

## 9.3 Faits et chiffres

# Les consommations d'énergie en France

### Résumé

Ce dossier de la série spéciale "Faits et chiffres", présente un ensemble d'informations sur les consommations d'énergie en France : demande socio-économique, énergie finale, énergie primaire ; du côté du consommateur final ; fourniture d'électricité ; les productions et consommations d'énergie primaire ; comparaisons et substitutions - la dépendance énergétique.

**Mots clés :** énergie, énergie finale, énergie primaire, énergie renouvelable, gaz à effet de serre, services.

### L'auteur

**Bernard Laponche** est consultant indépendant, expert en politique de l'énergie. Il a été Directeur général de l'AFME (devenue ensuite ADEME) dans les années 1980, puis directeur du bureau d'études ICE (International Conseil Energie) entre 1988 et 1998. Il exerce ses activités en France et au niveau international (notamment Europe centrale et orientale, CEI, Maghreb). Il est président du Comité directeur du programme Efficacité énergétique 21 de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies.

**Les sources :** Elles sont relatives à l'année 2004 et proviennent pour l'essentiel de la banque de données Enerdata®. Enerdata est un bureau d'études et de conseil indépendant spécialisé dans les secteurs de l'énergie et de l'environnement. Sa banque de données internationale est opérationnelle depuis 1986. [info@enerdata.fr](mailto:info@enerdata.fr)

## I - DEMANDE SOCIO-ÉCONOMIQUE, ÉNERGIE FINALE, ÉNERGIE PRIMAIRE

La plupart des activités humaines nécessitent, à des degrés divers, une consommation d'énergie, soit par utilisation directe pour certains usages, soit pour permettre la production des biens et des services qui leur sont associés : agriculture, élevage, pêche ; préparation, conservation et chauffage ou rafraîchissement des logements, des ateliers, des bureaux, des commerces ; production et transformation des matières premières, production et transformation de l'énergie ; construction des bâtiments et des infrastructures ; fabrication d'équipements et d'appareils ; systèmes de transport ; moyens d'information et de communication... L'énergie est utilisée sous différentes formes : la chaleur, le froid, l'énergie mécanique (fixe ou mobile), la lumière, l'énergie électromagnétique, l'énergie chimique.

Le système énergétique d'un pays est constitué de l'ensemble des activités et des opérations qui permettent de satisfaire les besoins en produits et en services énergétiques des activités économiques et sociales. Il est constitué d'un faisceau de filières énergétiques, chacune représentant le trajet qui va de la ressource énergétique de base (matière première

ou force naturelle) au produit énergétique particulier permettant de satisfaire ces besoins. chaque besoin socio-économique peuvent correspondre plusieurs "filières énergétiques", chaque filière représentant le trajet qui va du besoin socio-économique de développement dont la satisfaction requiert une certaine consommation d'énergie à la ressource énergétique de base permettant de procurer cette énergie à l'utilisateur. Le système énergétique englobe donc toutes les opérations d'approvisionnement (production ou importation), de transformation (raffinage, production d'électricité) et de consommation.

On désigne de façon différente les produits énergétiques selon le stade auquel ils apparaissent dans les filières énergétiques. Les deux principaux stades, que l'on retrouve dans les statistiques de production et de consommation d'énergie, sont celui de l'énergie finale et celui de l'énergie primaire. Le stade de "l'énergie finale" correspond aux produits énergétiques qui sont livrés au consommateur : dans certains cas, le produit final peut être identique au produit primaire (ou très proche : c'est le cas du gaz naturel) ; dans la plupart des cas le produit final résulte d'une transformation effectuée à partir des produits primaires : c'est le cas de l'électricité produite par les centrales à combustibles fossiles et des carburants produits à partir du pétrole dans les raffineries.

Le stade de "l'énergie primaire" correspond aux formes sous lesquelles la nature livre l'énergie : énergie chimique contenue dans une ressource fossile (charbon, pétrole, gaz naturel) ou dans la biomasse (bois, végétaux, déchets) ; énergie mécanique de l'eau ou du vent (hydraulique, éolien) ; énergie thermique de l'eau chaude du sous-sol (géothermie) ou du rayonnement solaire ; énergie photovoltaïque solaire ; énergie nucléaire du noyau de l'atome d'uranium...

Les produits énergétiques utilisés par les consommateurs peuvent être dans certains cas produits et consommés directement sur place, sans intervention de distributeurs ou vendeurs d'énergie : c'est le cas pour la chaleur produite par un chauffe-eau solaire installé à côté du bâtiment ou sur son toit, du bois de chauffage hors du circuit commercial, dans de rares cas et pour des consommations très faibles, de l'électricité produite par une installation "domestique" : micro-hydraulique ou photovoltaïque, voire petite éolienne. Ces situations devraient se rencontrer de façon croissante dans le futur mais pour l'instant, elles restent marginales (sauf pour le bois énergie).

Mais pour la très grande majorité des produits énergétiques, ils sont livrés et vendus au consommateur par des distributeurs d'énergie, soit par des réseaux (réseau électrique, réseau de gaz naturel, réseau de chaleur), soit dans des points de vente (essence, GPL, charbon, bois) : ce sont les activités de distribution et de transport des produits énergétiques entre les lieux de production ou d'approvisionnement par importation et le lieu de consommation finale. Ces activités sont celles du "secteur énergétique" dont il faut connaître et analyser les consommations d'énergie afin de passer de l'énergie finale à l'énergie primaire.

Les activités industrielles et commerciales du "secteur énergétique" recouvrent la production, la transformation, le transport et la distribution des produits énergétiques qui sont fournis à l'utilisateur : ces activités permettent le passage de l'énergie primaire à l'énergie finale. Le secteur énergétique est lui-même consommateur d'énergie et la part la plus importante de cette consommation revient à la production d'électricité. L'analyse des consommations du secteur énergétique et surtout du système de production de l'électricité et de la façon de les comptabiliser permet de comprendre le passage entre consommation d'énergie finale et consommation d'énergie primaire. C'est le traitement du secteur de la production d'électricité qui est le plus complexe : il est présenté dans un chapitre particulier.

## II. DU CÔTÉ DU CONSOMMATEUR FINAL

Le consommateur final – industries, entreprises ou établissements du secteur tertiaire, logements, exploitations agricoles, moyens de transport – consomme directement des produits énergétiques divers pour différents usages. La quantité de chaque produit énergétique consommé est exprimée avec une unité particulière qui mesure tantôt son poids, tantôt son volume, tantôt la quantité d'énergie produite par son utilisation : le kilowattheure apparaît sur les factures de gaz, d'électricité et de chaleur (dans le cas du chauffage collectif, notamment par réseau de chaleur) ; l'essence est comptée en litres, le charbon et le fuel en tonnes, le bois en stères...

Pour comparer ou additionner les quantités de chacun de

<sup>1</sup> Ainsi 1 tonne d'essence "vaut" 1,05 tep et 1 tonne de fuel lourd 0,95 tep.

<sup>2</sup> 12 Mtep dans la chimie.

ces produits énergétiques, on doit utiliser une unité commune. L'unité officielle d'énergie est le Joule (J) mais, par commodité (parce que c'est plus "parlant" et parce que le pétrole est l'énergie dominante), on utilise la "tonne équivalente pétrole" (tep). Les conversions en tep des autres unités particulières se font sur la base du pouvoir calorifique de chaque produit énergétique.

Ainsi, 1 tonne de produit pétrolier vaut environ 42 milliards de Joules (GJ ou gigajoule) et 1 tep, mais chaque produit pétrolier particulier (essence, fioul, etc.) a un coefficient de conversion différent (mais proche de 1). De même, 1 000 kWh valent 3,6 GJ et 0,086 tep.

La consommation d'énergie finale est la somme des consommations d'énergie des cinq secteurs d'activité : industrie, transports, résidentiel, tertiaire, agriculture.

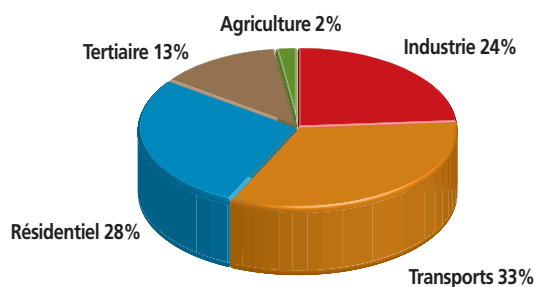
En 2005, la consommation finale d'énergie était égale à **160 Mtep**.

**Remarque** : dans certaines présentations des statistiques énergétiques, la consommation des produits énergétiques (essentiellement produits pétroliers et gaz) pour des usages non énergétiques (utilisation de produits énergétiques comme matières premières, essentiellement produits pétroliers et gaz dans la chimie<sup>2</sup>), est comptabilisée dans la consommation finale d'énergie, sous la rubrique : "usages non énergétiques". En 2005, cette consommation était de 16,5 Mtep. Elle doit être prise en compte lorsque l'on "remonte" de l'énergie primaire à l'énergie finale car elle est incluse dans celle-ci.

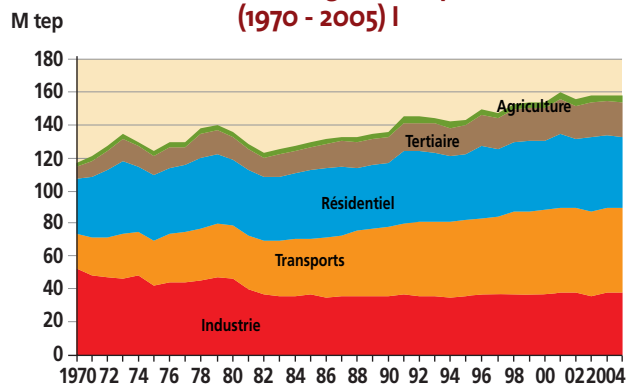
### II.1 Consommation énergétique finale par secteur en 2005

La figure suivante montre la décomposition de la consommation d'énergie finale par secteur d'utilisation.

**Consommation d'énergie finale par secteur (2005 : 158 M tep)**

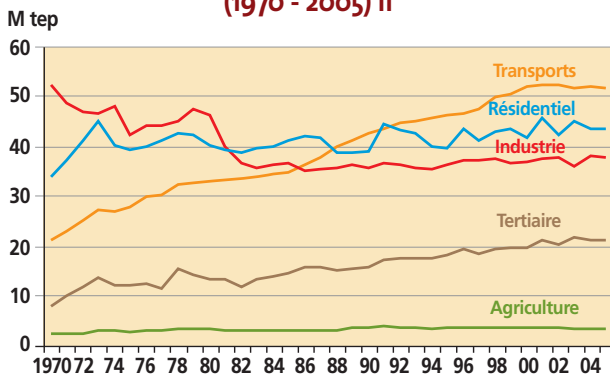


**Consommation d'énergie finale par secteur (1970 - 2005) I**



On voit bien sur la courbe d'évolution de la consommation finale la marque des deux "chocs pétroliers" de 1973-74 et 1979-80 et la remontée de la consommation dès la baisse de prix du pétrole du milieu des années 80.

### Consommation d'énergie finale par secteur (1970 - 2005) II

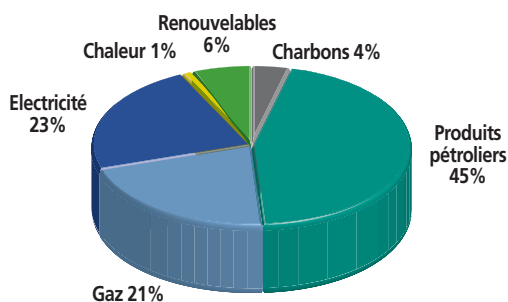


La consommation de l'industrie a décliné jusqu'au milieu des années 80 et s'est pratiquement stabilisée depuis. La consommation du secteur résidentiel, stabilisée sur les années 80 et 90, connaît une légère croissance depuis la fin des années 90. Le secteur Tertiaire est en croissance régulière sur l'ensemble de la période. Le plus frappant est la croissance du secteur des transports, ininterrompue entre 1970 et 2000 (malgré les légères inflexions dues aux chocs pétroliers) mais avec une relative stabilisation depuis 2000.

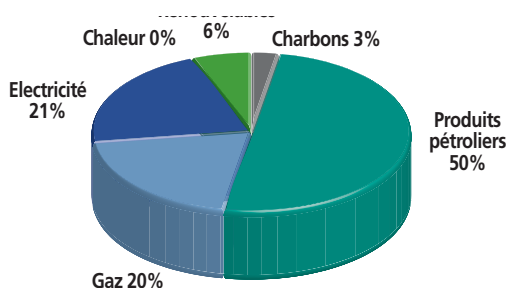
### II.2 Consommation énergétique finale par produit en 2005

Les figures suivantes montrent la décomposition de la consommation d'énergie finale par produit. Dans la figure de gauche ne sont prises en compte que les consommations énergétiques; dans celle de droite, on tient compte des consommations non énergétiques (produits pétroliers et gaz).

#### Consommation d'énergie finale par produit (2005 : 158 M tep) sans "non énergétiques"



#### Consommation d'énergie finale par produit (2005 : 175 M tep) avec "non énergétiques"

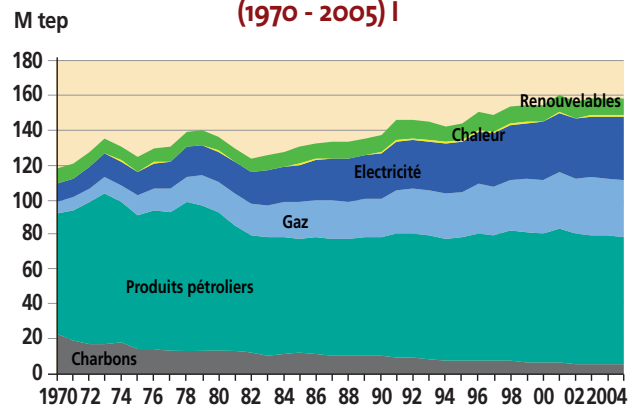


La rubrique "Renouvelables" représente la contribution des énergies renouvelables thermiques : essentiellement biomasse (bois et déchets) mais également géothermie et solaire thermique. La rubrique "Chaleur" représente la chaleur fournie au consommateur par des réseaux de chaleur.

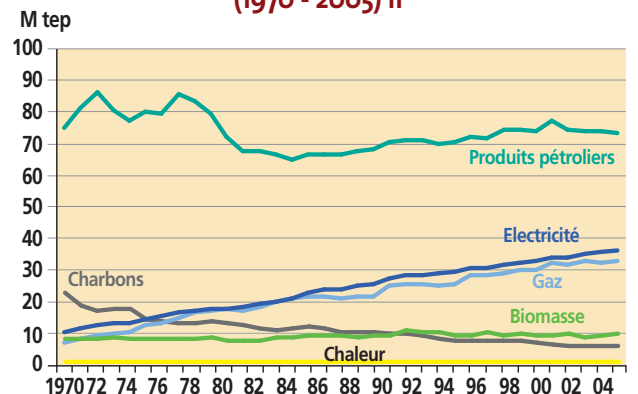
Les produits pétroliers représentent la moitié de la consommation finale (45% de la consommation énergétique, 50% si l'on intègre les consommations non énergétiques), loin devant l'électricité et le gaz qui représentent environ un cinquième chacun.

La figure suivante représente l'évolution de la consommation totale par produit, sans les usages non énergétiques, ainsi que l'évolution des consommations de produits pétroliers et de gaz pour les usages non énergétiques.

### Consommation d'énergie finale par produit (1970 - 2005) I



### Consommation d'énergie finale par produit (1970 - 2005) II

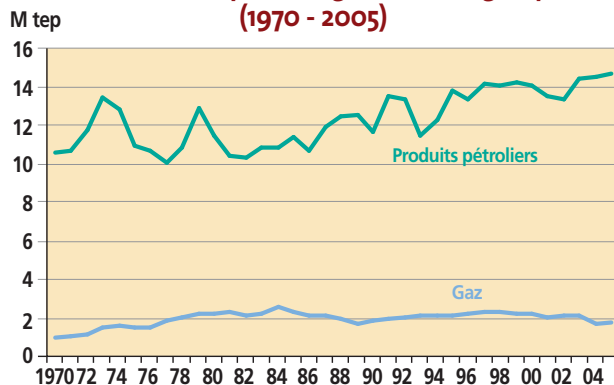


Le point le plus marquant de l'évolution de la consommation finale par produit est la baisse de la consommation des produits pétroliers à la suite des deux chocs pétroliers des années 70, suivie d'une stabilisation durant les années 80, puis d'une lente mais régulière remontée dans les années 90 et 2000.

Les consommations respectives de gaz et d'électricité connaissent curieusement des valeurs identiques tout au long de la période 1970-2005.

La figure suivante présente l'évolution des consommations de produits pétroliers et de gaz pour les usages non énergétiques.

## Consommation pour usages non énergétiques (1970 - 2005)



### II.3 Le bilan de la consommation d'énergie finale

Le tableau suivant présente le tableau croisé de la consommation d'énergie finale, par secteur et par produit.

Bilan par produit et par secteur de la consommation d'énergie finale en 2005 (Mtep)									
Secteur d'activités	Produit énergétique						Total	Part** (%)	Part*** (%)
	Charbon	Produits pétrolier	Gaz	Électricité	Chaleur	Biomasse			
Industrie	5,4	5,0	14,7	11,3	-	1,4	37,7	23,8%	21,6%
Transports	-	50,1	0,1	1,0	-	0,4	51,6	32,6%	29,5%
Résidentiel	0,4	10,2	12,5	12,9	0,4*	7,4	43,8	27,7%	25,1%
Tertiaire	-	5,0	5,2	10,5	0,4*	0,5	21,6	13,7%	12,4%
Agriculture	-	2,7	0,3	0,3	-	0,1	3,4	2,2%	1,9%
<b>Total énergétique</b>	<b>5,8</b>	<b>72,9</b>	<b>32,8</b>	<b>36,0</b>	<b>0,8</b>	<b>9,7</b>	<b>158,1</b>	<b>100%</b>	
Part** (%)	3,7%	46,2%	20,7%	22,8%	0,5%	6,1%	100%		
<b>Non énergétique</b>	-	14,7	1,8	-	-	-	16,5		9,5%
<b>Total</b>	<b>5,8</b>	<b>87,7</b>	<b>34,6</b>	<b>36,0</b>	<b>0,8</b>	<b>9,7</b>	<b>174,6</b>		
Part *** (%)	3,3%	50,2%	19,8%	20,6%	0,5%	5,6%	100%		100%

\* Le total de la consommation de chaleur de réseau est réparti arbitrairement à part égale entre le résidentiel et le tertiaire.

\*\* Part dans le total énergétique. \*\*\* Part dans le total

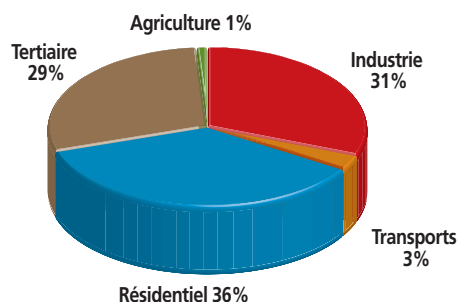
Les enseignements les plus marquants de ce bilan sont :

- Les produits pétroliers représentent 97% de la consommation d'énergie des Transports : ce secteur est donc presque totalement dépendant de l'approvisionnement pétrolier.
- La consommation des produits pétroliers pour les transports représente 57% de la consommation totale de produits pétroliers. Une contrainte sur l'approvisionnement pétrolier pèse donc essentiellement sur les transports.
- La consommation d'électricité de l'ensemble "résidentiel et tertiaire" représente 65% de la consommation finale d'électricité.

### II.4 La consommation finale d'électricité

La consommation finale d'électricité s'exprime en kWh. On utilise couramment comme unité le milliard de kWh ou TeraWattheure : TWh.

#### Consommation finale d'électricité par secteur en 2005



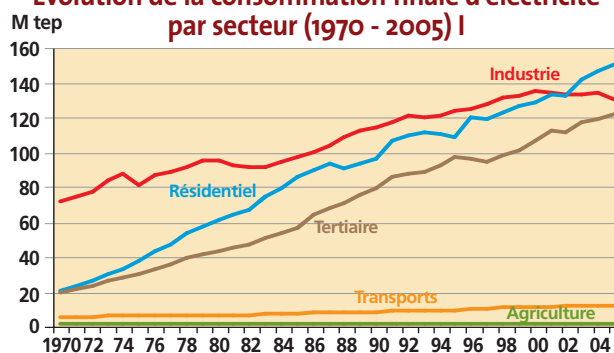
Consommation finale d'électricité par secteur						
	Industrie	Transports	Résidentiel	Tertiaire	Agriculture	Total
TWh	130,9	12,1	150,2	122,4	3,3	419,1
%	31,2%	2,9%	35,8%	29,2%	0,1%	100%

La consommation d'électricité par le consommateur final est de 419 TWh. L'ensemble résidentiel et tertiaire est le plus gros consommateur (65%), loin devant l'industrie.

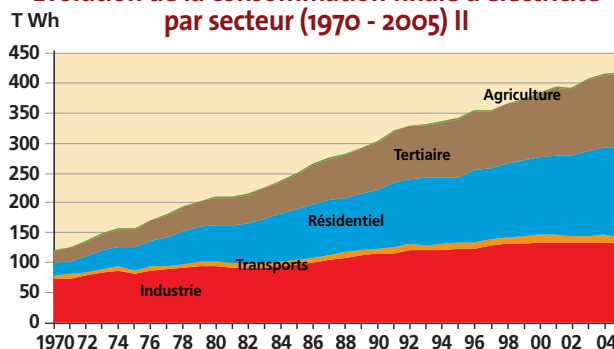
Contrairement à l'idée reçue d'une progression de caractère exponentiel<sup>3</sup> (tant % par an), l'évolution de la consommation d'électricité est pratiquement linéaire sur l'ensemble de la période, avec de faibles fluctuations. La quantité d'augmentation annuelle de la consommation sur la base de cette progression linéaire est de 11,7 TWh (ce qui représente une augmentation de 9% par an en 1970 et de 2,8% en 2005).

L'évolution de la consommation par secteur montre une augmentation générale mais beaucoup plus faible dans l'industrie que dans l'ensemble résidentiel et tertiaire : augmentation du chauffage électrique, de l'électroménager et de l'audiovisuel.

#### Évolution de la consommation finale d'électricité par secteur (1970 - 2005) I



#### Évolution de la consommation finale d'électricité par secteur (1970 - 2005) II



### III - FOURNITURE DE L'ÉLECTRICITÉ

La production d'électricité est exprimée en kWh. On utilise en général le milliard de kWh ou TWh (TeraWattheure).

#### III.1 La production brute d'électricité

##### Répartition des sources de production

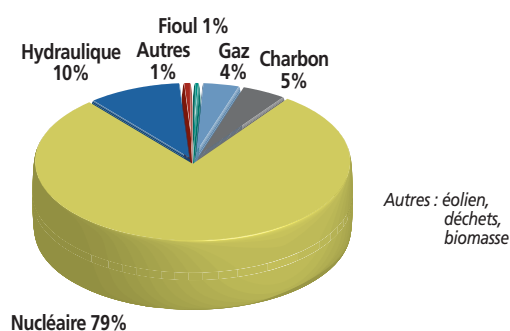
Le tableau suivant présente la contribution de chaque source d'énergie dans la production d'électricité ainsi que la quantité de combustible nécessaire pour cette production (Mtep de fioul, gaz, charbon). Cette quantité ne figure pas pour l'uranium, comme nous l'expliquons plus loin.

	Fioul	Gaz	Charbon	Uranium	Hydr.*	Eolien	Autres**	Total
TWh	7,6	23,6	28,8	451,5	56,4	0,9	6	575
%	1,3%	4,1%	5,0%	78,5%	9,8%	0,2%	1,0%	100%
Mtep***	1,9	5,6	7,3	-	0	0	1,8	16,6

\* Hydraulique; \*\* Essentiellement déchets, biomasse;

\*\*\* Mtep de combustible consommé

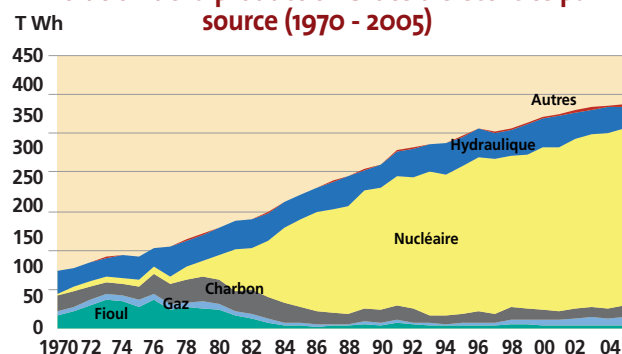
##### Production brute d'électricité par source (2005)



L'uranium, source primaire pour la production d'électricité d'origine nucléaire, n'apparaît nulle part dans la comptabilité énergétique.

La quantité d'uranium naturel consommée pour produire 1 TWh d'électricité dans les centrales nucléaires actuellement en fonctionnement en France<sup>4</sup> est de l'ordre de 25 tonnes. La consommation annuelle d'uranium naturel par le parc nucléaire français est donc de l'ordre de 11 000 tonnes. La conversion de ces tonnes en tep peut se faire sur la base de la chaleur produite dans le réacteur nucléaire (voir *chapitre 4*). Notons que cet uranium est entièrement importé.

##### Évolution de la production brute d'électricité par source (1970 - 2005)



Jusqu'à la fin des années 70, le pétrole est la source dominante (sa part atteint son maximum à 40% en 1973). À partir de là (démarrage de la centrale nucléaire de Fessenheim en 1977), le nucléaire s'accroît très rapidement pour atteindre une part de près de 80% dans les années 2000.

#### III.2 La consommation d'électricité du secteur énergétique

La consommation d'électricité du secteur énergétique comprend plusieurs composantes :

- L'autoconsommation des centrales électriques (pompes, etc.) : 24,8 TWh<sup>5</sup>
- La consommation du pompage (pour la production hydraulique) : 7,4 TWh
- Les pertes d'électricité dans le transport (lignes à haute et très haute tension) et la distribution (lignes à basse tension) : 33,3 TWh
- La consommation d'électricité des raffineries : 3,7 TWh
- Les consommations d'électricité des industries "amont" : 26,7 TWh, dont :
  - Extraction du pétrole et du gaz : 0,6 TWh
  - Extraction du charbon : 1,5 TWh
  - Industries du combustible nucléaire : 24,6 TWh<sup>6</sup>

Au total, la consommation d'électricité et les pertes d'électricité du secteur de l'énergie sont de 96 TWh.

On voit que la consommation du secteur nucléaire (industries du combustible plus autoconsommation) représente environ 50% de la consommation du secteur énergétique et que les pertes dans le transport et la distribution d'électricité représentent 35%.

#### III.3 Échanges d'électricité et consommation finale

En 2005, les échanges d'électricité ont été de 68 TWh d'exportation<sup>7</sup> et 8 TWh d'importations.

Le bilan net des échanges d'électricité est donc de 60 TWh d'exportation.

En règle générale, les exportations portent sur de l'électricité dite "en base" produite par les centrales nucléaires et les importations sur de l'électricité dite "de pointe" correspondant à des besoins de puissance élevée pendant des périodes plus ou moins courtes (pointe journalière ou pointe saisonnière).

La consommation finale d'électricité s'obtient en retranchant de la production brute les exportations nettes et la consommation du secteur de l'énergie :

$$575 - 60 - 96 = 419 \text{ TWh}$$

#### III.4 Contribution de l'électricité d'origine nucléaire à la consommation d'énergie finale

Les exportations d'électricité (68 TWh) sont presque exclusivement des exportations de la production d'origine

<sup>3</sup> Dans les années 70, la direction d'EdF mettait en avant la "règle" du doublement de la consommation d'électricité tous les dix ans (soit un taux d'augmentation immuable de 7% par an) pour justifier des projections très élevées de la consommation future d'électricité. Avec un tel raisonnement, la consommation d'électricité aurait dû atteindre 1000 TWh en 2000 (elle a été de 385 TWh).

<sup>4</sup> Centrales équipées d'un réacteur nucléaire à uranium enrichi et eau sous pression (REP : réacteur à eau pressurisée issu des réacteurs PWR américains).

<sup>5</sup> Dont environ 21 TWh pour les centrales nucléaires.

<sup>6</sup> Dont environ 95% pour l'enrichissement de l'uranium (usine Eurodif).

<sup>7</sup> Les valeurs des échanges peuvent varier de façon notable d'une année sur l'autre : en 2006, les exportations ont été de 90 TWh et les importations de 28 TWh (rapport de RTE : Réseau de transport de l'électricité).

nucléaire. La contribution du nucléaire à la consommation finale d'électricité s'obtient en soustrayant à la production brute l'autoconsommation des centrales (21 TWh), la part proportionnelle de la consommation du secteur de l'énergie (57 TWh) et les exportations (68 TWh) : elle est donc égale à 306 TWh, soit 73% de la consommation totale finale d'électricité.

Comme l'électricité représente 22,5% de la consommation d'énergie finale (sans les usages non énergétiques), la contribution du nucléaire à la consommation d'énergie finale est de 16,4%.

## IV - LES PRODUCTIONS ET CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE PRIMAIRE

### IV.1 Unités et règles de comptabilité

Les productions et consommations d'énergie primaire sont tout d'abord, comme pour l'énergie finale, exprimées en unités physiques différentes selon la source d'énergie : tonnes de charbon, m<sup>3</sup> de gaz naturel, tonne ou baril<sup>8</sup> de pétrole brut, etc. Afin de comparer les consommations entre elles et de déterminer la consommation totale, on utilise comme unité commune le joule et, par commodité, la tep.

Pour le charbon et le gaz qui ne subissent pas de transformations, la comptabilité énergie primaire suit les mêmes règles que pour l'énergie finale. Les quantités consommées sont obtenues par la somme des productions nationales, du bilan net des échanges (importations – exportations) et des variations éventuelles de stock.

On fait de même pour le pétrole brut (production nationale plus importations) et pour le bilan net des échanges de produits pétroliers : c'est l'ensemble qui est compté comme consommation primaire de pétrole.

La biomasse est comptée en énergie primaire comme en énergie finale, ainsi que la chaleur de réseau.

La question de l'électricité est plus complexe.

#### L'électricité produite directement, sans passer par la production de chaleur

L'électricité produite par l'hydraulique, l'éolien ou le photovoltaïque, et qui est désignée comme "électricité primaire", est comptabilisée en tep à partir des kWh produits, comme pour l'énergie finale (1 TWh = 0,086 Mtep). C'est ainsi que les 56,4 TWh de la production d'hydroélectricité "valent" 4,85 Mtep.

#### L'électricité produite par les centrales thermiques classiques

L'électricité qui est produite à partir des combustibles fossiles n'est pas comptabilisée en énergie primaire : ce sont les combustibles consommés dans les centrales

thermiques qui sont comptabilisés dans la consommation primaire correspondante : 1,9 Mtep de fuel (7,6 TWh); 5,6 Mtep de gaz (23,6 TWh); 7,3 Mtep de charbon (28,8 TWh).

#### L'électricité produite par les centrales nucléaires

Il devrait logiquement en être de même pour la production d'origine nucléaire puisque l'électricité y est produite à partir de la chaleur produite dans le réacteur nucléaire qui équipe la centrale. Une centrale nucléaire est une centrale thermique dont le réacteur joue le rôle de chaudière (on parle d'ailleurs pour le désigner de "chaudière nucléaire"). Mais au lieu que la chaleur soit produite par la combustion de charbon, gaz ou fioul, elle est produite par la fission de l'uranium.

L'uranium consommé pour produire l'électricité par ce procédé devrait donc apparaître comme énergie primaire et comptabilisé d'abord en tonne<sup>9</sup>, puis en tep, en utilisant comme coefficient de passage entre tonne et tep la chaleur produite dans le réacteur<sup>10</sup>.

L'électricité produite apparaîtrait alors en kWh comme celle produite par les centrales à combustible fossile, et la comptabilité de ces kWh se ferait normalement.

Ce n'est pas ainsi que procèdent les statistiques énergétiques, aussi bien françaises qu'internationales.

Tout d'abord, l'électricité produite par les centrales nucléaires est qualifiée "électricité primaire", ce qui est tout à fait injustifié puisqu'elle est produite à partir de la chaleur produite dans le réacteur nucléaire, comme dans une centrale thermique classique.

Mais comme il faut tenir compte du fait que cette production d'électricité est une transformation qui produit de l'électricité à partir de la chaleur mais rejette environ les deux tiers de cette chaleur sous forme de perte de refroidissement, l'énergie primaire associée à la production d'électricité d'origine nucléaire est la quantité de chaleur produite dans le réacteur. Le rendement d'une centrale nucléaire étant de l'ordre de 33%, le TWh produit par la centrale nucléaire "vaut" 0,26 Mtep.

La production de 451,5 TWh d'origine nucléaire est donc comptée 117,4 Mtep.

Il est donc essentiel que l'uranium apparaisse dans le bilan énergétique, d'une part pour la raison logique présentée ci-dessus et, d'autre part, afin de pouvoir calculer les dépenses financières que représente l'importation de l'uranium naturel (afin de l'intégrer dans la facture énergétique du pays au même titre que les importations de combustibles fossiles et d'électricité) ainsi que plus généralement, au niveau international, pouvoir comparer les consommations annuelles d'uranium naturel ainsi consommé aux réserves mondiales de cette ressource primaire.

<sup>8</sup> 1 tonne vaut environ 7 barils.

<sup>9</sup> Pour les centrales nucléaires françaises, la consommation d'uranium naturel (qui est "enrichi" avant d'être chargé dans le réacteur) est d'environ 25 tonnes pour produire 1 TWh.

<sup>10</sup> De la même façon que l'on exprime la tonne de charbon en tep à partir du pouvoir calorifique de ce combustible.

## IV.2 Le bilan énergétique de l'énergie primaire à l'énergie finale

Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers	Gaz	Elec.* primaire	Elec.**	Chaleur	Biomasse	TOTAL
<b>PRODUCTION PRIMAIRE</b>	<b>0,4</b>	<b>1,2</b>	<b>0</b>	<b>0,9</b>	<b>122,2</b>	<b>0</b>	<b>0,2</b>	<b>11,9</b>	<b>136,7</b>
Importation	13,5	84,1	38,3	42,1	0	0,7	0	0	178,7
Exportation	-0,7	0	-27,8	-0,8	0	-5,9	0	-0,1	-35,3
Soutes maritimes	0	0	-2,9	0	0	0	0	0	-2,9
Variation de stocks	1,2	-0,1	-1,6	-1,1	0	0	0	0	-1,6
<b>CONSOMMATION PRIMAIRE</b>	<b>14,4</b>	<b>85,2</b>	<b>6,1</b>	<b>41</b>	<b>122,2</b>	<b>-5,2</b>	<b>0,2</b>	<b>11,8</b>	<b>275,7</b>
Raffineries	0	-87,5	89,8	0	0	0	0	0	2,3
Centrales électriques	-7,3	0	-1,9	-5,8	-122,2	49,4	0,5	-1,8	-89,2
Autocons., pertes	-1,3	2,3	-6,4	-0,6	0	-8,3	0,2	-0,3	-14,3
<b>CONSOMMATION FINALE ***</b>	<b>5,8</b>	<b>0</b>	<b>87,6</b>	<b>34,6</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	<b>0,8</b>	<b>9,7</b>	<b>174,6</b>

\* Électricité "primaire" : hydraulique et nucléaire (production brute) \*\* Électricité : les échanges d'électricité \*\*\* Y compris les usages non énergétiques.

La ligne "centrales électriques" met en évidence :

- dans les quatre premières colonnes : les consommations de combustibles fossiles qui alimentent les centrales thermiques classiques.
- dans la cinquième colonne : la production brute d'électricité comptée en énergie primaire (hydraulique avec équivalence à 0,086 Mtep par TWh et nucléaire avec équivalence 0,26 Mtep par TWh).
- dans la sixième colonne : la production totale d'électricité (avec l'équivalence 0,086 Mtep par TWh).
- dans la septième colonne : la production de chaleur associée à la production d'électricité par cogénération et vendue en réseau.
- dans la huitième colonne : la consommation de biomasse pour la production d'électricité (essentiellement par cogénération).
- dans la neuvième colonne, la chaleur perdue produite dans les centrales thermiques fossiles et nucléaires du fait de la production d'électricité (chaleur transmise à la source froide).

que sera comptée en tep d'énergie primaire à une valeur comprise entre deux ou trois fois plus élevée pour la production d'origine thermique du fait du rendement des centrales thermiques (33% pour le nucléaire, 38% pour les meilleures centrales à charbon, 55% pour les centrales à cycle combiné au gaz naturel), soit que cette énergie primaire représente directement les quantités de combustibles fossiles utilisées, soit qu'elle représente la quantité d'uranium naturel utilisée comptée en tep de chaleur produite dans le réacteur nucléaire.

Cette question est importante pour différents types d'évaluations ou d'orientations de politique énergétique : l'appréciation de la contribution de chaque source d'énergie, l'appréciation de la dépendance énergétique et la signification de la fixation d'objectifs pour les consommations ou les productions d'énergie ou d'électricité.

### V.1 Comparaison des contributions des différentes productions d'électricité

Pour effectuer une comparaison réaliste entre les contributions des différentes sources et techniques de production d'électricité, la méthode la plus simple, dite "par substitution" consiste à calculer quelle quantité de combustible fossile (et de quel type) serait nécessaire, dans une centrale thermique de référence, pour produire la même quantité d'électricité qu'une centrale nucléaire, ou hydraulique, ou éolienne.

La centrale thermique de référence qui se développe actuellement partout dans le monde du fait de ses qualités techniques, économiques et environnementales est la centrale à cycle combiné au gaz naturel dont le rendement est en moyenne, actuellement, de 55%.

Pour ce qui concerne le nucléaire, la production d'électricité qu'il s'agit de "remplacer" est la production brute diminuée de l'autoconsommation et de la consommation des industries du combustible, soit 402 TWh. Pour l'hydraulique, elle est de 56 TWh et pour l'éolien de 0,94 TWh.

Des centrales à cycle combiné au gaz naturel nécessiteraient respectivement 731 TWh, 102 TWh et 2,8 TWh de gaz naturel pour assurer les productions d'électricité d'origine nucléaire, hydraulique et éolienne indiquées ci-dessus, soit respectivement 63 Mtep, 8,5 Mtep et 0,24 Mtep de gaz naturel. Cette équivalence "par substitution" permet de comparer des choses comparables (les mêmes kWh pro-

## V - COMPARAISONS ET SUBSTITUTIONS - LA DÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE

À condition de faire apparaître les consommations d'uranium et de considérer l'électricité d'origine nucléaire non comme une électricité "primaire" mais comme une électricité "d'origine thermique", la comptabilité de l'uranium en énergie primaire à partir de la chaleur produite par le réacteur nucléaire est correcte du point de vue physique.

Cela dit, il faut être extrêmement prudent lorsque l'on additionne ou que l'on compare des productions d'électricité d'origines différentes.

Cette différence est flagrante entre nucléaire et hydraulique (éolien et photovoltaïque également) du fait de l'appellation "électricité primaire" pour la production d'origine nucléaire, mais elle est vraie pour toutes les productions d'électricité par des centrales thermiques à combustibles fossiles ou d'origine nucléaire, lorsque celles-ci fonctionnent en production d'électricité seule et donc que la chaleur produite n'est pas utilisée (ce qui est le cas pour toutes les centrales nucléaires en France).

Une même quantité de kWh produits par une centrale thermique (fossile ou nucléaire) ou une centrale hydraulique

duits par deux techniques différentes) et d'apprécier le poids réel des contributions respectives du nucléaire, de l'hydraulique et de l'éolien par rapport à la même référence : la meilleure technique actuelle".

Cette méthode peut être également utilisée pour comparer des centrales thermiques classiques ou nucléaires entre elles. Elle permet de contourner le paradoxe que plus le rendement d'une centrale thermique est faible, plus sa contribution en énergie primaire est élevée, à valeur égale de production d'électricité.

## V.2 La dépendance énergétique

### Le "taux d'indépendance énergétique" officiel

Le taux d'indépendance énergétique est défini officiellement en France, pour une année donnée, comme le rapport de la production nationale à la consommation totale d'énergie primaire, ces consommations étant exprimées en tep (tonne équivalent pétrole). La simplicité de cette définition cache des hypothèses et des conventions qui mettent en cause la pertinence de cet indicateur comme sa méthode de calcul. Les valeurs des productions nationales et des échanges d'énergie s'établissent en 2005, suivant les conventions officielles de la comptabilité énergétique comme l'indique le tableau suivant.

Productions nationales et échanges d'énergie en 2001 (Mtep)							
	Charbon	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité nucléaire	Électricité hydraulique	Énergies renouvelables*	Total ****
Production nationale	0,4	1,2	0,9	117,4	4,9	12,1	136,7
Importations nettes	12,8	94,6	41,3	- 5,9 **	0	0	143,4
Variations de stock et soutes maritimes	1,2	-4,6	-1,1				-4,5
Consommation primaire***	14,4	91,3	41,1	111,5	4,9	12,1	275,5

\* Bois, déchets, géothermie, solaire thermique. \*\* Les exportations nettes d'électricité sont attribuées à la production d'origine nucléaire. \*\*\* Ou "disponibilités". \*\*\*\* Du fait des arrondis, le total n'est pas exactement égal à la somme des valeurs en colonne ou ligne.

La valeur du taux d'indépendance énergétique officiel s'établit donc à :

$$136,7 : 275,5 = 49,6\%.$$

Cette valeur est généralement interprétée, surtout dans le discours politique, comme traduisant le fait que la moitié de l'énergie consommée en France y est produite à partir des ressources nationales, dont l'essentiel est constitué par la production d'électricité d'origine nucléaire<sup>12</sup>.

Cela est cependant étonnant pour un pays qui importe la quasi-totalité du pétrole, du gaz naturel et du charbon qu'il consomme.

Évaluation trompeuse également car plus le rendement des centrales nucléaires est bas (il l'est actuellement : 33%), plus l'énergie primaire qui est utilisée pour ce calcul est élevée et donc "l'indépendance" meilleure.

Définition comme résultat paraissent à première vue une vision logique et "de bon sens" de la dépendance énergé-

tique. L'un et l'autre masquent la réalité de cette dépendance, ce qui conduit à des illusions lourdes de conséquences sur les orientations de la politique énergétique.

### Critiques sur la définition et l'évaluation actuelles

#### a) La comptabilité des échanges d'électricité

Dans le cadre même de cette définition, une première "curiosité" est à signaler : la production d'électricité d'origine nucléaire est comptée comme nous l'avons vu en "électricité primaire" et comptabilisée en tep avec le coefficient d'équivalence de 0,26 Mtep par TWh.

Par contre, les exportations d'électricité qui sont prises en compte dans la comptabilité primaire, sont comptées avec le coefficient d'équivalence de 0,086 Mtep par TWh. On compte donc en consommation primaire une quantité d'électricité d'origine nucléaire qui est surévaluée. La valeur correcte des exportations nettes devrait être 15,6 Mtep, ce qui aurait d'ailleurs pour effet d'augmenter la valeur officielle du "taux d'indépendance".

Il serait plus correct d'ailleurs d'exclure les exportations d'électricité du calcul sur la dépendance car si elles peuvent présenter un intérêt économique, elles ne compensent en aucune façon les importations de combustibles fossiles et en particulier les importations pétrolières.

#### b) L'importation de l'uranium

La disparition de l'uranium comme source d'énergie primaire évite de se poser la question de son importation. En effet, à partir du moment où c'est la chaleur produite dans le réacteur nucléaire qui est considérée comme énergie primaire, sans que l'on sache d'où elle vient, cette production est évidemment "nationale".

Or l'uranium naturel qui est le combustible de base de la production d'origine nucléaire<sup>13</sup> est entièrement importé. On ne traite donc pas cette source primaire comme les combustibles fossiles. Outre la "disparition" de l'uranium de la comptabilité énergétique, on invoque comme argument pour qualifier la production d'électricité d'origine nucléaire de "nationale" le fait que l'on peut stocker facilement des tonnages importants d'uranium et que la part du coût de l'uranium dans le kWh produit est très faible<sup>14</sup>. Ces arguments peuvent être mis en avant lorsque l'on discute des questions économiques de la production d'électricité ou de la sécurité des approvisionnements

<sup>11</sup> Cette façon de procéder était celle de l'ancienne comptabilité française qui datait des années 70 : la centrale de référence était alors une centrale au fuel d'un rendement de 33%.

<sup>12</sup> On rappelle que, dans les statistiques officielles, l'électricité d'origine nucléaire est considérée comme entièrement "production nationale" alors que l'uranium est entièrement importé.

<sup>13</sup> Le combustible à uranium enrichi (3% environ d'uranium 235 contre 0,7% dans l'uranium naturel) est produit en France dans l'usine d'enrichissement d'Eurodif.

<sup>14</sup> Elle est, aux coûts actuels, de l'ordre de 5%.



énergétiques. Mais l'approvisionnement en charbon par exemple n'est pas plus "vulnérable" a priori que l'approvisionnement en uranium et le coût de celui-ci pourrait très bien augmenter dans des proportions considérables si le nucléaire se développait.

La logique de la comptabilité énergétique demanderait que l'uranium figure comme source primaire et que le fait qu'il soit totalement importé soit pris en compte. Il serait alors pertinent de faire apparaître les stocks d'uranium pour tenir compte de cet avantage comparé, comme on le fait pour les combustibles fossiles.

Dans ces conditions, le "taux d'indépendance" officiel, sur la base du tableau précédent, serait alors de 7% (production nationale de combustibles fossiles et d'énergies renouvelables).

### c) La dépendance estimée sur la consommation d'énergie finale

Toujours en conservant la notion d'un seul indicateur qui permettrait de "mesurer" la dépendance énergétique, il serait aussi logique d'évaluer la dépendance énergétique en calculant le taux de couverture des consommations en énergie finale par la production nationale d'énergie.

En se référant au bilan par produit de la consommation d'énergie finale et en considérant que l'électricité d'origine nucléaire est "nationale", la contribution de la production d'origine nationale (2 Mtep de combustibles fossiles, 36 Mtep d'électricité nucléaire et hydraulique, 12,1 Mtep de biomasse et chaleur) représente 50 Mtep, soit 29% ou 32% de la consommation finale totale selon que l'on prend en compte ou non les consommations non énergétiques de pétrole et de gaz (175 Mtep ou 148 Mtep). Le "taux d'indépendance" serait alors de 29% ou 32%.

### d) L'utilisation de la méthode "par substitution"

Une troisième façon d'apprécier le degré de dépendance, toujours dans la recherche d'un indicateur unique, consiste à utiliser la méthode de substitution présentée ci-dessus. En utilisant les valeurs de substitution calculées pour l'électricité d'origine nucléaire ou hydraulique, on aboutit à une consommation primaire totale de 230 Mtep et à une contribution nationale à cette consommation (en y incluant le nucléaire) de 84 Mtep, ce qui donnerait un "taux d'indépendance" de 36%.

<sup>15</sup> Les consommations totales de pétrole par habitant de la France sont légèrement supérieures, en 2005, à celles de ses grands voisins européens : 1,51 tep pour la France, 1,48 pour l'Allemagne, 1,39 pour l'Italie, 1,44 pour le Royaume-Uni.

### e) Un seul indicateur global n'est pas pertinent

Mais la critique la plus fondamentale à cette définition et à cette évaluation de la dépendance énergétique est que le choix d'un tel indicateur global traduit très mal les dépendances réelles.

L'expression des parts relatives de la production nationale et des importations dans la consommation d'énergie, soit par le taux de couverture des besoins en énergie primaire, selon une règle réaliste d'équivalence à la production (36%), soit par le taux de couverture des besoins en énergie finale (29%), donne une image globale de la situation énergétique française vis-à-vis de sa dépendance extérieure plus réaliste que le taux officiel de 50%.

L'utilisation de tels indicateurs globaux peut cependant masquer la réalité des dépendances énergétiques les plus fortes. En France, celles-ci sont de deux ordres : d'une part la dépendance quasi totale du secteur des transports vis-à-vis des produits pétroliers (ceux-ci représentent 97,5% de la consommation finale totale du secteur) et, d'autre part, la très forte dépendance de la production d'électricité vis-à-vis de l'énergie nucléaire et d'un seul type de réacteurs nucléaires (77% de la production brute totale d'électricité assurée par les réacteurs à eau sous pression). Si la première dépendance est commune à presque tous les pays membres de l'Union Européenne, la seconde est spécifique à la France, dont la production d'électricité d'origine nucléaire représente à elle seule la moitié de celle de l'Union Européenne. Ces dépendances ne sont pas mises en évidence par un indicateur global qui de plus ne s'intéresse qu'à la question de la dépendance extérieure.

La dépendance énergétique extérieure doit être analysée par secteur et par énergie. Par exemple, la dépendance vis-à-vis du charbon (qui est très faible en France) n'est pas du tout du même ordre que celle vis-à-vis du pétrole. La dépendance gazière est également d'une autre nature car, du fait que l'essentiel des échanges se fait par gazoducs, la question est essentiellement régionale, etc. Plus qu'une discussion (sans fin) sur le "taux d'indépendance", il vaudrait mieux analyser poste par poste les dépendances par secteur et par produit, ce qui permettrait une meilleure appréciation des risques, une information plus compréhensible et une discussion sur les mesures à prendre, notamment dans le secteur des transports.

*Bernard Laponche*