90	0,961	961	4,368	3,637	152,8
0,97	14,38	0,971	971	4,413	3,674	154,3
0,98	12,89	0,981	981	4,459	3,712	155,9
0,99	11,43	0,991	991	4,504	3,750	157,5
1,00	10,00	1,001	1 001	4,550	3,788	159,1
1,01	8,60	1,011	1 011	4,595	3,826	160,7
1,02	7,23	1,021	1 021	4,641	3,864	162,3
1,03	5,88	1,031	1 031	4,686	3,902	163,9
1,04	4,56	1,041	1 041	4,732	3,940	165,5
1,05	3,26	1,051	1 051	4,777	3,977	167,0

Source : United States Federal Energy Administration, Energy Interrelationships (Springfield, Virginia, National Technical Information Service, 1977).

3. Combustibles gazeux

Tableau 12. Equivalents de combustibles gazeux^{a/}

DE milliers de m ³ <u>b/</u>	EN					Tonnes équi- valent charbon	Tonnes équi- valent pétrole
	Giga- joules	Millions de Btus	Mégawatt- heures	Giga- calories	Barils pétrole		
MULTIPLIÉ PAR							
Gaz naturel	39,02	36,98	10,84	9,32	6,50	1,331	0,932
Gaz de cokerie	17,59	16,67	4,88	4,20	2,94	0,600	0,420
Gaz de haut fourneau	4,00	3,79	1,11	0,96	0,66	0,137	0,096
Gaz de raffinerie <u>c/</u>	46,1	43,7	12,8	11,0	7,69	1,571	1,100
Gaz d'usine	17,59	16,67	4,88	4,20	2,94	0,600	0,420
Biogaz	20,0	19,0	5,6	4,8	3,36	0,686	0,480
Méthane	33,5	31,7	9,30	8,0	5,59	1,143	0,800
Ethane	59,5	56,3	16,5	14,2	9,92	2,029	1,420
Propane	85,8	81,3	23,8	20,5	14,33	2,929	2,050
Isobutane	108,0	102,0	30,0	25,8	18,0	3,686	2,580
Butane	111,8	106,0	31,0	26,7	18,6	3,814	2,670
Pentane	134,0	127,0	37,2	32,0	22,36	4,571	3,200

Note : Pour obtenir des mètres cubes à partir des unités énumérées en tête des colonnes, il faut diviser celles-ci par les facteurs de conversion donnés dans le tableau. 1 mètre cube = 35,31467 pieds cubes.

Exemple : Convertir une quantité de gaz naturel exprimée en GJ en tonnes métriques :
GJ : 39,02 = tonnes métriques.

a/ Toutes les données thermiques correspondent au pouvoir calorifique net.

b/ Aux conditions de référence normalisées. Pour convertir les conditions de référence normalisées en température et pression normales, multiplier par 1,0757.

c/ Un facteur de 0,02388 est utilisé pour convertir le gaz de raffinerie exprimé en térajoules en poids exprimé en tonnes métriques.

4. Electricité

Tableau 13. Equivalents d'électricité^{a/}

DE mégawattheures	EN	Giga- joules	Millions de Btus	Giga- calories	Barils pétrole	Tonnes	Tonnes
						équivalent charbon	équivalent pétrole
MULTIPLIER PAR							
Rendement							
100 p. 100		3,600	3,412	0,860	0,601	0,123	0,084
75 p. 100		4,800	4,549	1,147	0,801	0,164	0,113
50 p. 100		7,200	6,824	1,720	1,202	0,246	0,169
40 p. 100		9,000	8,530	2,150	1,503	0,307	0,211
35 p. 100		10,285	9,748	2,457	1,717	0,351	0,241
30 p. 100		12,000	11,373	2,867	2,003	0,409	0,281
25 p. 100		14,400	13,468	3,440	2,404	0,491	0,338
20 p. 100		18,000	17,060	4,330	3,005	0,614	0,422

Note : Pour obtenir des gigawattheures à partir des unités énumérées en tête des colonnes, il faut diviser celles-ci par les facteurs de conversion donnés dans le tableau.

Exemple : Convertir de l'électricité exprimée en GJ (rendement : 100 p. 100) en MWh : GJ : 3,600 = MWh.

Etant donné que les différents types de centrales qui produisent de l'électricité ont des rendements divers, le tableau 13 indique, pour différents rendements, les facteurs permettant de convertir les unités originales (gigawatts) en n'importe quelle unité de compte commune ou les unités de compte communes entre elles. La conversion directe de gigawatts en une unité de compte quelconque est possible dans l'hypothèse d'un rendement de 100 p. 100.

a/ Toutes les données thermiques correspondent au pouvoir calorifique net.

5. Biomasse et énergie animale

La biomasse et l'énergie animale occupent une place importante dans l'éventail énergétique de nombreux pays, en particulier dans les pays en développement, où le bois de feu et les animaux de trait sont peut-être les principales sources d'énergie et de force dans les régions rurales. La biomasse comprend plusieurs sources d'énergie qui sont caractéristiques du secteur non marchand. Il s'agit notamment du bois de feu, du charbon de bois, de la bagasse et des déchets animaux et végétaux.

a) Bois de feu

Dans les régions rurales de beaucoup de pays en développement, la principale source d'énergie pour le chauffage et la cuisson des aliments est le bois de feu, qui, dans certains cas, constitue plus de 70 p. 100 du total des ressources énergétiques nationales. Pourtant, d'une manière générale, peu de données sont publiées sur cette source d'énergie, la principale raison en étant que le bois de feu est produit et écoulé dans le secteur non marchand.

Le bois de feu peut être mesuré au volume ou au poids. Dans le premier cas, il peut s'agir du volume empilé ou du volume solide. Les mesures du bois de feu empilé sont le stère ou mètre cube de bois empilé et la corde (128 pieds cubes de bois empilé). Le volume solide est obtenu par la méthode du déplacement d'eau. Un des avantages de la mesure au volume est que la teneur en eau du bois est un facteur relativement négligeable. Le poids du bois de feu dépend très fortement de la teneur en eau - ce qui vaut d'ailleurs pour toute la biomasse. Plus il y a d'eau par unité de poids, moins il y a de bois de feu. Il importe donc que la teneur en eau soit exactement spécifiée lorsque le bois est mesuré au poids.

Il existe deux façons de mesurer la teneur en eau (H). Ce sont la "méthode sèche" et la "méthode humide", qui sont définies ci-dessous.

Méthode sèche

$$H \% = \frac{\text{poids initial} - \text{poids anhydre}}{\text{poids anhydre}} \times 100$$

Méthode humide

$$H \% = \frac{\text{poids initial} - \text{poids anhydre}}{\text{poids initial}} \times 100$$

Quand la biomasse est très humide, la différence entre les deux teneurs en eau est très sensible (100 p. 100 H par la méthode sèche = 50 p. 100 H par la méthode humide), mais quand la biomasse a la sécheresse de l'air, la différence est faible (15 p. 100 H par la méthode sèche = 13 p. 100 H par la méthode humide). Par conséquent, il est important d'indiquer par quelle méthode la teneur en eau a été mesurée. Le bois de feu est généralement mesuré par la méthode sèche, mais dans certains cas il l'est par la méthode humide.

La teneur en cendres est un autre déterminant important du contenu énergétique du bois de feu. La teneur en cendres du bois de feu est généralement d'environ 1 p. 100, mais celle de certaines espèces peut atteindre 4 p. 100, ce qui diminue la valeur énergétique du bois car les substances qui produisent les cendres en sont généralement dépourvues. C'est ainsi qu'un bois de feu ayant une teneur en cendres de 4 p. 100 contiendra 3 p. 100 moins d'énergie qu'un bois d'une teneur en cendres de 1 p. 100.

On trouvera aux tableaux 14, 15 et 16 des facteurs de conversion volumétrique et calorifique du bois de feu.

Tableau 14. Table de conversion du bois de feu
(Bois ayant une teneur en eau de 20 à 30 p. 100)

Bois de feu	Tonnes métriques par mètre cube	Tonnes métriques par corde	Mètres cubes par tonne métrique	Pieds cubes par tonne métrique
Non spécifié	0,725	1,54	1,38	48,74
Conifères	0,625	1,325	1,60	56,50
Non-conifères	0,750	1,59	1,33	46,97

Source : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Annuaire des produits forestiers, 1983 (Rome, 1985).

Note : 1 corde de bois = 3,624556 mètres cubes = 128 pieds cubes.

1 stère (bois empilé) = 1 m³ empilé = 35,31467 pieds cubes empilés.

1 board foot de bois = 2,359737 x 10⁻³ m³ = 0,08333 pieds cubes.

Tableau 15. Influence de l'humidité sur le volume massique et le poids du bois de feu

	Teneur en eau du bois de feu (pourcentage)								
	100	80	60	40	20	15	12	10	0
Volume massique en m ³ par tonne	0,80	0,89	1,00	1,14	1,33	1,39	1,43	1,45	1,60
Poids en tonnes par m ³	1,25	1,12	1,00	0,88	0,75	0,72	0,70	0,69	0,63

Source : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Wood Fuel Surveys (Rome, 1983).

On peut constater entre les deux tableaux ci-dessus un manque de concordance qui se retrouve d'ailleurs dans la plupart des ouvrages relatifs à la mesure du bois de feu. Dans le cas présent, la principale raison en est que les chiffres du tableau 14 sont fondés sur les données de tables normalisées tandis que le tableau 15 présente les résultats d'études plus récentes.

Tableau 16. Influence de l'humidité sur le pouvoir calorifique net du bois de feu

(Bois ayant une teneur en cendres de 1 p. 100)

	Teneur en eau (en pourcentage)		Kilocalories par kilogramme	Btus par livre	Mégajoules par kilogramme
	Méthode sèche	Méthode humide			
Bois vert	160	62	1 360	2 450	5,7
	140	59	1 530	2 750	6,4
	120	55	1 710	3 100	7,2
	100	50	1 960	3 530	8,2
	80	45	2 220	4 000	9,3
	70	41	2 390	4 300	10,0
Bois séché à l'air	60	38	2 580	4 640	10,8
	50 <u>a/</u>	33 <u>a/</u>	2 790	5 030	11,7
	40	29	3 030	5 460	12,7
	30	23	3 300	5 930	13,8
	25 <u>b/</u>	20 <u>b/</u>	3 460	6 230	14,5
	20	17	3 630	6 530	15,2
	15	13	3 820	6 880	16,0
Bois séché au four	10	9	4 010	7 220	16,8
	5	5	4 230	7 610	17,7
	0	0	4 470	8 040	18,7

Sources : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, A New Approach to Domestic Fuelwood Conservation (Rome, 1986); D. A. Tillman, Wood as an Energy Resource (New York, Academic Press, 1978); Nations Unies, Concepts et méthodes de collecte et d'établissement de statistiques sur la biomasse utilisée comme source d'énergie, par K. Openshaw (ESA/STAT/AC.30/6).

a/ Moyenne de bois tout-venant de 4 pieds de long.

b/ Moyenne de bois en bûches.

b) Charbon de bois

Lorsqu'on étudie à des fins statistiques la conversion du bois de feu en charbon de bois, trois aspects principaux doivent être pris en compte : la masse volumique du bois, sa teneur en eau et la méthode de production de charbon de bois.

Le facteur principal dans la détermination du rendement en charbon de bois d'un bois donné est la masse volumique de celui-ci, étant donné que le poids du charbon de bois peut varier du simple au double à volume égal. Cependant, la teneur en eau du bois a aussi un effet appréciable sur le rendement : plus le bois est sec, plus le rendement est grand. Le troisième facteur de rendement est

la méthode de production. Le charbon de bois est produit dans des fosses couvertes de terre, dans des fûts à huile, dans des fours en briques ou en acier et dans des cornues. Les méthodes de production les moins perfectionnées entraînent généralement une perte de charbon en poudre (fines), une carbonisation incomplète du bois et la combustion d'une partie du charbon de bois produit, c'est-à-dire un rendement inférieur.

Une certaine quantité de charbon de bois en poudre résulte toujours de la fabrication et du transport du charbon de bois. Lorsque le charbon de bois en poudre est transformé en briquettes, le poids de celles-ci peut être supérieur de 50 à 100 p. 100 à un volume donné de charbon de bois en poudre, à cause de la masse volumique plus grande des briquettes.

Les trois variables qui influent sur la valeur énergétique du bois sont la teneur en eau, la teneur en cendres et le degré de carbonisation. La teneur en eau moyenne du charbon de bois est de 5 p. 100. La teneur en cendres moyenne du charbon provenant du bois est de 4 p. 100, tandis que celle du charbon provenant de déchets ligneux de plantes cultivées, comme les caféiers, est proche de 20 p. 100. Dans l'hypothèse d'une carbonisation complète, le pouvoir énergétique moyen d'un charbon de bois d'arbre d'une teneur en cendres de 4 p. 100 et d'une teneur en eau de 5 p. 100 est d'environ 30,8 MJ/kg. Le pouvoir énergétique moyen de charbon de déchets ligneux d'arbustes cultivés d'une teneur en cendres de 20 p. 100 et d'une teneur en eau de 5 p. 100 est de 25,7 MJ/kg.

Trois tableaux sont consacrés à la production de charbon de bois. Le tableau 17 montre l'incidence de la masse volumique et de la teneur en eau du bois d'origine sur le rendement en charbon de bois. Le tableau 18 fournit des facteurs de conversion concernant la production de charbon de bois dans différents fours à certains pourcentages de teneur en eau du bois. Le bois considéré est un bois dur typique quelconque. Le tableau 19 indique la masse volumique d'une liste d'espèces de bois assez complète.

Tableau 17. Table de conversion du bois de feu en charbon de bois

Incidence de la masse volumique du bois d'origine sur la production de charbon de bois
(Poids (kg) de charbon de bois produit par un mètre cube de bois de feu)

	Bois de conifères	Bois durs tropicaux courants	Bois durs tropicaux préférés	Palétuvier (Rhizophora)
Charbon de bois	115	170	180	285

Incidence de la teneur en eau du bois sur la production de charbon
(Quantité de bois nécessaire pour produire une tonne de charbon de bois)

Teneur en eau (méthode sèche)	100	80	60	40	20	15	10
Volume de bois nécessaire (en mètres cubes)	17,6	16,2	13,8	10,5	8,1	6,6	5,8
Poids de bois nécessaire (en tonnes)	12,6	11,6	9,9	7,5	5,8	4,7	4,1

Sources : D. E. Earl, Forest Energy and Economic Development (Londres, Oxford University Press, 1975); Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Wood Fuel Surveys (Rome, 1983).

Tableau 18. Quantités de bois de feu nécessaires pour la production de charbon de bois selon le type de four

(Mètres cubes de bois de feu par tonne de charbon de bois)

Type de four	Teneur en eau du bois de feu					
	15 p. 100	20 p. 100	40 p. 100	60 p. 100	80 p. 100	100 p. 100
Four en terre	10	13	16	21	24	27
Fours portatifs en acier	6	7	9	13	15	16
Four en briques	6	6	7	10	11	12
Cornue	4,5	4,5	5	7	8	9

Source : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Wood Fuel Surveys (Rome, 1983).

Tableau 19. Masse volumique de certaines espèces de bois de feu
(Bois ayant une teneur en eau de 12 p. 100)

Bois de feu non résineux	Masse volumique (kg/m ³)	Bois de feu résineux	Masse volumique (kg/m ³)
Norme générale	750	Norme générale	625
Acacia Albida	633	Cèdre blanc et cèdre rouge	352
Acacia nigrescens	1 111	Cyprès	465
Pommier	705	Douglas	513
Frêne noir	545	Sapin baumier	401
Frêne blanc	673	Hemlock	465
Bambou	725	Pin d'Oregon	513
Bouleau noir	705	Pin rouge	481
Merisier	433	Pin blanc	433
Châtaignier	481	Pitchpin	642
Orme blanc	561	Pin de Riga	541
Erythrophleum africanum	1 010	Séquoia	417
Eucalyptus microcorys	847	Epicéa blanc et épicea rouge	449
Eucalyptus paniculata	1 000		
Hickory	769	Espèces non identifiées	725
Irvingia malayana	1 099		
Caroubier	722		
Acajou	705		
Palétuvier heriteria	901		
Palétuvier rhizophora	1 176		
Palétuvier sonneratia	775		
Erable à sucre	689		
Erable sycomore	529		
Chêne rouvre	737		
Chêne virginiana	866		
Chêne rouge et quercitron	673		
Chêne blanc	770		
Peuplier	433		
Tamarinier	855		
Teck africain	994		
Teck indien	769		
Noyer noir	593		
Saule	449		

Sources : T. Baumeister et autres, Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 8e éd. (New York, Mc-Graw-Hill, 1978); J. Bruce, The Commercial Timbers of Tanzania (Dar es-Salaam, Government Printers, 1967); P. Sono, Merchantable Timbers of Thailand (Bangkok, Département royal des forêts, Division des produits forestiers, 1974); Nations Unies, Concepts et méthodes de collecte et d'établissement de statistiques sur la biomasse utilisée comme source d'énergie, par K. Openshaw (ESA/STAT/AC.30/6).

c) Déchets végétaux et animaux

L'énergie que contiennent les déchets agricoles et les résidus du traitement des produits alimentaires est de plus en plus utilisée pour remplacer la biomasse ligneuse dans les régions pauvres en bois de feu. Ces déchets peuvent être brûlés comme combustible aux fins de chauffage ou de cuisson des aliments.

Deux facteurs importants déterminent le potentiel énergétique de la biomasse végétale non ligneuse, à savoir la teneur en eau et la teneur en cendres. Si la teneur en cendres du bois s'établit généralement aux environs de 1 p. 100, celle des déchets agricoles peut varier de 3 p. 100 à plus de 20 p. 100. En général, les substances qui forment les cendres n'ont pas de valeur énergétique. C'est ainsi qu'une matière ayant une teneur en cendres de 20 p. 100 aura 19 p. 100 moins d'énergie qu'une matière similaire n'ayant que 1 p. 100 de teneur en cendres.

Les données relatives à ces sources potentielles d'énergie sont rarement recueillies directement, mais sont obtenues à partir des rapports produit récolté/déchets ou produit final/déchets. Etant donné l'importance de l'utilisation de la bagasse, le résidu fibreux de la production de sucre de canne, on esquissera des méthodes d'estimation pouvant s'y appliquer. La bagasse est utilisée comme combustible surtout pour les propres besoins d'énergie de l'industrie sucrière (l'excédent d'électricité sert parfois aussi à alimenter le réseau public) dans de nombreux pays producteurs de sucre.

Les quantités de bagasse disponibles comme combustible peuvent être estimées à partir, soit a) des données sur la consommation de canne à sucre par les sucreries, soit b) des données sur la production de sucre de canne centrifugé.

Méthode a) : des études fondées sur les expériences réalisées dans des pays d'Amérique centrale ont montré que la quantité de bagasse utilisable comme combustible est d'environ 280 kilogrammes par tonne de canne à sucre traitée. Dans l'hypothèse d'une teneur d'eau de 50 p. 100 lors de l'utilisation, une tonne de bagasse produit 7,72 GJ (facteur utilisé dans les publications du Bureau de statistique de l'ONU). Le contenu énergétique de la bagasse correspondant à une tonne de canne à sucre traitée peut donc s'exprimer comme suit :

$$2,16 \text{ GJ} = 0,516 \text{ Gcal} = 0,074 \text{ t}^{\text{é}}\text{c} = 0,051 \text{ t}^{\text{é}}\text{p}.$$

Méthode b) : sur la base d'observations, la Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC) propose d'utiliser une quantité de 3,26 kg de bagasse par kilogramme de sucre centrifugé produit (proportion adoptée par le Bureau de statistique de l'ONU jusqu'à ce que des données fermes soient obtenues). Les équivalents calorifiques de la bagasse correspondant à la production d'une tonne de sucre s'établissent comme suit :

$$25,2 \text{ GJ} = 6 \text{ Gcal} = 0,86 \text{ t}^{\text{é}}\text{c} = 0,59 \text{ t}^{\text{é}}\text{p}.$$

Les déchets animaux ou fumiers constituent un autre sous-produit important du secteur agricole. Ils peuvent être séchés et brûlés directement comme combustible pour le chauffage, la cuisson des aliments ou le séchage de produits récoltés. Ils peuvent aussi être répandus sur les champs comme engrais. Utilisés dans des digesteurs à biogaz, ils produisent du gaz pour le chauffage, l'éclairage et la cuisson des aliments, ainsi qu'un résidu solide utilisable comme engrais.

Le tableau 20 énumère divers déchets animaux et végétaux et indique les pouvoirs calorifiques approximatifs qu'on peut en récupérer lorsqu'ils sont utilisés comme combustibles.

Tableau 20. Contenu Énergétique de quelques déchets animaux et végétaux

Déchets	Teneur en eau moyenne : méthode sèche (en pourcentage)	Teneur en cendres approximative (en pourcentage)	Pouvoir calorifique net (MJ/kg)
Fumiers animaux	15	23-27	13,6
Coques d'arachide	3-10	4-14	16,7
Parches de café	13	8-10	15,5-16,3
Bagasse	40-50	10-12	8,4-10,5
Capsules de coton	5-10	3	16,7
Coques de noix de coco	5-10	6	16,7
Balle du riz	9-11	15-20	13,8-15,1
Olives (pressées)	15-18	3	16,75
Fibres de palmier	55	10	7,5-8,4
Coques de palmier	55	5	7,5-8,4
Bagasse	30	10-12	12,6
Bagasse	50	10-12	8,4
Ecorce	15	1	11,3
Parches et drupes de café	30	8-10	13,4
Parches et drupes de café	60	8-10	6,7
Epis de maïs	15	1-2	19,3
Coques de noix	15	1-5	18,0
Paille et balle de riz	15	15-20	13,4
Paille et épis de blé	15	8-9	19,1
Déchets urbains	19,7
Papier	5	1	17,6
Sciure de bois	50	1	11,7

Sources : G. Barnard et L. Kristoferson, Agricultural Residues as Fuel in the Third World (London, Earth Scan, 1985); Commonwealth Science Council, Common Accounting Procedures for Biomass Resources Assessment in Developing Countries (London, 1986); Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Energie pour l'agriculture mondiale (Rome, 1979); United States Federal Energy Administration, Energy Interrelationships (Springfield, Virginia, National Technical Information Service, 1977).

Note : Deux points (..) indiquent que les données ne sont pas disponibles.

d) Energie animale (animaux de trait)

Par "trait" on entend la force nécessaire ou exercée pour tirer, haler, traîner, mouvoir, transporter ou lever un objet. Le terme est aussi défini comme un effort de traction et il se rapporte essentiellement à la puissance musculaire de l'animal. L'effort de traction est directement proportionnel au poids de l'animal. La capacité de trait, c'est-à-dire la puissance disponible d'un animal en chevaux-vapeur, est fonction de l'espèce, des caractéristiques génétiques de la race, du poids du corps, de l'état de santé, de l'alimentation et de la nutrition, de la température ambiante et de la fréquence et de l'intensité de l'utilisation. Parmi tous ces facteurs, des données empiriques n'existent que pour le poids du corps de certaines races de la plupart des espèces. La puissance de trait est la force exercée par les animaux. La puissance de trait exprimée en chevaux-vapeur, ou effort de traction, est obtenue comme suit :

Puissance de trait en livres par seconde x vitesse en pieds par seconde
550 pieds-livres par seconde

Le tableau ci-dessous donne la puissance de trait de diverses espèces animales et, pour un nombre d'heures de travail arbitraire, les quantités d'énergie produites.

Tableau 21. Puissance et énergie animales

Agent	Puissance exercée		Heures de travail par an	Energie animale produite (kWh/an)	Energie animale produite (GJ/an)
	(hp)	(kW)			
Animaux de trait					
Eléphant	2	1,5	800	1 200	4,32
Cheval	1	0,75	800	600	2,16
Buffle	0,75	0,56	800	448	1,61
Chameau	0,75	0,56	800	448	1,61
Boeuf	0,75	0,56	800	448	1,61
Mule	0,70	0,52	800	416	1,50
Vache	0,45	0,34	800	272	0,99
Singe	0,35	0,26	800	208	0,75
Chien	0,1	0,075	800	60	0,22
Homme (effort musculaire de longue durée)					
	0,1	0,075	2 000	150	0,54

Sources : R. E. McDowell, Report of National Dairy Research Institute (1975); United States Federal Energy Administration, Energy Interrelationships (Springfield, Virginia, National Technical Information Service, 1977).

Note : En ce qui concerne l'homme, l'échelonnement des temps de travail et de repos, la température et le degré d'humidité de l'environnement, l'alimentation et peut-être le sexe sont des facteurs qui influent sur l'aptitude à atteindre et à maintenir les puissances nominales ci-dessus. Ces facteurs doivent être pris en compte pour chaque situation de travail.

Pour un homme robuste âgé de 35 ans et travaillant 8 heures (480 minutes) par jour (j), on obtient les chiffres suivants :

$$\begin{aligned} \text{hp} &= 0,35 - 0,092 \log 480 = 0,1 \\ 0,1 \text{ hp} \times 0,75 \text{ hph/kWh} \times 8 \text{ h/j} &= 0,6 \text{ kWh/j} \\ 2\ 000 \text{ h/an} : 8 \text{ h/j} &= 250 \text{ j/an} \\ 0,6 \text{ kWh/j} \times 250 \text{ j/an} &= 150 \text{ kWh/an} \end{aligned}$$

Annexe I

LE SYSTEME INTERNATIONAL D'UNITES

Le Système international d'unités, dont le sigle officiel est SI, est une version modernisée du système métrique instituée par accord international. Le SI offre un cadre logique et interconnecté pour toutes les mesures dans les sciences, l'industrie et le commerce. Il est construit sur un fondement de sept unités de base, plus deux unités supplémentaires. Les multiples et les sous-multiples sont exprimés suivant le système décimal.

Le SI comprend les unités suivantes :

Unités de base

<u>Quantité</u>	<u>Désignation</u>	<u>Symbole</u>
Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Temps	seconde	s
Courant électrique	ampère	A
Température thermodynamique	kelvin	K
Intensité lumineuse	candela	cd
Quantité de matière	mole	mol

Unités supplémentaires

Angle plan	radian	rad
Angle solide	stéradian	sr

Les unités ci-dessus sont toutes internationalement définies.

Le terme unité principale désigne ici les membres de la série d'unités comprenant les unités de base et supplémentaires ci-dessus ainsi que des unités cohérentes qui en sont dérivées. Par exemple, le mètre par seconde (m/s) est l'unité principale SI de vitesse.

Unités principales ayant des désignations particulières

<u>Désignation</u>	<u>Symbole</u>	<u>Définition</u>
hertz	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
newton	N	1 N = 1 kg·m/s ²
pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
joule	J	1 J = 1 N·m
watt	W	1 W = 1 J/s
coulomb	C	1 C = 1 A·s
volt	V	1 V = 1 J/C
ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A
siemens	S	1 S = 1 A/V
farad	F	1 F = 1 C/V
weber	Wb	1 Wb = 1 V/s
henry	H	1 H = 1 Wb/A
tesla	T	1 T = 1 Wb/m ²
lumen	lm	1 lm = 1 cd·sr
lux	lx	1 lx = 1 lm/m ²

Préfixes

Des unités plus grandes ou plus petites peuvent être créées à partir d'unités simples au moyen des préfixes suivants :

<u>Facteur de multiplication</u>	<u>Préfixe</u>	<u>Symbole</u>
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻³	milli	m
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻¹	déci	d
10 ¹	deca	da
10 ²	hecto	h
10 ³	kilo	k
10 ⁶	méga	M
10 ⁹	giga	G
10 ¹²	téra	T
10 ¹⁵	peta	P

Un préfixe ne peut être joint qu'à une unité désignée par un mot et un symbole simples (comme m, et non pas un symbole composé comme m/s) qui n'est pas déjà modifié par un préfixe ou un exposant. Un préfixe ne peut donc jamais en précéder immédiatement un autre. Dans le cas d'unités telles que km², le préfixe est joint à m et l'exposant s'applique à km, soit 1 km² = (1 000 m)² = 10⁶ m².

Les éléments des symboles composés peuvent être séparés par un espace ou par un point. Par exemple nM désigne un millinewton, tandis que newton-mètre se note par m·N ou m N.

Autres unités

Dans chacune des catégories ci-après, l'unité de base ou principale est donnée d'abord, suivie par les désignations et définitions d'autres unités.

Longueur

1 mètre	= 1 m
1 pouce	= 1 in = 25,4 mm
1 pied	= 1 ft = 12 in = 0,3048 m
1 yard	= 1 yd = 3 ft = 0,9144 m
1 mile	= 5 280 ft = 1 609,344 m

Masse

1 kilogramme	= 1 kg
1 livre	= 1 lb = 0,45359237 kg
1 tonne	= 1 t = 1 000 kg
1 tonne R.-U.	= 2 240 lb = 1 016,05 kg
1 tonne E.-U.	= 2 000 lb = 907,185 kg

Temps

1 seconde	= 1 s
1 minute	= 1 min = 60 s
1 heure	= 1 h = 60 min = 3 600 s

Température

1 kelvin	= 1 K (antérieurement exprimé en degrés centigrades, Celsius et Kelvin)
1 rankine	= (5/9) K (également nommé degré Fahrenheit)

Surface

1 mètre carré	= 1 m ²
1 pied carré	= 1 ft ² = 0,09290304 m ²
1 yard carré	= 1 yd ² = 0,83612736 m ²
1 acre	= 43 560 ft ² = 4 046,86 m ²
1 hectare	= 10 000 m ²

Volume

1 mètre cube	= 1 m ³
1 litre	= 1 l = 0,001 m ³
1 pied cube	= 1 ft ³ = 0,02283168 m ³
1 yard cube	= 1 yd ³ = 0,764555 m ³
1 gallon R.-U.	= 0,0045460919 m ³
1 gallon E.-U.	= 0,003785411784 m ³
1 baril E.-U.	= 42 gallons E.-U. = 0,158988 m ³

Vitesse

1 mètre par seconde	= 1 m/s
1 pied par seconde	= 1 ft/s = 0,3048 m/s
1 mile par heure	= 1 mile/h = 0,44704 m/s

Masse volumique

1 kilogramme par mètre cube	= 1 kg/m ³
1 livre par pied cube	= 1 lb/ft ³ = 16,0185 kg/m ³

Force

1 newton	= 1 N = 1 kg·m/s ²
1 dyne	= 1 dyn = 1 g·cm/s ² = 10 ⁻⁵ N
1 kilogramme-force	= 1 kgf = 9,80665 N

Pression, contrainte

1 pascal	= 1 Pa = 1 N/m ²
1 bar	= 10 ⁵ Pa = 10 ⁵ N/m ²
1 dyn/cm ²	= 0,1 Pa = 0,1 N/m ²
1 atmosphère standard	= 1 atm = 1,01325 bar
1 millimètre de mercure	= 133,322 N/m ²

Viscosité (dynamique)

1 N·s/m ²	= 1 Pa·s = 1 kg/m·s
1 poise	= 1 P = 1 dyn·s/cm ² = 1 g/cm·s
1 centipoise	= 0,01 P = 0,001 kg/m·s

Viscosité (cinématique)

1 m ² par seconde	= 1 m ² /s
1 stokes	= 1 St = 1 cm ² /s
1 centistokes	= 1 cSt = 1 mm ² /s

Energie, travail, chaleur

1 joule	= 1 J = 1 N·m = 1 kg·m ² /s ² = 1 Pa·m ³
1 kilowattheure	1 kW·h = 3,6 x 10 ⁶ J
1 calorie	1 cal = 4,1868 J
1 kilocalorie	1 kcal = 4 186,8 J
1 thermie	4,1855 x 10 ⁶ J
1 unité thermique britannique	= 1 Btu = 1 055,06 J
1 therm	= 10 ⁵ Btu = 1,05506 x 10 ⁸ J
1 cheval-vapeur britannique heure	2,68452 x 10 ⁶ J

Puissance

1 watt	= 1 W = 1 J/s
1 kilowatt	= 1 kW = 10 ³ J/s
1 kgf·m/s	9,80665 W
1 cheval-vapeur métrique	= 1 CV (cheval vapeur) = 1 ch = 1 PS = 735,499 W
1 cheval-vapeur britannique	= 1 hp = 550 ft·lbf/s = 745,7 W

Energie par masse (pouvoir calorifique, enthalpie massique)

1 joule par kilogramme	= 1 J/kg
1 calorie par gramme	= 4,1868 J/g
1 Btu par livre	= 2 326 J/kg

Energie par masse·température (entropie massique, capacité thermique massique)

1 joule par kg·kelvin	= 1 J/kg·K
1 calorie par kg·kelvin	= 4,1868 J/kg·K
1 Btu par lb·rankine	= 4 187 J/kg·K

Energie par volume·température

1 joule par m ³ ·kelvin	= 1 J/m ³ ·K
1 joule par cm ³ ·kelvin	= 10 ⁻⁶ J/m ³ ·K
1 cal/cm ³ ·K	= 4,1868 x 10 ⁶ J/m ³ ·K
1 cal/l·K	= 4,1868 x 10 ³ J/m ³ ·K
1 kcal/m ³ ·K	= 4,1868 J/m ³ ·K
1 Btu/ft ³ ·rankine	67 066,1 J/m ³ ·K

Densité de charge surfacique

1 watt par m ²	= 1 W/m ² = 1 J/m ² ·s
1 calorie/m ² ·s	= 4,1868 W/m ²
1 kcal/m ² ·h	= 1,163 W/m ²
1 Btu/ft ² ·h	= 3,15459 W/m ²

Transmission de chaleur (conductance thermique)

1 watt/m ² ·K	= 1 W/m ² ·K = 1 J/m ² ·s·K
1 cal/m ² ·s·K	= 4,1868 W/m ² ·K
1 kcal/m ² ·h·K	= 1,163 W/m ² ·K
1 Btu/ft ² ·h·rankine	= 3,15459 W/m ² ·K

Conductivité thermique

1 watt/m·K	= 1 W/m·K = 1 J/m·s·K
1 cal/cm·s·K	= 418,68 W/m·K
1 kcal/m·h·K	= 1,163 W/m·K
1 Btu/ft·h·rankine	= 1,73073 W/m·K

Annexe II

TABLES D'EQUIVALENCES DE LA DENSITE, DE LA MASSE VOLUMIQUE ET DE LA VISCOSITE

Masse volumique et densité

Les tables suivantes sont extraites des ASTM-IP Petroleum Measurement Tables, établies conjointement par l'American Society for Testing Materials et l'Institute of Petroleum (Royaume-Uni). Les définitions des densités et de la masse volumique sont formulées comme suit par l'ASTM-IP :

Densité : rapport de la masse d'un volume donné de pétrole à 60° F à la masse du même volume d'eau à 60° F.

Masse volumique : masse par volume unitaire à 15° C exprimée en kilogrammes par litre.

Densité API : sur la base d'une température standard de 60° F, s'exprime comme suit par rapport à la densité Baumé :

$$\text{Densité API} = \frac{141,5}{\text{dens. } 60^{\circ}/60^{\circ} \text{ F}} - 131,5$$

En utilisant les tables, on peut considérer que le poids de l'eau à l'air libre à 60° F s'établit comme suit :

1 kg par litre
8,3283 lb par gallon E.-U.
10,002 lb par gallon impérial
62,3 lb par pied cube
349,7886 lb par baril pétrole E.-U.

Tableau 22. Equivalents de densité

Densité	Densité API	Masse volumique	Densité	Densité API	Masse volumique	Densité	Densité API	Masse volumique
0,60	-	0,6000	0,75	57,17	0,7497	0,90	25,72	0,8995
0,61	-	0,6100	0,76	54,68	0,7597	0,91	23,99	0,9095
0,62	96,73	0,6200	0,77	52,27	0,7697	0,92	22,30	0,9195
0,63	93,10	0,6299	0,78	49,91	0,7797	0,93	20,65	0,9295
0,64	89,59	0,6399	0,79	47,61	0,7897	0,94	19,03	0,9395
0,65	86,19	0,6499	0,80	45,38	0,7996	0,95	17,45	0,9495
0,66	82,89	0,6599	0,81	43,19	0,8096	0,96	15,90	0,9594
0,67	79,69	0,6699	0,82	41,06	0,8196	0,97	14,38	0,9694
0,68	76,59	0,6798	0,83	38,98	0,8296	0,98	12,89	0,9794
0,69	73,57	0,6898	0,84	36,95	0,8396	0,99	11,43	0,9894
0,70	70,64	0,6998	0,85	34,97	0,8496	1,00	10,00	0,9994
0,71	67,80	0,7098	0,86	33,03	0,8596	1,01	8,60	1,0094
0,72	65,03	0,7198	0,87	31,14	0,8695	1,01	7,23	1,0194
0,73	62,34	0,7298	0,88	29,30	0,8795	1,03	5,88	1,0294
0,74	59,72	0,7397	0,89	27,49	0,8895	1,04	4,56	1,0394

Note : Mesurés à une température standard de 60° F pour la densité et la densité API et de 15° C pour la masse volumique.

Tableau 23. Equivalents de densité API

Densité API	Densité	Masse volu- mique	Densité API	Densité	Masse volu- mique	Densité API	Densité	Masse volu- mique
0,0	1,0760	1,0754	33,0	0,8602	0,8597	66,0	0,7165	0,7162
1,0	1,0679	1,0673	34,0	0,8550	0,8545	67,0	0,7128	0,7126
2,0	1,0599	1,0593	35,0	0,8499	0,8494	68,0	0,7093	0,7091
3,0	1,0520	1,0514	36,0	0,8448	0,8443	69,0	0,7057	0,7055
4,0	1,0443	1,0436	37,0	0,8398	0,8393	70,0	0,7022	0,7020
5,0	1,0366	1,0360	38,0	0,8348	0,8344	71,0	0,6988	0,6986
6,0	1,0291	1,0285	39,0	0,8299	0,8295	72,0	0,6953	0,6952
7,0	1,0217	1,0210	40,0	0,8251	0,8247	73,0	0,6919	0,6918
8,0	1,0143	1,0137	41,0	0,8203	0,8199	74,0	0,6886	0,6884
9,0	1,0071	1,0065	42,0	0,8156	0,8152	75,0	0,6852	0,6851
10,0	1,0000	0,9994	43,0	0,8109	0,8105	76,0	0,6819	0,6818
11,0	0,9930	0,9924	44,0	0,8063	0,8059	77,0	0,6787	0,6785
12,0	0,9861	0,9855	45,0	0,8017	0,8013	78,0	0,6754	0,6753
13,0	0,9792	0,9787	46,0	0,7972	0,7968	79,0	0,6722	0,6721
14,0	0,9725	0,9719	47,0	0,7927	0,7924	80,0	0,6690	0,6689
15,0	0,9659	0,9653	48,0	0,7883	0,7880	81,0	0,6659	0,6658
16,0	0,9593	0,9588	49,0	0,7839	0,7836	82,0	0,6628	0,6626
17,0	0,9529	0,9523	50,0	0,7796	0,7793	83,0	0,6597	0,6596
18,0	0,9465	0,9459	51,0	0,7753	0,7750	84,0	0,6566	0,6565
19,0	0,9402	0,9397	52,0	0,7711	0,7708	85,0	0,6536	0,6535
20,0	0,9340	0,9335	53,0	0,7669	0,7666	86,0	0,6506	0,6505
21,0	0,9279	0,9273	54,0	0,7628	0,7625	87,0	0,6476	0,6475
22,0	0,9218	0,9213	55,0	0,7587	0,7584	88,0	0,6446	0,6446
23,0	0,9159	0,9153	56,0	0,7547	0,7544	89,0	0,6417	0,6416
24,0	0,9100	0,9095	57,0	0,7507	0,7504	90,0	0,6388	0,6387
25,0	0,9042	0,9037	58,0	0,7467	0,7464	91,0	0,6360	0,6359
26,0	0,8984	0,8979	59,0	0,7428	0,7425	92,0	0,6331	0,6330
27,0	0,8927	0,8923	60,0	0,7389	0,7387	93,0	0,6303	0,6302
28,0	0,8871	0,8867	61,0	0,7351	0,7348	94,0	0,6275	0,6274
29,0	0,8816	0,8811	62,0	0,7313	0,7310	95,0	0,6247	0,6247
30,0	0,8762	0,8757	63,0	0,7275	0,7273	96,0	0,6220	0,6219
31,0	0,8708	0,8703	64,0	0,7238	0,7236	97,0	0,6193	0,6192
32,0	0,8654	0,8650	65,0	0,7201	0,7199	98,0	0,6166	0,6165

Note : Mesurés à une température standard de 60° F pour la densité et la densité API et de 15° C pour la masse volumique.

Tableau 24. Equivalents de masse volumique

Masse volumique	Densité	Densité API	Masse volumique	Densité	Densité API	Masse volumique	Densité	Densité API
0,50	0,4996	-	0,69	0,6902	73,52	0,88	0,8805	29,21
0,51	0,5097	-	0,70	0,7002	70,59	0,89	0,8905	27,40
0,52	0,5197	-	0,71	0,7102	67,74	0,90	0,9005	25,64
0,53	0,5298	-	0,72	0,7202	64,97	0,91	0,9105	23,91
0,54	0,5398	-	0,73	0,7302	62,27	0,92	0,9205	22,22
0,55	0,5498	-	0,74	0,7403	59,65	0,93	0,9305	20,56
0,56	0,5599	-	0,75	0,7503	57,10	0,94	0,9405	18,95
0,57	0,5699	-	0,76	0,7603	54,61	0,95	0,9505	17,36
0,58	0,5799	-	0,77	0,7703	52,19	0,96	0,9606	15,81
0,59	0,5900	-	0,78	0,7803	49,83	0,97	0,9706	14,29
0,60	0,6000	-	0,79	0,7903	47,53	0,98	0,9806	12,80
0,61	0,6100	-	0,80	0,8004	45,29	0,99	0,9906	11,34
0,62	0,6200	96,71	0,81	0,8104	43,11	1,00	1,0006	9,92
0,63	0,6301	93,08	0,82	0,8204	40,98	1,01	1,0106	8,52
0,64	0,6401	89,57	0,83	0,8304	38,90	1,02	1,0206	7,14
0,65	0,6501	86,16	0,84	0,8404	36,87	1,03	1,0306	5,79
0,66	0,6601	82,86	0,85	0,8504	34,89	1,04	1,0406	4,47
0,67	0,6701	79,65	0,86	0,8605	32,95	1,05	1,0507	3,18
0,68	0,6802	76,54	0,87	0,8705	31,06			

Note : Mesurés à une température standard de 60° F pour la densité et la densité API et de 15° C pour la masse volumique.

Tableau 25. Masse volumique de certains combustibles

Combustibles	Masse volumique moyenne (kg/m ³)
<u>Solides</u>	
Anthracite	1 554
Charbon bitumineux	1 346
Lignite	1 250
Coke	1 201
Tourbe sèche	753
Charbon de bois de chêne	481
Charbon de bois de pin	369
<u>Liquides</u>	
Pétrole brut	840-860
Gaz de pétrole liquéfié/gaz de raffinerie liquéfié	540
Propane	510
Butane	580
Essence naturelle	630
Essence pour moteur	740
Essence d'aviation	730
Carburéacteur type essence	760
Carburéacteur type kérosène	810
Kérosène	810
Gazole/huile diesel	870
Fuel-oil résiduel	950
Huile de graissage	900
Bitume (asphalte)	1 040
Coke de pétrole	1 140
Cire de pétrole	800
Condensat d'usine	700
White-spirit industriel	810
Naphta	720
Autres produits pétroliers	910
<u>Gazeux</u> (à 1 atm et 15° C)	
Gaz naturel	0,720-0,785
Propane	1 869
Butane	2 383
Gaz de haut fourneau	1 270
Gaz manufacturé	1 070

Sources : J. W. Rose et J. R. Cooper, Technical Data on Fuel, 7e éd. (Edimbourg, Scottish Academic Press, 1977); United Kingdom Department of Energy, Digest of U.K. Energy Statistics (Londres, 1980).

Tableau 26. Conversion de la viscosité cinématique

Viscosité cinématique en centistokes	Secondes de viscosité Redwood No 1 à 38° C	Secondes de viscosité Saybolt universelle à 38° C	Degrés de viscosité Engler toutes températures	Secondes de viscosité Saybolt furol à 50° C
2	30,65	32,62	1,141	-
3	33,15	36,03	1,225	-
4	35,65	39,14	1,309	-
5	38,25	42,35	1,401	-
6	40,85	45,56	1,482	-
7	43,55	48,77	1,565	-
8	46,25	52,09	1,655	-
9	49,05	55,50	1,749	-
10	51,95	58,91	1,840	-
12	58,07	66,04	2,024	-
14	64,54	73,57	2,224	-
16	71,39	81,30	2,439	-
18	78,40	89,44	2,650	-
20	85,75	97,77	2,877	-
22	93,28	106,4	3,108	-
24	100,8	115,0	3,344	-
26	108,6	123,7	3,584	-
28	116,3	132,5	3,830	-
30	124,1	141,3	4,081	-
35	144,0	163,7	4,708	-
40	164,1	186,3	5,350	-
45	184,3	209,1	5,993	-
50	204,4	232,1	6,650	26,1
55	224,6	255,2	7,260	28,3
60	244,8	278,3	7,920	30,6
65	265,0	301,4	8,580	32,8
70	285,4	324,4	9,240	35,1
75	305,4	347,6	9,900	37,4
80	325,5	370,5	10,550	39,6
90	-	-	-	44,1
100	-	-	-	48,6
120	-	-	-	57,8
140	-	-	-	67,0
160	-	-	-	76,3
180	-	-	-	85,6
200	-	-	-	95,0

Source : J. W. Rose et J. R. Cooper, Technical Data on Fuel, 7e éd. (Edimbourg, Scottish Academic Press, 1977).

Annexe III

EFFICACITE DES PROCEDES DE CONVERSION DE L'ENERGIE

Conversion de l'énergie

Tous les processus vitaux entraînent la conversion d'une forme d'énergie en une autre. L'énergie radiante du soleil est convertie par les plantes en énergie chimique emmagasinée. Les plantes sont ensuite consommées par des animaux et leur énergie est transformée en énergie mécanique qui actionne les muscles et crée de la chaleur. L'énergie chimique emmagasinée dans les plantes s'est aussi accumulée dans des dépôts de charbon, de pétrole et de gaz naturel qui sont utilisés dans divers dispositifs pour convertir cette énergie en chaleur et en énergie mécanique et radiante. En outre, l'énergie mécanique peut produire de l'énergie électrique, de sorte que l'énergie peut être transportée sur de longues distances puis utilisée dans les appareils des consommateurs finals.

Le tableau 27 indique l'efficacité du processus de conversion des divers dispositifs et appareils. La plupart des coefficients d'efficacité des appareils énumérés dans le tableau ont été relevés par l'Office statistique des Communautés européennes (EUROSTAT) en vue de l'établissement de bilans de l'énergie utile. Ces bilans, outre qu'ils enregistrent d'autres pertes, rendent compte de la transformation de l'énergie dans les appareils du consommateur final.

La mesure de l'énergie utile nécessite la prise en compte des facteurs suivants :

- a) Principaux types d'appareils utilisés par les consommateurs finals d'énergie;
- b) Quantité d'énergie effectivement utilisée par ces divers appareils;
- c) Efficacité moyenne de ces appareils dans des conditions d'utilisation normales.

Sur cette base, le bilan de l'énergie utile peut faire apparaître une cinquième catégorie de pertes d'énergie, à savoir celles subies au stade de la consommation finale. Les pertes enregistrées - depuis l'apport initial jusqu'au prélèvement par le consommateur final - sont les suivantes :

- a) Pertes subies au cours du processus de production/extraction primaire (gaz brûlé, fines de charbon perdues, etc.);
- b) Pertes subies lors du passage de l'énergie primaire à l'énergie secondaire;
- c) Pertes à la distribution, touchant surtout les combustibles gazeux et l'électricité;
- d) Autoconsommation du secteur énergétique;
- e) Pertes qui, au stade de la consommation finale, sont liées à l'efficacité des appareils convertissant l'énergie pour la dernière fois.

Tableau 27. Efficacité moyenne des appareils au stade de la consommation finale

Appareils	Pourcentage
Feux de bois en plein air	10 - 15
Poêles à charbon de bois	20 - 30
Fours à ciment	30 - 40
Fours de verrerie	40
Hauts fourneaux	70 - 77
Moteurs à essence	22
Moteurs diesel	35
Moteurs à réaction	25
Fours et chaudières à charbon industriels	60
Cuisinières à charbon	25
Chaudières domestiques à charbon et poêles à charbon	55 - 65
Fours et chaudières à mazout industriels	68 - 73
Chaudières domestiques à mazout	68 - 73
Chaudières de secteur à fuel-oil résiduel	68 - 73
Brûleurs à pétrole	55
Fours et chaudières à gaz industriels	70 - 75
Cuisinières à gaz	37
Chauffe-eau à gaz	62
Chaudières domestiques à gaz	67 - 80
Cuisinières à gaz de pétrole liquéfié	37
Chauffage au gaz de pétrole liquéfié	69 - 73
Moteurs électriques	95
Fours électriques	95
Electrolyse	30
Traction ferroviaire électrique	90
Cuisinières électriques	75
Chauffe-eau électriques	90
Chauffage électrique direct	100
Eclairage électrique à incandescence	6
Eclairage électrique à fluorescence	20

Sources : Communauté économique européenne, Office statistique des Communautés européennes (EUROSTAT), Bilans de l'énergie utile, Supplément à l'Annuaire des statistiques de l'énergie (Bruxelles, 1983); Nations Unies, "Concepts et méthodes de collecte et d'établissement de statistiques sur la biomasse utilisée comme source d'énergie", par K. Openshaw (ESA/STAT/AC.30/6).

Bibliographie

American National Standards Institute, SI Units and Recommendation for the Use of their Multiples and of Certain Other Units, 2e éd. (New York, 1981).

American Petroleum Institute, Glossary of Terms Used in Petroleum Refining, 2e éd. (Baltimore, 1962).

American Society for Testing Materials and the Institute of Petroleum, ASTM-IP Petroleum Measurement Tables (Londres, 1953).

Barnard, G. et L. Kristoferson, Agricultural Residues as Fuel in the Third World (Londres, Earth Scan, 1985).

Baumeister, T., T. Baumeister et E. Avallone, Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 8e éd. (New York, McGraw-Hill, 1978).

Bennett, H., Concise Chemical and Technical Dictionary (New York, Chemical Publishing Co., 1962).

Boone, L. P., The Petroleum Dictionary (Norman, Oklahoma, University of Oklahoma Press, 1952).

Bryce, J., The Commercial Timbers of Tanzania (Dar es-Salaam, Government Printers, 1967).

Commonwealth Science Council, Common Accounting Procedures for Biomass Resources Assessment in Developing Countries (Londres, 1986).

Communauté économique européenne, Office statistique des Communautés européennes (EUROSTAT), Bilans de l'énergie utile, 1980, Supplément à l'Annuaire des statistiques (Bruxelles, 1983).

Crabbe, D. et R. McBride, The World Energy Book (New York, Nichols Publishing Co., New York, 1978).

Earl, D. E., Forest Energy and Economic Development (Londres, Oxford University Press, 1975).

Fowler, J. M. Energy and Environment (New York, McGraw-Hill, 1975).

Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche/Centre d'information du Programme des Nations Unies pour le développement sur le brut lourd et les sables asphaltiques, First International Survey of Heavy Crude and Tar Sands, 1983 (No de vente HCTS/WS/83).

Latin American Energy Organization, "Jamaica's bioenergy potential", Energy Magazine (Quito), avril 1985.

Locke, H. B., Energy Users' Databook (Londres, Graham and Trotman, 1981).

Loftness, R., Energy Handbook (New York, Van Nostrand Reinhold, 1978).

- Mc Dowell, R. E., Report of National Dairy Research Institute (Paris, Programme des Nations Unies pour le développement/Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, 1975).
- Merrill, Richard et Thomas Gage, Energy Primer: Solar, Water, Wind and Biofuels (New York, Dell Publishing Co., 1978).
- National Academy of Sciences, Firewood Crops: Shrub and Tree Species for Energy Production (Washington, D.C., 1980).
- Nations Unies, "Concepts et méthodes de collecte et d'établissement de statistiques sur la biomasse utilisée comme source d'énergie", par K. Openshaw (ESA/STAT/AC.30/6).
- _____, World Weights and Measures: Handbook for Statisticians (Publication des Nations Unies, No de vente : E.66.XVLI.3).
- _____, Concepts et méthodes d'établissement des statistiques de l'énergie et notamment des comptes et bilans énergétiques (Publication des Nations Unies, No de vente : F.82.XVII.13).
- _____, Energy Balances and Electricity Profiles, 1982 (Publication des Nations Unies, No de vente : E.85.XVII.7).
- _____, Annuaire des statistiques de l'énergie, 1983 (Publication des Nations Unies, No de vente : E/F.85.XVII.9).
- _____, Commission Économique pour l'Europe, Bulletin annuel de statistiques de l'énergie électrique pour l'Europe, 1983 (Publication des Nations Unies, No de vente : E/F/R.84.II.E.27).
- _____, Bulletin annuel de statistique du gaz pour l'Europe, 1983 (Publication des Nations Unies, No de vente E/F/R.84.II.E.28).
- _____, Commission Économique pour l'Europe, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Bulletin du bois pour l'Europe, vol. XXXVI, No 2 (janvier-décembre 1983).
- _____, Commission Économique pour l'Amérique latine, Istmo Centroamericano: Estadísticas Sobre Energía, 1978 (E/CEPAL/CCE/SC.5/132/Rev.1).
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Energie pour l'agriculture mondiale (Rome, 1979).
- _____, Wood Fuel Surveys (Rome, 1983).
- _____, Annuaire des produits forestiers, 1983 (Rome, 1985).
- _____, A New Approach to Domestic Fuelwood Conservation (Rome, 1986).
- Rose, J. W. et J. R. Cooper, Technical Data on Fuel, 7e éd. (Edimbourg, Scottish Academic Press, 1977).
- Sono, P., Merchantable Timbers of Thailand (Bangkok, Département royal des forêts, Division des produits forestiers, 1974).

Summers, Claude, "Conversion of energy", Energy: Readings from Scientific American (San Francisco, W. H. Freeman and Company, 1979).

Tillman, David A., Wood as an Energy Resource (New York, Academic Press, 1978).

United Kingdom Department of Energy, Digest of U.K. Energy Statistics (Londres, 1980).

United States of America Department of Commerce, Bureau of Standards, Thermal Properties of Petroleum Products, Miscellaneous Publication No. 97 (Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1929).

United States of America Federal Energy Administration, Energy Interrelationships (Springfield, Virginia, National Technical Information Service, 1977).

United States of America Department of Energy, Energy Information Administration, International Energy Annual 1984 (Washington, D.C., 1985).

Vaclav, Smil, Bio Mass Energy: Resources, Links, Constraints (New York, Plenum Press, 1983).

Weast, R. et M. Astle, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60e éd. (Florida, CRC Press, 1979).



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.
