

2. Notions fondamentales

2.2 – Énergie

2.2.4 – Combustibles et produits énergétiques

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Victor Aveline, M.ing.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Combustibles et produits énergétiques
- Flux de produit
- Bilan par produit
- Conclusion

Question

- Combien de combustibles sont répertoriés par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE)?
 - Entre 5 et 15
 - Entre 16 et 26
 - Entre 26 et 35
 - Entre 36 et 45
 - Plus de 46



ENR2020

Question

- Dans son "Manuel sur les statistiques de l'énergie" (2005, Annexe 3), l'AIE liste 23 types de carburants.

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Combustibles et produits énergétiques
- Flux de produit
- Bilan par produit
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Cette présentation est un résumé de ce que l'on retrouve dans le manuel sur les statistiques de l'énergie publié par l'IEA, particulièrement la première section qui concerne les principes fondamentaux.



Introduction et objectifs

- Cette présentation concerne les éléments qui font souvent défaut aux analystes confinés aux seuls domaines du génie et de la technique.
- Pour comprendre le monde, le domaine de l'énergie et les ramifications de celui-ci, il faut davantage que de pouvoir calculer des watts ou des joules, faire construire un appareil ou un procédé, établir un bilan énergétique ou faire des prédictions à partir de modèles mathématiques physiques ou de modélisation numérique.

Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation
 - Acquérir une partie des notions et du vocabulaire requis pour comprendre les implications politiques, économiques et sociales de l'énergie.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Combustibles et produits énergétiques***
- Flux de produit
- Bilan par produit
- Conclusion

Combustibles et produits énergétiques

- Qu'est ce qu'un combustible?
 - substance brûlée (le carbone et l'hydrogène contenus dans la substance combustible réagissent avec l'oxygène) pour produire de la chaleur, qui peut être utilisée pour produire du mouvement ou de l'électricité.

- Pourquoi brûler des combustibles?
 - Pour produire de la chaleur **et/ou** de l'électricité.

Combustibles et produits énergétiques

- Combien croyez-vous qu'il existe de combustibles possédant des appellations différentes?
 - Selon l'AIE, plus de 23.

Combustibles et produits énergétiques

- Qu'est ce qu'un produit énergétique?
 - Combustible
 - Électricité
 - Chaleur

Aussi appelé vecteur d'énergie

Combustibles et produits énergétiques

- Qu'est ce qu'un produit énergétique primaire ou secondaire?
 - Primaire: produits extraits, convertis ou tirés directement des ressources naturelles (fossiles) ou de conversion mécanique (sources non comptabilisables, ex: vents, courants)
 - Secondaire: fabriqués à partir de produits primaires (issue d'une transformation)

L'électricité est-elle un produit primaire ou secondaire?

Les deux !

Combustibles et produits énergétiques

Produit énergétique primaire et secondaire

- Une question de convention.
- Exemple, l'énergie obtenue à partir d'un dispositif quelconque entraîné mécaniquement par l'air ou l'eau (énergie éolienne, hydraulique, houlomotrice, marémotrice, etc.). Dans la quasi-totalité des cas, la force mécanique présente dans les parties mobiles de l'appareil est utilisée pour générer de l'électricité (il existe bien entendu des exceptions, comme le pompage de l'eau au moyen d'éoliennes).
- Puisqu'il n'existe pas d'autre débouché pour la puissance mécanique avant qu'elle ne soit utilisée pour produire de l'électricité, la forme énergétique utilisée pour représenter l'énergie hydraulique, éolienne ou marémotrice est l'électricité qu'elles génèrent.

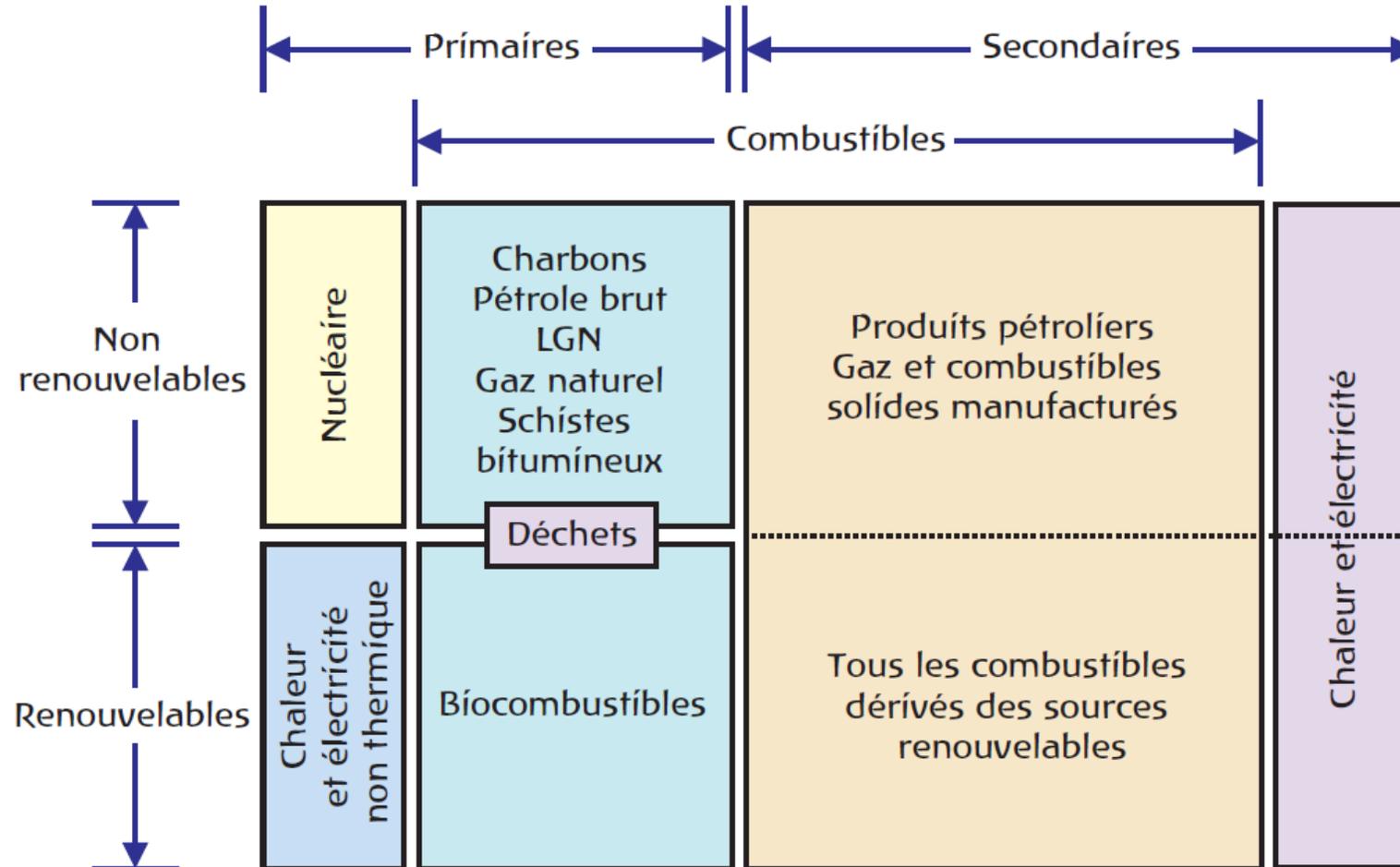
Combustibles et produits énergétiques

Produit énergétique primaire et secondaire

- Il ne sert à rien d'adopter la puissance mécanique comme forme d'énergie primaire, car elle ne serait d'aucune utilité pour les statistiques sur l'énergie. L'électricité primaire produite au moyen de ces dispositifs est parfois appelée « électricité non thermique », étant donné qu'aucune chaleur n'est nécessaire à sa production.
- L'énergie issue de cellules photovoltaïques (PV) qui convertissent directement la lumière du soleil en électricité est considérée comme électricité primaire et est incluse dans les sources d'électricité non thermique.

Combustibles et produits énergétiques

- Produits énergétiques primaire et secondaire



Source:
IEA, Manuel, 2005

Combustibles et produits énergétiques

- Produits énergétiques primaire et secondaire
 - En fait, cette distinction peut-être défiée.
 - Le pétrole est primaire. Cependant, ce n'est rien d'autre que la conversion de l'énergie solaire en quelques millions d'années. Il s'agit donc d'une CONVERSION d'énergie et non, strictement parlant, d'une source d'énergie.
 - À la rigueur, l'énergie solaire n'est pas primaire non plus car ce n'est QUE la CONVERSION de l'énergie de fusion des atomes d'hydrogène.
 - Dans ce cours, nous nous en tiendrons à la convention adoptée par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE/IEA).

Combustibles et produits énergétiques

- Quelles sont les unités de mesure des flux de combustible?
 - Les unités de masse (kg ou tonnes)
 - Les unités de volume (litres, m³, et barils)

Combustibles et produits énergétiques

- Les unités de masse

	<i>En:</i>	kg	t	lt	st	lb
<i>De :</i>		<i>multiplier par :</i>				
<i>Kilogramme (kg)</i>		1	0,001	$9,84 \times 10^{-4}$	$1,102 \times 10^{-3}$	2,2046
<i>Tonne (t)</i>		1000	1	0,984	1,1023	2204,6
<i>Tonne longue (lt)</i>		1016	1,016	1	1,120	2240,0
<i>Tonne courte (st)</i>		907,2	0,9072	0,893	1	2000,0
<i>Livre (lb)</i>		0,454	$4,54 \times 10^{-4}$	$4,46 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	1

Source:
IEA, Manuel, 2005

Combustibles et produits énergétiques

- Les unités de volume

	En:	gal US	gal UK	bb1	ft ³	l	m ³
De :	multiplier par :						
Gallon américain (gal)		1	0,8327	0,02381	0,1337	3,785	0,0038
Gallon impérial (gal)		1,201	1	0,02859	0,1605	4,546	0,0045
Baril (bb1)		42,0	34,97	1	5,615	159,0	0,159
Pied cube (ft ³)		7,48	6,229	0,1781	1	28,3	0,0283
Litre (l)		0,2642	0,220	0,0063	0,0353	1	0,001
Mètre cube (m ³)		264,2	220,0	6,289	35,3147	1 000,0	1

Combustibles et produits énergétiques

- Quelles sont les unités utilisées pour exprimer l'électricité et la chaleur ?
- Électricité :
- Chaleur :
- Combustibles :

Combustibles et produits énergétiques

- Questions
 - Quelles sont les unités d'énergie?
 - Richard Feynman on Energy units
<https://www.youtube.com/watch?v=roX2NXDUTsM>

Combustibles et produits énergétiques

- Les unités d'énergie

<i>En:</i>	TJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
<i>De :</i>	<i>multiplier par :</i>				
<i>Térajoule (TJ)</i>	1	238,8	$2,388 \times 10^{-5}$	947.8	0,2778
<i>Gigacalorie</i>	$4,1868 \times 10^{-3}$	1	10^{-7}	3,968	$1,163 \times 10^{-3}$
<i>Mtep*</i>	$4,1868 \times 10^4$	10^7	1	$3,968 \times 10^7$	11630
<i>Million Btu</i>	$1,0551 \times 10^{-3}$	0,252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$
<i>Gigawattheure</i>	3.6	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3412	1

*Million de tonnes équivalent pétrole.

Combustibles et produits énergétiques

Approximate conversion factors

Crude oil*

From	To				
	tonnes (metric)	kilolitres	barrels	US gallons	tonnes per year
			Multiply by		
Tonnes (metric)	1	1.165	7.33	307.86	-
Kilolitres	0.8581	1	6.2898	264.17	-
Barrels	0.1364	0.159	1	42	-
US gallons	0.00325	0.0038	0.0238	1	-
Barrels per day	-	-	-	-	49.8

*Based on worldwide average gravity.

Products

	To convert			
	barrels to tonnes	tonnes to barrels	kilolitres to tonnes	tonnes to kilolitres
			Multiply by	
Liquefied petroleum gas (LPG)	0.086	11.6	0.542	1.844
Gasoline	0.118	8.5	0.740	1.351
Kerosene	0.128	7.8	0.806	1.240
Gas oil/diesel	0.133	7.5	0.839	1.192
Fuel oil	0.149	6.7	0.939	1.065

Natural gas (NG) and liquefied natural gas (LNG)

From	To					
	billion cubic metres NG	billion cubic feet NG	million tonnes oil equivalent	million tonnes LNG	trillion British thermal units	million barrels oil equivalent
			Multiply by			
1 billion cubic metres NG	1	35.3	0.90	0.74	35.7	6.60
1 billion cubic feet NG	0.028	1	0.025	0.021	1.01	0.19
1 million tonnes oil equivalent	1.11	39.2	1	0.82	39.7	7.33
1 million tonnes LNG	1.36	48.0	1.22	1	48.6	8.97
1 trillion British thermal units	0.028	0.99	0.025	0.021	1	0.18
1 million barrels oil equivalent	0.15	5.35	0.14	0.11	5.41	1

7,33 barils / tonne

Units

1 metric tonne	= 2204.62lb
	= 1.1023 short tons
1 kilolitre	= 6.2898 barrels
	= 1 cubic metre
1 kilocalorie (kcal)	= 4.187kJ
	= 3.968Btu
1 kilojoule (kJ)	= 0.239kcal
	= 0.948Btu
1 British thermal unit (Btu)	= 0.252kcal
	= 1.055kJ
1 kilowatt-hour (kWh)	= 860kcal
	= 3600kJ
	= 3412Btu

Calorific equivalents

One tonne of oil equivalent equals approximately:

Heat units	10 million kilocalories
	42 gigajoules
	40 million British thermal units
Solid fuels	1.5 tonnes of hard coal
	3 tonnes of lignite
Gaseous fuels	See Natural gas and liquefied natural gas table
Electricity	12 megawatt-hours

One million tonnes of oil or oil equivalent produces about 4400 gigawatt-hours (= 4.4 terawatt-hours) of electricity in a modern power station.

1 barrel of ethanol = 0.57 barrel of oil
1 barrel of biodiesel = 0.88 barrel of oil

Combustibles et produits énergétiques

- Les unités d'énergie

Vous trouverez des tables de conversion plus complètes et précises à :

[OnlineConversion.com](https://www.onlineconversion.com)

[Smetric.co.uk](https://www.smetric.co.uk)

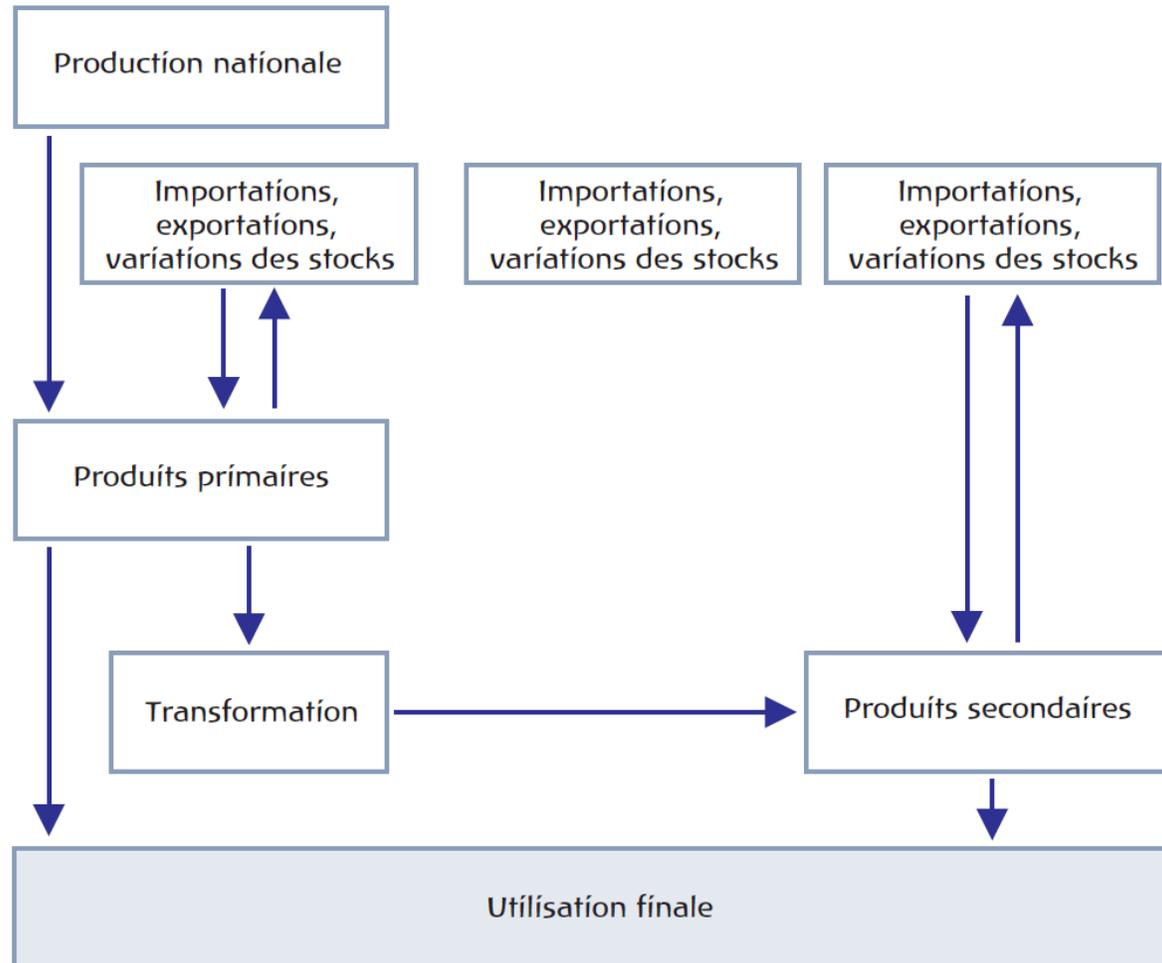
**Combien y a-t-il de baril de pétrole dans une tonne de pétrole?
Combien de m³ dans un baril?**

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Combustibles et produits énergétiques
- ***Flux de produit***
- Bilan par produit
- Conclusion

Flux de produits

- Qu'est-ce qu'un « flux de produit »?



Flux de produits

- Quels sont les principaux flux considérés dans les statistiques énergétiques?
 - Production :
 - combustibles, électricité et chaleur primaires
 - Commerce extérieur :
 - importations, exportations
 - Soutages maritimes internationaux :
 - les quantités de pétrole livrées aux navires pour leur consommation lors de trajets internationaux (combustibles de soute) représentent un cas spécial de flux de pétrole à partir d'un pays .

Flux de produits

- Quels sont les principaux flux considérés dans les statistiques énergétiques?
 - Stocks :
 - Les stocks de combustibles servent à préserver le fonctionnement de l'économie lorsque l'offre ou la demande varient de telle sorte qu'elles ne correspondent plus.
 - Les stocks sont maintenus par les fournisseurs de combustibles pour couvrir les fluctuations de la production et/ou des importations de combustibles ainsi que des commandes de combustibles.

Flux de produits

- Quels sont les principaux flux considérés dans les statistiques énergétiques?
 - Transformation des combustibles :
 - La transformation ou la conversion d'un combustible consiste à modifier un combustible primaire, par des moyens physiques et/ou chimiques, en un produit énergétique secondaire mieux adapté aux usages auxquels le produit secondaire est destiné.

Flux de produits

- Quels sont les principaux flux considérés dans les statistiques énergétiques?
 - Consommation finale :
 - La consommation finale de combustibles englobe leur utilisation à des fins de **chauffage** et à des fins **non énergétiques**.
 - Les combustibles utilisés pour produire de l'électricité et de la chaleur à des fins commerciales, ainsi que les quantités d'énergie produites, sont exclues de la consommation finale et prises en considération dans le secteur de la transformation (page précédente).

Flux de produits

- Quels sont les principaux flux considérés dans les statistiques énergétiques?
 - Consommation finale :
 - La consommation finale de combustibles englobe :
 - Industrie, transport, agriculture, résidentiel, commercial, institutionnel.
 - Usages non énergétiques des combustibles :
 - en tant que matières premières pour la fabrication de produits (solvants, graisses, médicaments, pharmacie, alimentation)

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Combustibles et produits énergétiques
- Flux de produits
- ***Bilan par produit***
- Conclusion

Bilan par produit

- Comment les données sur l'énergie sont-elles présentées?
 - Le format le plus fréquemment utilisé pour présenter des données relatives à un produit énergétique est le **bilan** dans lequel les **sources d'approvisionnement** pour chaque produit et les usages qui en sont faits sont mentionnés dans une même colonne.

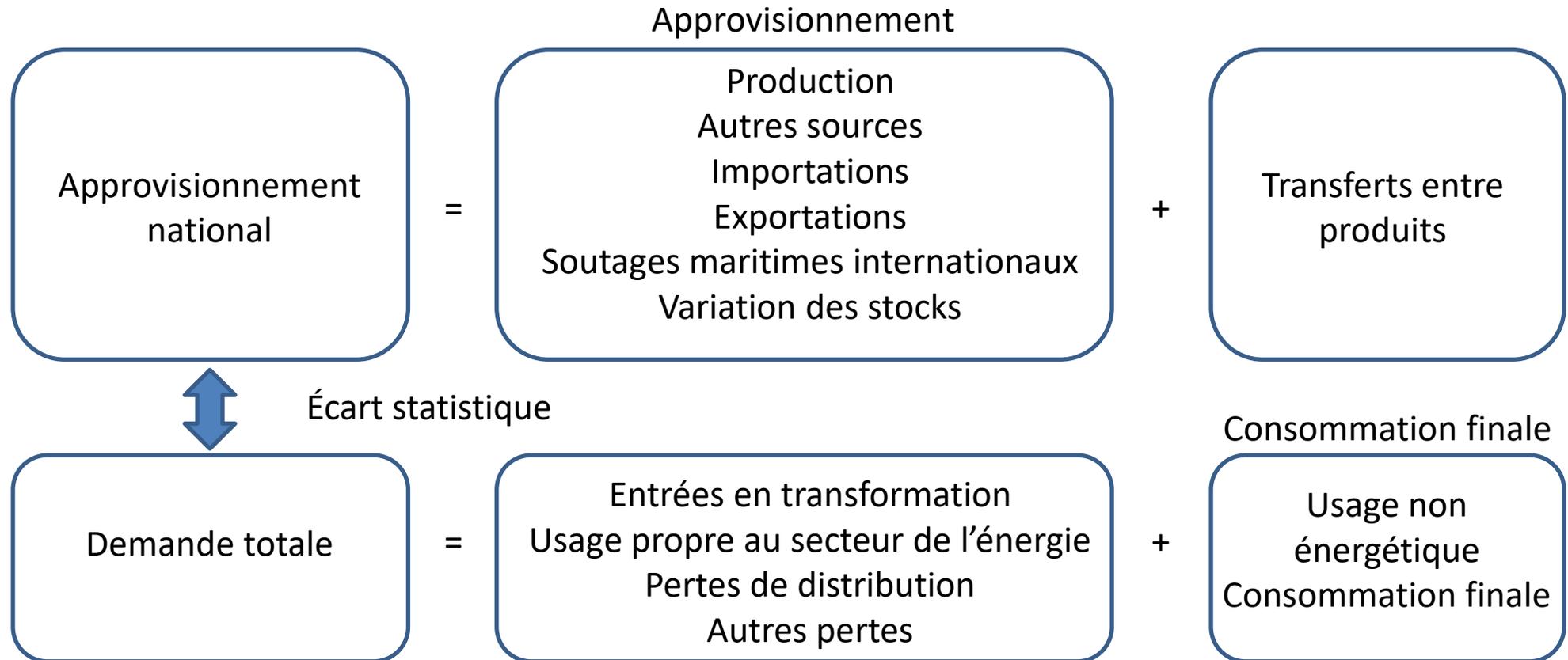
Bilan par produit

- Comment les données sur l'énergie sont-elles présentées?
 - Sur le plan du concept, le format du bilan est identique à un compte de caisse, où les sources de revenus doivent, une fois additionnées, correspondre au total des dépenses après avoir pris en considération les variations dans les dépôts en espèces.
 - Le format du bilan convient aux produits énergétiques pour autant qu'ils soient homogènes partout dans ce bilan.

AIE, Manuel sur les statistiques énergétiques

Bilan par produit

- Structure du bilan national par produit



Bilan par produit

- Structure du bilan par produit
 - Production :
 - Combustibles
 - Les combustibles peuvent être produits de bien des façons : mine souterraine pour le charbon, plateformes off-shore pour le pétrole, forêt pour le bois de chauffage, etc.
 - La production de combustibles fossiles primaires est généralement calculée près du point d'extraction dans les réserves.
 - Les quantités produites doivent être mesurées lorsque les combustibles sont à l'état commercialisable.
 - Toute quantité qui n'est pas conservée pour être utilisée ou vendue doit être exclue du chiffre de production.

Bilan par produit

- Structure du bilan par produit
 - Production :
 - Électricité et chaleur primaires
 - La quantification de la production d'électricité et de chaleur primaire est étroitement liée à la définition de ces deux formes d'énergie dans les différentes conditions de leur exploitation.
 - En général, le point de production statistique choisi est le plus approprié possible pour mesurer la production et le plus possible en aval à partir du captage du flux énergétique avant qu'il ne soit utilisé.
 - Par exemple, pour l'hydroélectricité, ce sera l'électricité générée aux alternateurs actionnés par les turbines hydrauliques.

Bilan par produit

- Structure du bilan par produit
 - Un exemple

CONSUMMATION FINALE	1 513 901
SECTEUR INDUSTRIE	661 262
Sidérurgie	39 614
Chimie et pétrochimie	199 241
dont : matières premières	103 146
Métaux non ferreux	17 180
Produits minéraux non métalliques	78 163
Matériel de transport	-
Machines	74 125
Industries extractives	6 449
Produits alimentaires, boissons et tabac	106 468
Imprimerie, pâtes et papiers	66 401
Bois et ouvrages en bois	-
Construction	2 371
Textiles et cuir	19 183
Non spécifié	52 067
TRANSPORTS	28
Aviation civile internationale	-
Transports aériens nationaux	-
Transport routier	14
Transport ferroviaire	-
Transport par conduites	-
Navigation Intérieure	-
Non spécifié	14
AUTRES SECTEURS	852 611
Agriculture	11 729
Commerce et services publics	399 324
Secteur résidentiel	441 558
Non spécifié	-
USAGE NON ÉNERGÉTIQUE	-
Industrie/transformation/énergie	-
Transport	-
Autres secteurs	-

Graphique 1.8 • Comparaison des formats d'Eurostat et de l'AIE pour le gazole/diesel

FRANCE 1999	GAZOLE/DIESEL	kilotonnes
Format d'Eurostat	Format de l'AIE	
Production primaire	-	Production 32 621
Récupération	-	Autres sources -
Importations	11 668	Importations 11 668
Variation des stocks	1 213	Exportations -2 230
Exportations	-2 230	Soutages maritimes internationaux -419
Soutes	-419	Variation des stocks 1 213
Consommation intérieure brute	10 232	APPROVISIONNEMENT NATIONAL 42 853
Entrées en transformation	48	Transferts -529
Centrales thermiques publiques	18	Écart statistique 2 265
Centrales thermiques des autoproducteurs	23	TRANSFORMATION 384
Centrales nucléaires	-	Centrales électriques 41
Fabriques d'agglomérés et de briquettes	-	Centrales de cogénération -
Cokeries	-	Centrales calogènes -
Hauts fourneaux	-	Hauts fourneaux/usines à gaz -
Usines à gaz	-	Cokeries/Fabriques d'agglomérés et briquettes -
Raffineries	-	Raffineries de pétrole -
Centrales de chauffage	-	Industrie pétrochimique 336
Sorties de transformation	32 621	Unités de liquéfaction du gaz -
Centrales thermiques publiques	-	Autre secteur de la transformation 7
Centrales thermiques des autoproducteurs	-	SECTEUR ÉNERGIE 4
Centrales nucléaires	-	Mines de charbon -
Fabriques d'agglomérés et de briquettes	-	Extraction de pétrole et de gaz -
Cokeries	-	Raffineries de pétrole 4
Hauts fourneaux	-	Centrales électriques et calogènes -
Usines à gaz	-	Pompage -
Raffineries	32 621	Autre secteur de l'énergie -
Centrales de chauffage	-	Pertes de distribution -
Echanges, transferts, restitutions	-865	CONSUMMATION FINALE 44 201
Échanges entre produits	0	SECTEUR INDUSTRIE 2 475
Produits transférés	-529	Sidérurgie 35
Restitutions de la pétrochimie	-336	Chimie et pétrochimie 1 383
Consommation de la branche énergie	4	dont : matières premières 1 383
Pertes sur les réseaux	-	Métaux non ferreux 15
Disponible pour la consommation finale	41 936	Produits minéraux non métalliques 122
Consommation finale non énergétique	1 383	Matériel de transport 48
Chimie	1 383	Machines 152
Autres	-	Industries extractives 1
Consommation énergétique finale	42 818	Produits alimentaires, boissons et tabac 110
Industrie	1 092	Imprimerie, pâtes et papiers 14
Sidérurgie	35	Bois et ouvrages en bois -
Métaux non ferreux	15	Construction 409
Chimie	0	Textiles et cuir 38
Produits minéraux non métalliques	122	Non spécifié 148
Extraction	1	TRANSPORT 26 801
Alimentation, boisson, tabac	110	Aviation civile internationale -
Textiles, cuir, habillement	38	Transports aériens nationaux -
Papier et imprimerie	14	Transport routier 25 948
Fabrications métalliques	200	Transport ferroviaire 368
Autres industries	557	Transport par conduites -
Transports	26 801	Navigation Intérieure 485
Ferroviaires	368	Non spécifié -
Routiers	25 948	AUTRES SECTEURS 14 925
Aériens	-	Agriculture 2 026
Navigation Intérieure	485	Commerce et services publics 4 450
Foyers domest. ; commerce, adm., etc.	14 925	Secteur résidentiel 8 442
Foyers domestiques	8 442	Non spécifié 7
Agriculture	2 026	USAGE NON ÉNERGÉTIQUE
Écart statistique	-2 265	Industrie/transformation/énergie -
		Transport -
		Autres secteurs -

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Combustibles et produits énergétiques
- Flux de produit
- Bilan par produit
- ***Conclusion***

Conclusion

- Cette présentation se concentre sur les divers combustibles et produits énergétiques qui sous-tendent le marché global de l'énergie.
- Plusieurs de ces combustibles et produits énergétiques, parmi les plus de 60 différents répertoriées par l'AIE, sont des dérivées du pétrole, du gaz et du charbon.
- Cette nomenclature supporte les présentations antérieures et ouvre la voie à la suivante qui concerne les bilans énergétiques.



Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

