JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

J. PRÉVOT

Les variations concomitantes de l'énergie consommée et du produit national

Journal de la société statistique de Paris, tome 92 (1951), p. 23-41

<http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1951__92__23_0>

© Société de statistique de Paris, 1951, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (http://www.numdam.org/conditions). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
http://www.numdam.org/

VI

LES VARIATIONS CONCOMITANTES DE L'ÉNERGIE CONSOMMÉE ET DU PRODUIT NATIONAL

La consommation d'énergie, sous toutes ses formes, ayant pris dans l'économie moderne une importance considérable, l'étude de la corrélation qui peut exister entre la production d'un pays et l'énergie consommée apparaît du plus haut intérêt.

Si l'on désire, dans une telle étude, remonter dans un passé assez lointain, on doit se limiter à une étude générale de corrélation entre l'énergie totale consommée et la production totale, la documentation statistique ne fournissant pas de ventilation de l'énergie consommée, mais tout au plus le total de cette énergie.

La production totale sera exprimée, soit par le « produit national net », soit par le revenu national, malgré les inconvénients de ces choix dictés par la nécessité d'utiliser la seule documentation existante.

Période 1920-1948. — Une première étude a été faite en prenant en considération l'économie française pendant les années 1920 à 1948.

Le choix de cette période a été déterminé par la nécessité de disposer d'une série de résultats comparables de « produit national net ».

La série qui a été adoptée résulte des travaux du Commissariat du Plan et a été élaborée de la façon suivante :

Le Commissariat du Plan a calculé en francs 1938 la valeur nette théorique par branche d'activité pour l'année 1938. Ce calcul a été fait en recherchant séparément les valeurs nettes de la production agricole, de la production industrielle, des transports, des activités commerciales, des services, du revenu des logements, pendant cette année 1938. D'autre part, des indices de variation de chacune de ces six activités ont été appliqués à la valeur correspondante en 1938; la valeur nette produite pour chacune des années 1920 à 1948 a été ainsi obtenue.

L'indice de la production industrielle utilisé diffère des indices officiels publiés pour les mêmes années, parce que le Commissariat du Plan a recherché une représentation de l'activité industrielle plus complète que celle réalisée dans les indices officiels.

Ce calcul, qui n'est pas différent de celui d'un indice général de la production française, présente le très grand avantage de ne pas faire intervenir d'indices de prix dont le choix serait particulièrement délicat.

En ce qui concerne l'énergie, il est bien évident que dans une telle étude devrait être prise en considération l'énergie nette effectivement utilisée dans les divers matériels consommateurs d'énergie, à l'exclusion de toutes les pertes dans ces appareils. En effet, la relation, d'ordre économique, qui est susceptible de lier le produit national et l'énergie totale consommée est sans aucun

rapport avec le rendement, variable dans le temps et dans l'espace, (c'est-à-dire d'une utilisation à l'autre) des matériels consommateurs d'énergie.

En d'autres termes, il serait nécessaire de considérer dans l'examen de la corrélation, non pas les quantités d'énergie mises en œuvre, mais ces quantités multipliées par les rendements des appareils utilisateurs.

Une telle détermination de l'énergie nette utilisée serait peut-être possible avec une approximation acceptable pour les années récentes, pour lesquelles existent des ventilations assez détaillées des consommations des différentes formes d'énergie, par catégories d'utilisateurs, et pendant lesquelles un rendement moyen approximatif semble pouvoir être déterminé pour chacune de ces catégories.

Ce calcul n'a pas été fait parce que, s'il est peut-être possible depuis 1938, il ne l'est pas pendant les années antérieures pour lesquelles les statistiques d'utilisation de l'énergie seraient insuffisantes.

Par ailleurs, un tel calcul présente un caractère artificiel du fait que, dans certaines utilisations de l'énergie, où celle-ci est transformée à diverses reprises, il est arbitraire de situer à un stade de transformation plutôt qu'à un autre la consommation effective de cette énergie.

Devant ces difficultés, le problème de l'évaluation totale de la quantité d'énergie consommée a été traité dans cette première étude en prenant en considération l'énergie brute consommée.

La totalité de l'énergie a été mesurée en tonnes de charbon, la plus grosse quantité d'énergie consommée en France provenant de ce combustible; les consommations des autres formes d'énergie ont été évaluées en tonnes de charbon à l'aide de coefficients d'équivalence. L'énergie électrique d'origine hydraulique a été évaluée avec le coefficient : 1 Kwh équivalent à 1 kilo de charbon; ce coefficient, supérieur aux coefficients usuels classiques, a été adopté pour tenir compte de ce que dans le tonnage total de charbon, toutes les qualités ont été prises en considération tonne pour tonne, et également pour avantager quelque peu l'énergie électrique, dont les rendements à l'utilisation sont supérieurs au rendement à l'utilisation de toutes les autres formes d'énergie.

Cependant, dans cet ordre d'idées, il n'a pas paru possible de tenir compte d'une façon plus poussée des variations diverses du rendement à l'utilisation de l'énergie.

Les coefficients suivants ont été utilisés pour le pétrole et les carburants :

Pétrole brut : 1,15	Essence : 1,46	Gas-oil : 1,40
Fuel-oil : 1,35	Gaz naturels : 1,33	(M^3 en kg de charbon).

Ces coefficients, qui ne tiennent compte que des pouvoirs calorifiques, sont critiquables, le rendement à l'utilisation de ces combustibles étant généralement plus élevé que celui du charbon. Les conséquences de cette minoration de l'importance de cette forme d'énergie seront examinées plus loin.

Les séries de résultats de consommation d'énergie retenues sont les suivantes :

Pour le charbon : consommation apparente (extraction + importation — exportation = variation des stocks sur le carreau des mines, et depuis

1931, sur les parcs de la S. N. C. F.). Les ressources sarroises ne sont jamais prises en considération. De 1940 à 1944, les ressources de Lorraine ne sont pas non plus prises en considération.

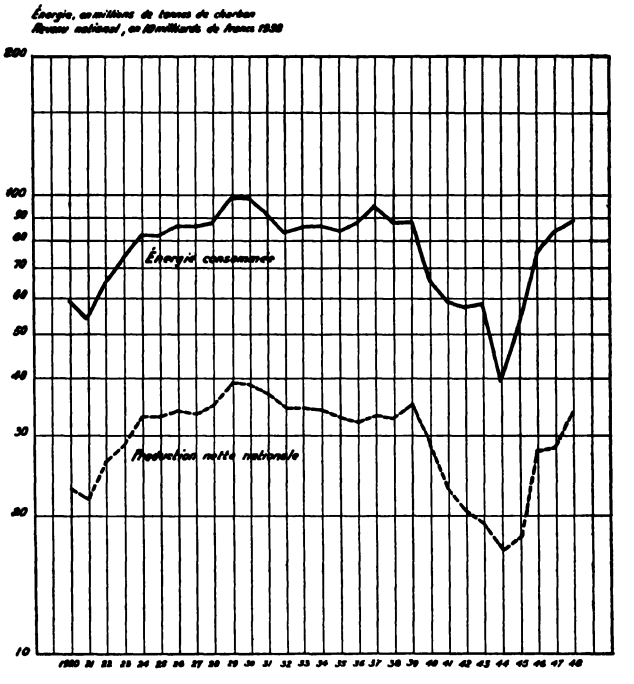
Il n'a pas été possible de tenir compte des variations de stocks chez les utilisateurs, qui donneraient tout au plus lieu à des rectifications de l'ordre de 1 à 2 %; les imperfections du calcul du produit national ne permettent pas de prétendre à une précision supérieure à cet ordre de grandeur.

Bien entendu, l'énergie électrique d'origine hydraulique a seule été prise en considération; l'importation (ou plus exactement la balance import., export.), très faible, a été négligée.

En ce qui concerne les carburants, de 1920 à 1940, les importations nettes

Graphique A.

Production nette au coût des facteurs
et énergie consommée



ont seules été prises en considération; de 1941 à 1948, la ressource : production des raffineries + importations nettes, a été utilisée.

Les deux séries de résultats : énergie consommée et production nette nationale ont donné lieu à l'établissement de deux graphiques chronologiques A et B sur lesquels apparaît un parallélisme remarquable des deux courbes. Sur le graphique A, semi-logarithmique, les variations de la production nette nationale et de l'énergie consommée apparaissent, pour presque toutes les années envisagées, de même sens, et elles se trouvent dans beaucoup de cas, à peu près strictement proportionnelles.

Sur le graphique B ont été représentés les indices de base 100 en 1938 de la production nette et de l'énergie totale consommée. Ce graphique met également en évidence la similitude des évolutions des deux facteurs envisagés.

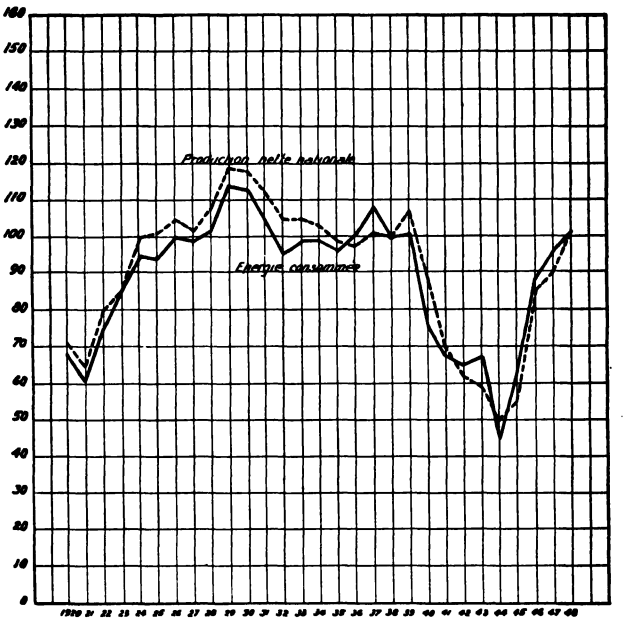
Le graphique C résulte de l'élimination de la variable « temps », chacun des points représentatifs d'une année ayant pour abscisse l'énergie consommée pendant cette année, et pour ordonnée le produit net pendant la même année; on constate que ces points représentatifs se groupent dans un nuage très allongé. Les deux droites d'ajustement ont été calculées par la méthode des moindres carrés.

La corrélation entre les deux facteurs, telle qu'elle découle des calculs

Graphique B

Indices de la Valeur nette au coût des facteurs & de la Consommation d'Énergie.

Base: 100 en 1938



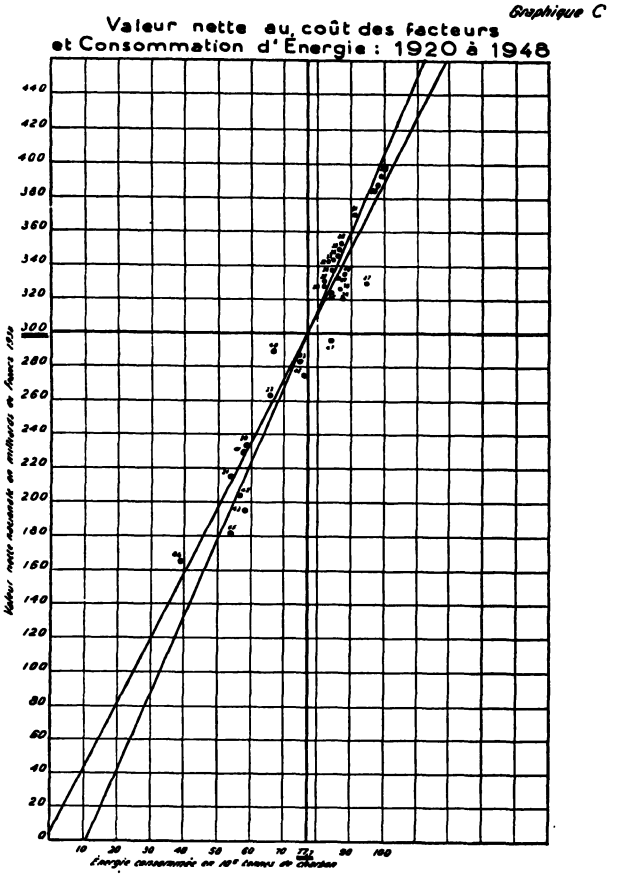
atteint 0,97. Cette corrélation, relativement très élevée, implique donc, semble-t-il une dépendance étroite des deux facteurs l'un par rapport à l'autre.

Quel que soit le caractère parfois trompeur de coefficients de corrélation très voisins de 100, qui sont cependant l'effet du hasard, il est certain *a priori*, dans le cas envisagé, qu'une liaison existe entre les deux facteurs; il est surprenant que la corrélation soit aussi élevée car si l'on peut considérer à juste titre que les activités industrielles ont un développement lié de très près à celui de la consommation d'énergie, par contre, la production agricole, dont la valeur nette constitue une part appréciable du produit national, ne paraît pas, et de loin, liée aussi intimement à l'énergie consommée dans le pays.

On aurait pu s'attendre à ce que des années ayant donné lieu à des récoltes agricoles particulièrement bonnes ou particulièrement mauvaises, déterminent des points sur le graphique C plus éloignés des droites de tendance; il ne semble pas que les années particulièrement mauvaises du point de vue agricole que furent par exemple 1926 et 1936, ou les années particulièrement bonnes telles que 1925 et 1932, s'écartent plus nettement que d'autres du nuage de points envisagé.

Le fait de ne pas apercevoir de points particulièrement aberrants dus aux

Graphique C



années agricoles anormales résulte de ce que les différences de valeur du produit agricole, d'une bonne à une mauvaise année, sont au maximum de l'ordre de 20 % du produit agricole, et donc de l'ordre de 5 % du produit total; ces différences introduisent certaines distorsions dans la corrélation, qui sont d'assez faible importance pour ne pas altérer notablement le résultat d'ensemble.

D'une façon plus générale, on pourrait évidemment rechercher les raisons pour lesquelles telle ou telle année se trouve plus ou moins éloignée des droites de tendance; mais il semble dangereux de s'appesantir sur des particularités de cet ordre qui peuvent résulter d'influences très diverses telles que par exemples la non-prise en considération des stocks chez les utilisateurs, ou, comme il vient d'être indiqué, la qualité de la récolte.

Période 1850-1910. — Étant donné les résultats significatifs de l'étude portant sur les années 1920-1948, une autre étude a été élaborée, portant sur les années 1850-1910. Alors que la période 1920-1948 est une période de relative stagnation de l'économie française pendant laquelle la reconstruction postérieure à la guerre de 1914-1918, les crises de l'entre-deux guerres et la guerre 1939-1945 empêchèrent tout développement prolongé de l'économie, la période de 1850 à 1910 apparaît comme une période d'expansion régulière. Cette régularité se trouve accentuée artificiellement par la prise en considération non pas des années, mais des décades.

L'adoption de la décade comme période, au lieu de l'année, est rendue nécessaire par le fait que le produit national n'a pas été calculé pendant cette période, tandis que des évaluations du revenu national ont été tentées. Or, le groupement des années par décades atténue la différence qui existe entre les deux notions, et permet de considérer l'évolution du revenu comme à peu près équivalente à celle du produit national. Parmi les différences ainsi atténuées se trouve notamment celle résultant du fait que les revenus distribués par l'État à ses débiteurs divers peuvent correspondre à des productions intervenues une ou plusieurs années avant cette distribution.

Les revenus par décade pris en considération sont ceux indiqués par Jean Fourastie (*Le grand espoir du XX^e siècle*, tableau 16) qui sont tirés de l'ouvrage de Colin Clark : *The conditions of economic progress ;* ils ont été évalués primitivement par divers économistes français : d'Agier, Simiand, Cochut, Levasseur, Pupin, Neumann, Spallart.

La série de résultats comparables mis au point par Colin Clark (en unités internationales par ouvrier et par an) a été transformée en milliards de francs 1938 pour permettre une comparaison approximative avec les résultats de la période récente, comparaison d'ailleurs dangereuse étant donné les différences de méthode de calcul des deux séries (1).

L'énergie consommée à peu près uniquement sous forme de charbon a été relevée dans les publications annuelles du Bureau de Documentation Minière se rapportant à cette période.

L'approximation certainement importante avec laquelle furent évalués les revenus nationaux pendant la période considérée, rend surprenante la corrélation très étroite de 0,99 calculée pour cette période.

La différence considérable entre les deux périodes étudiées apparaît nettement sur les deux graphiques D et E qui mettent en évidence l'expansion rapide de l'économie de 1850 à 1910, expansion qui ne paraît pas interrompue par la guerre de 1870-1871. En 60 ans, le revenu est triplé, et l'énergie consommée plus que quadruplée.

Sur le graphique F, les points représentatifs de chaque décade se succèdent régulièrement dans le sens de la croissance simultanée des deux variables.

La particularité qu'il faut souligner ici est le non-parallélisme des évolutions des deux facteurs en cause (graphique semi-logarithmique D et graphique E), alors que, pendant la période 1920-1948, les deux évolutions sont

(1) Cette comparaison est dangereuse parce que le revenu national comporte pendant la période 1850-1910 des éléments qui ne figurent pas dans le produit national (en particulier revenu provenant de capitaux placés à l'étranger).

strictement parallèles. Cette différence sera reprise en considération dans les conclusions suivantes.

***

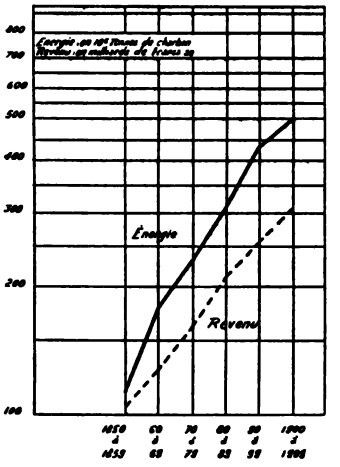
La corrélation très étroite qui lie les deux facteurs envisagés pendant les périodes étudiées ne permet pas sans doute de conclure qu'il existe une relation directe de cause à effet d'un facteur à l'autre. Mais elle confirme que l'énergie est un facteur déterminant du développement de l'économie tout entière, dans des conditions plus précises qu'on aurait pu le penser *a priori*.

En d'autres termes, il semble démontré que des variations importantes de l'un des facteurs : le produit national, ne sont pas possibles si l'autre facteur : la consommation totale d'énergie, n'est pas susceptible de variations sensi-

Graphique D

Énergie consommée et revenu National distribué de 1850 à 1909

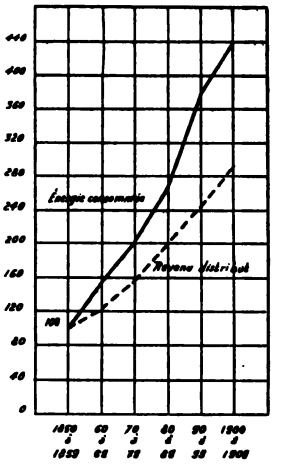
Moyennes par décade



Graphique E

Indices du Revenu National distribué & de l'Énergie consommée

Base 100 pendant la décade 1850-59



blement proportionnelles, le facteur de proportionnalité étant fonction, comme il va être indiqué plus loin, de données variant assez lentement.

Il conviendrait en effet de mieux préciser dans la mesure du possible comment certains facteurs qui ont été négligés sont susceptibles d'entrer en ligne de compte dans l'appréciation du résultat fondamental ci-dessus.

Il a été indiqué plus haut que la variation générale des rendements de l'outillage récepteur d'énergie ne pouvait être évaluée de façon précise. Dans certaines utilisations du charbon, ce rendement a approximativement doublé (centrales thermiques) tandis qu'il restait à peu près constant ou se modifiait très peu dans d'autres utilisations.

Il n'a pu varier que fort peu en ce qui concerne l'énergie électrique d'origine hydraulique, mais il s'est amélioré notablement pour les carburants.

L'augmentation générale moyenne doit, semble-t-il, être de l'ordre de 20 à 30 %, entre 1920 et 1948.

Si donc on pouvait considérer, au lieu de l'énergie brute mise en œuvre, l'énergie nette réellement utilisée, compte tenu du rendement croissant avec le temps des récepteurs d'énergie, la courbe d'utilisation effective de l'énergie qui serait obtenue par ce moyen se trouverait, sur les graphiques A et B, relevée par rapport à la courbe représentative du produit national, comme l'est la courbe énergie du graphique D. Cette courbe du graphique A serait en particulier relevée si des coefficients d'équivalence plus élevés avaient été attribués aux combustibles liquides. Il est d'ailleurs certain que pendant la période 1850-1910, le rendement général moyen des récepteurs d'énergie n'a pas été sans augmenter, quoique probablement moins vite que pendant la période 1920-1948; sur ce graphique D, une courbe représentative de l'énergie effectivement utilisée serait donc également plus relevée que celle de la consommation brute d'énergie qui y a été représentée.

Il faut toutefois considérer ici que ce rendement général moyen varie incontestablement de façon continue et que les courbes qui viennent d'être envisagées découleraient des courbes énergie brute consommée figurant sur les graphiques A et D, par une dilatation des ordonnées croissant régulièrement (comme le rendement général des récepteurs d'énergie) d'année en année.

De cette constatation évidente, il résulte que *l'évolution d'année en année de l'énergie réellement utilisée est de même forme générale que l'évolution de l'énergie brute mise en œuvre*, avec simplement un trend plus relevé que celui de cette dernière; *la corrélation entre l'énergie réellement utilisée et le produit national est donc très certainement du même ordre que celle constatée entre la consommation brute d'énergie et le produit national.*

Le fait que pendant les deux périodes envisagées, la croissance de l'utilisation réelle d'énergie soit plus rapide que celle du produit ou revenu national net s'explique de la façon suivante :

De 1850 à 1910, le revenu total passe de 104.10^9 francs 1938 à 307.10^9 francs 1938, la population active de 15 millions de têtes à 20,7 millions, et la durée hebdomadaire de travail d'environ 72 à 60 heures; le revenu par heure de travail passe donc de :

$$\frac{104.10^9}{15.10^6 \times 52 \times 72} = 1{,}85 \text{ fr.}$$

à :

$$\frac{307.10^9}{20{,}7.10^6 \times 52 \times 60} = 4{,}75 \text{ fr.}$$

De 1920 à 1948, le produit net passe approximativement de :

$$233.10^9 \text{ à } 335.10^9.$$

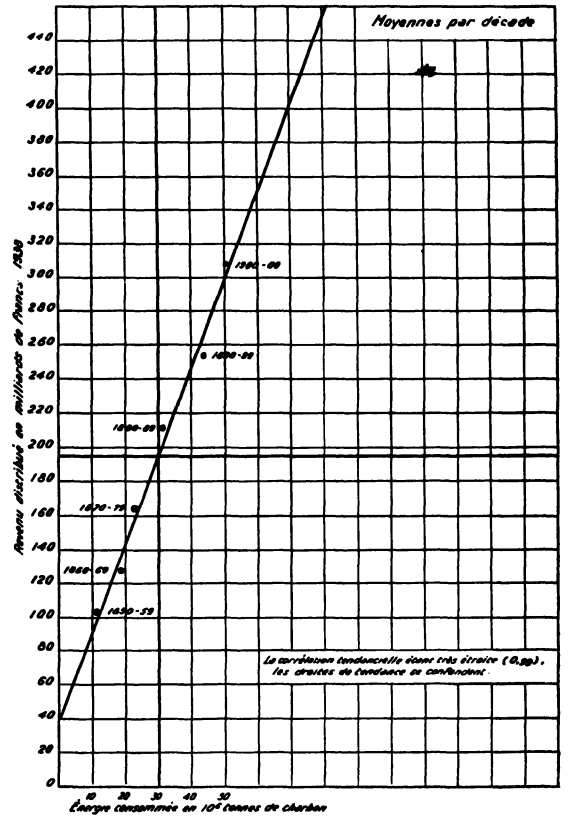
La population active de $21{,}7^6$ à $10{,}5.10^6$ (recensement de la population de 1921 et de 1946), et le nombre moyen d'heures de travail par semaine, de quarante-quatre à quarante heures environ. Le produit net par heure de travail passe donc de :

$$\frac{233.10^9}{21{,}7.10^6 \times 52 \times 44} = 4{,}70 \text{ fr. à } \frac{335.10^9}{20{,}5.10^6 \times 52 \times 40} = 7{,}85 \text{ fr.}$$

On peut donc constater que pendant ces deux périodes, le produit net par heure de travail humain s'est accru notablement, et l'on peut penser que cette augmentation de la productivité du travail est due en majeure partie, à l'utilisation d'une quantité d'énergie plus forte que celle simplement nécessaire pour assurer le produit national, à productivité constante. Ceci tient au fait qu'un accroissement de productivité est dû essentiellement à

Graphique F

Corrélation entre la Consommation d'Énergie et le Revenu National distribué de 1850 à 1909



l'utilisation de machines dont la fabrication implique tout d'abord une dépense énergétique, et surtout dont l'utilisation exige une fourniture d'énergie d'autant plus grande qu'elles sont plus automatiques ou plus rapides.

Pendant la période 1850-1910, cette demande accrue d'énergie par unité de production s'est partiellement traduite par le relèvement de la courbe représentative de la consommation d'énergie par rapport à la courbe du revenu national, tandis qu'au contraire, pendant la période 1920-1948, cette demande accrue s'est trouvée compensée par l'accroissement des rendements des appareils utilisateurs d'énergie, de sorte que la consommation unitaire brute d'énergie n'a pas été modifiée notablement.

On peut cependant remarquer que les années d'avant guerre lors desquelles la productivité dans l'industrie a été la meilleure (années 1936 et 1937, d'après M. Magron, *Évolution de la Productivité du Travail dans l'Industrie française*)

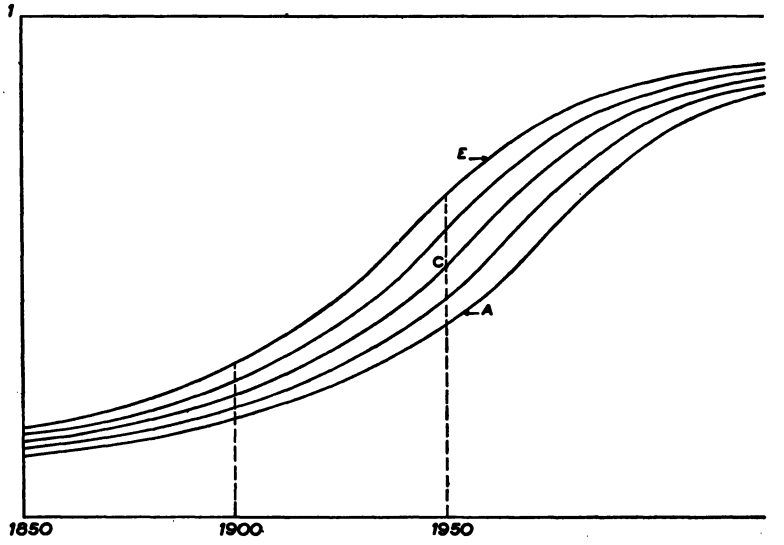
sont celles pour lesquelles l'indice de consommation brute d'énergie est plus élevé que l'indice du produit national (graphique B).

En d'autres termes, la production a exigé pendant ces années, une consommation d'énergie d'autant plus élevée que la productivité du travail était plus forte.

Il semble possible d'estimer que, dans un avenir prochain, la corrélation qui lie depuis trente ans environ la consommation brute d'énergie à la production nationale ne se trouvera pas modifiée dans le sens d'une moindre consommation d'énergie. Au contraire, si l'outillage est développé de façon à obtenir une productivité du travail plus grande, il est même possible qu'une consommation d'énergie supplémentaire à celle qui découle de la corrélation trouvée, soit nécessaire.

Une seconde raison, toute différente, peut faire craindre que la compensation, qui est intervenue pendant trente ans entre les besoins accrus en énergie

Graphique G



nécessités par l'accroissement de la productivité et le rendement croissant des matériels consommateurs d'énergie, cesse dans peu d'années.

Il semble, en effet, qu'a défaut de précisions sur l'évolution des rendements des matériels consommateurs d'énergie, on puisse faire sur cette évolution l'hypothèse représentée sur le graphique G.

Il est bien certain que pendant les années 1850-1900, le rendement moyen R de ces matériels a été très bas et qu'il a crû lentement. Le taux d'accroissement de ce rendement semble s'être accru plus notablement au cours du demi-siècle qui vient de s'écouler et la forme générale de la courbe semble affecter la forme indiquée sur le graphique G, car ce taux d'accroissement ne peut que diminuer lorque le rendement général moyen R atteint une valeur assez près de sa limite supérieur I.

La forme de la courbe est donc très probablement celle indiquée, mais il n'est pas possible de préciser, en l'absence de documentation sur l'évolution

des rendements, laquelle des courbes figurées est la plus proche de la courbe réelle. Si c'est la courbe A, où le point 1950 se trouve encore éloigné du point d'inflexion, un certain nombre d'années s'écouleront avant que la compensation disparaisse puisque la dérivée du rendement est encore croissante. Si la courbe C devait être préférée, où le point 1950 est au voisinage du point d'inflexion, la compensation durera encore peu d'années; si enfin, à l'extrême nous devions adopter la courbe E, où le point 1950 est postérieur au point d'inflexion, la compensation serait toute prête à s'achever, ce qui déterminerait une augmentation de l'énergie unitaire brute consommée, même si la productivité du travail ne s'accroissait pas à un taux plus élevé qu'au cours des années qui viennent de s'écouler.

L'étude précédente a donc mis en lumière une corrélation, sans doute prévisible, mais plus étroite qu'il semblait *a priori* justifié de le penser; elle a aussi mis en évidence une insuffisance de la documentation existante quant au rendement moyen des appareils consommateurs d'énergie, insuffisance qu'il semble utile de corriger.

J. PRÉVOT.

TABLEAU I

Source : Commissariat du Plan de modernisation et d'équipement.

Unité : Milliards de francs aux prix de 1938.

Valeurs nette théoriques par branches d'activité en supposant le maintien en état de l'équipement effectué.

	AGRICULTURE	INDUSTRIE Bât. compr.	TRANSPORTS	COMMERCE	SERVICE	LOGEMENT	PRODUCTION nette au coût des facteurs
1920	62	71	25	37	27	11	233
1921	58	62	22	34	28	12	216
1922	66	90	25	41	28	12	262
1923	65	107	29	42	28	12	283
1924	73	133	32	50	29	12	329
1925	75	134	32	50	29	12	331
1926	61	162	35	47	29	12	346
1927	73	136	23	50	30	12	334
1928	66	161	35	50	30	12	354
1929	76	179	37	56	31	12	391
1930	68	184	37	52	32	13	386
1931	74	164	34	52	32	13	369
1932	78	140	30	51	32	13	344
1933	74	146	29	51	32	13	345
1934	78	135	28	52	32	13	338
1935	74	129	26	50	32	13	324
1936	69	130	28	48	32	13	320
1937	71	135	30	50	32	13	331
1938	78	127	26	52	32	13	328
1939	78	148	26	54	32	13	351
1940	62	119	20	48	28	13	290
1941	56	78	16	42	26	12	230
1942	52	61	15	33	24	12	205
1943	54	62	12	33	22	12	195
1944	54	44	5	30	20	12	165
1945	50	54	10	31	24	11	180
1946	65	103	30	38	28	11	275
1947	64	117	32	42	29	12	296
1948 (1)	78	132	35	45	31	12	333 (1)

(1) Pour 1948, évaluation approximative.

TABLEAU II

Consommation d'énergie (en milliers de tonnes).

SOURCES	B. D. M.	STATISTIQUE Comm. Ext.	E. D. F.		VOIR TABLEAU I
Années	Combustibles minéraux solides	Combustibles minéraux liquides (2)	Énergie hydraulique (1)	Consommation totale d'énergie	Valeur nette nationale (10⁹ francs 1938)
1920	56.900	1.100	1.600	59.600	233
1921	51.300	1.000	2.000	54.300	216
1922	61.900	1.300	2.600	65.800	262
1923	69.500	1.600	3.700	74.800	283
1924	76.500	1.900	3.950	82.300	329
1925	75.700	2.300	4.340	82.400	331
1926	79.300	2.500	5.340	87.100	346
1927	78.000	2.700	5.680	86.400	334
1928	79.700	2.500	6.200	88.500	354
1929	89.300	3.700	6.600	99.600	391
1930	86.500	4.400	7.650	98.500	386
1931	79.500	5.100	6.520	91.100	369
1932	71.200	5.700	6.550	83.500	344
1933	71.900	6.800	7.400	86.100	345
1934	71.100	6.800	8.000	86.000	338
1935	67.800	7.400	9.100	84.400	324
1936	70.000	8.000	9.900	87.900	320
1937	75.700	8.400	11.000	95.100	331
1938	67.700	8.900	10.400	87.000	328
1939	68.100	7.800	12.300	88.300	351
1940	49.700	4.700	11.950	66.300	290
1941	46.300	350	12.400	59.050	230
1942	46.300	270	10.600	57.170	205
1943	46.800	250	11.400	58.450	195
1944	30.000	200	9.200	39.400	165
1945	41.300	2.200	10.300	53.800	180
1946	59.700	5.400	11.300	76.400	275
1947	63.800	7.340	13.000	84.140	296
1948	63.500	10.070	14.800	88.375	335

(1) 1.000 Kwh = 1 tonne.
(2) Coefficients d'équivalence utilisés pour les combustibles liquides :

Huiles raffinées	1,3	Pétrole traité	1,15
Essences	1,46	Gaz-oil	1,4
Résidus	1,36	Fuel-oil	1,35
		Gaz	1,33

Tableau III

Corrélation entre la valeur nette au coût des facteurs et la consommation d'énergie de 1920 à 1948.

	Valeur nette en 10^9 fr. 1938	Énergie totale en 10^6 t. de charbon	Écarts à la moyenne v	Écarts à la moyenne e	v^2	e^2	$e.v.$
1920 . . .	233	59,6	— 67	— 17,7	4.500	315	1.185
1921 . . .	216	54,3	— 84	— 23,4	7.000	550	1.965
1922 . . .	262	65,8	— 38	— 11,9	1.440	142	452
1923 . . .	283	74,8	— 17	— 2,9	286	8	49
1924 . . .	329	82,3	29	4,6	840	2	133
1925 . . .	331	82,4	31	4,7	952	2	146
1926 . . .	346	87,1	46	9,4	2.100	88	432
1927 . . .	334	86,4	34	8,7	1.140	75	296
1928 . . .	354	88,5	54	10,2	2.900	104	551
1929 . . .	391	99,6	91	21,9	8.200	480	1.993
1930 . . .	386	98,5	86	20,8	7.350	430	1.789
1931 . . .	369	91,1	69	13,4	4.740	179	925
1932 . . .	344	83,5	44	5,8	1.930	34	255
1933 . . .	345	86,1	45	8,4	2.000	70	378
1934 . . .	338	86,0	38	8,3	1.430	68	315
1935 . . .	324	84,4	24	8,7	570	75	209
1936 . . .	320	87,9	20	10,2	400	104	204
1937 . . .	331	95,1	31	17,4	950	300	539
1938 . . .	328	87,0	28	9,3	780	86	260
1939 . . .	351	88,3	51	10,6	2.600	112	541
1940 . . .	290	66,3	— 10	— 11,4	100	130	114
1941 . . .	230	59,0	— 70	— 18,7	4.900	350	1.309
1942 . . .	205	57,2	— 95	— 20,5	9.000	420	1.947
1943 . . .	195	58,5	— 105	— 19,2	11.000	365	2.016
1944 . . .	165	39,3	— 135	— 38,4	18.000	1.470	5.184
1945 . . .	180	53,8	— 120	— 23,9	14.200	570	2.868
1946 . . .	275	76,4	— 25	— 1,3	620	2	32
1947 . . .	296	84,1	— 4	6,4	16	41	— 26
1948 . . .	335	88,4	35	10,7	1.220	114	374
Total . .	8.686	2.251,7			111.100	6.686	26.437
Moyenne .	300	77,7					

Abréviations : v = écarts à la moyenne valeur nette
e = écarts à la moyenne énergie.

Coefficient de corrélation linéaire

$$c = \frac{\Sigma\, e.v.}{\sqrt{\Sigma\, e^2\ \Sigma\, v^2}} = 0,97.$$

Pentes des droites d'ajustement :

$$p_1 = \frac{\Sigma\, e.v.}{\Sigma\, e^2} = 3,9 \qquad p_2 = \frac{\Sigma\, e.v.}{\Sigma\, v^2} = 0,23.$$

Tableau IV

Corrélation entre la consommation d'énergie et le revenu national de 1850 à 1910

Source — Énergie — B. D. M. en ce qui concerne le charbon — Évaluation pour les autres sources.
Revenu national. — D'après :
1° *Le grand espoir du XX^e siècle* (J. Fourastié, p. 54);
2° Population active. — Résultat statistique du recensement général de la population (Annuaire de la S. G. F.);
3° Revenus distribués, calculés par Dugé de Bernonville pour l'évaluation de l'U. I. O. A.

	REVENU RÉEL par tête de popul. active en U.I.O.A.	POPULATION active en 10^6 têtes	REVENU distribué en 10^9 fr. 1938	ÉNERGIE en 10^6 t. de charbon	ÉCARTS à la moyenne e	ÉCARTS à la moyenne r	$e.r.$	e^2	r^2
1850-1859	382	15 (1)	104	11,5	— 18,2	— 91	1.656	331	8.281
1860-1869 . . .	469	15 (1)	128	18,1	— 11,6	— 67	777	134	4.489
1870-1879	597	15 (1)	163	23,3	— 6,4	— 32	205	41	1.024
1880-1889	645	18 (2)	212	31,1	1,4	17	24	2	289
1890-1899	735	10 (3)	254	43,5	13,8	59	814	190	3.481
1900-1909	814	20,7 (4)	307	50,6	20,9	112	2.341	435	12.544
Total.			1.168	178,1			5.817	^{e}1.133	30.108
Moyenne. . . .			195	29,7					

(1) Recensement de 1866.
(2) Recensement de 1896 : 18,97.
(3) Recensement de 1901.
(4) Recensement de 1906.

Abréviations : e = énergie consommée.
r = revenu distribué.

— Coefficient de corrélation linéaire

$$C = \frac{\Sigma\, e.r}{\sqrt{\Sigma\, e^2\, \Sigma\, r^2}} = 0{,}99$$

— Pentes des droites d'ajustement

$$p = \frac{\Sigma\, e.r.}{\Sigma\, r^2} = 0{,}19 \qquad p = \frac{\Sigma\, e.r.}{\Sigma\, e^2} = 5{,}1.$$

DISCUSSION

M. Rémery. — S'il est exact que le produit national à prix constant, dont M. Prévot vient de parler, n'est pratiquement pas autre chose qu'un indice de production couvrant l'ensemble de l'économie, il importe cependant de souligner que son calcul n'a été, pour aucune branche, basé directement sur des consommations d'énergie. Seul l'ancien indice confidentiel de l'Institut de Conjoncture utilisait pour une faible part la consommation d'énergie dans les industries mécaniques; cet indice n'a pas à ma connaissance été utilisé pour les estimations de revenu national du Commissariat du Plan.

Il n'en reste pas moins vrai que l'explication de l'étroite corrélation observée se trouve dans la très forte liaison existant entre production industrielle (entendue dans son sens large) et consommation d'énergie. Ce qui serait intéressant, ce serait de voir si les tendances des deux courbes restent rigoureusement parallèles dans le temps ou si, au contraire, elles divergent légèrement et dans quel sens? ce qui renseignerait sur l'évolution de la consommation spécifique d'énergie. Le coefficient de corrélation n'est d'aucune utilité pour ce faire, les méthodes à utiliser consistent à calculer et à comparer des tendances, mais il est à craindre que la marge d'erreur importante que comporte chacune des deux courbes permette difficilement de conclure.

M. Prévot. — Précisément, j'ai montré, par l'examen de la période 1880-1910, que les deux courbes ne restent pas parallèles, et qu'elles ont divergé pendant cette période dans le sens d'un taux d'accroissement de la consommation brute d'énergie plus important que celui du revenu national; j'ai montré que si, pendant la période 1920-1948, il y a eu parallélisme des deux courbes, certaines raisons peuvent faire penser que ce parallélisme ne se maintiendra pas. Cette question peut se trouver clarifiée si l'on parvient à définir l'évolution du rendement des matériels utilisateurs d'énergie; je n'ai donc pas eu l'ambition de résoudre un problème mais de le poser.

M. Valtat. — Si la courbe d'accroissement du rendement en fonction du temps, a bien pour les appareils utilisant une énergie déterminée l'allure de principe représentée, on doute que, de sa considération, puisse être tirée quelque prévision relative à la productivité (au sens de l'exposé).

Le rendement mécanique paraît entièrement éclipsé par la notion évidemment vague d'aménagement mais que l'on peut préciser ainsi :

Une industrie donne pour une consommation d'énergie E une production annuelle P; l'année suivante, pour une même consommation, la production est $P' = P + p$. L'augmentation est somme de deux facteurs : p_r que l'on peut attribuer à une augmentation du rendement mécanique, et p_a qui provient d'un meilleur aménagement dû aux progrès technique et à une meilleure organisation. Il semble qu'en dehors d'industries nettement spécialisées, ce dernier facteur l'emportera de beaucoup sur le premier.

M. Prévot. — La question posée précise bien un des aspects du problème que j'ai voulu poser, et il est bien certain que l'étude précise, si elle était possible, de l'évaluation des rendements devrait tenir compte de ce que M. Valtat appelle p_r et p_a.

Elle devrait également prendre en considération d'autres facteurs, par exemple la vitesse de production dont le souci peut amener à diminuer le rendement de l'utilisation de l'énergie. C'est ainsi que dans les machines-outils à coupe rapide la consommation spécifique d'énergie par kilo de métal enlevé est plus grande que dans des machines-outils autres. Le gain est obtenu dans un accroissement de la productivité du travail du conducteur de la machine.

Cet exemple très particulier illustre bien la possibilité de besoins énergétiques croissant plus vite que la production correspondante.

M. Marczewski. — M. Jean Prévot a présenté la relation entre la consommation de l'énergie et le produit national comme étant caractéristique du rapport qui semble exister entre la consommation de l'énergie et le niveau de vie.

A ce propos, trois séries d'observations peuvent être faites :

1. Sur le choix de la grandeur globale censée représenter le niveau de vie;
2. Sur le contenu statistique de cette grandeur globale;
3. Sur les méthodes d'évaluation de cette grandeur globale.

1. *Le choix de la grandeur globale caractéristique.* — Sans vouloir diminuer en quoi que ce soit l'intérêt intrinsèque de l'étude des relations entre la consommation de l'énergie et le produit national, remarquons que ce dernier n'est pas à vrai dire caractéristique du niveau de vie.

En effet, le produit national n'est autre chose que la valeur globale des biens et services nets produits par la nation au cours d'une période. Il comprend donc en plus de biens et services fournis effectivement aux consommateurs (consommation privée), des biens et services qui ont fait l'objet de la consommation publique (services des fonctionnaires et militaires et achats de biens et services par les administrations y compris l'armement) ainsi que des biens d'équipement produits pendant la période et l'accroissement des stocks. Le produit national n'exprime donc pas le bien-être matériel de la population. Il exprime surtout le niveau de la production nationale. La véritable expression du bien-être matériel est donnée par les chiffres représentant la consommation privée dont la proportion dans le concept plus large de produit national n'est pas nécessairement constante. Elle varie en fait entre 60 et 75 % suivant la conjoncture économique et politique.

2. *Le contenu statistique du produit national.* — Suivant la définition internationale admise par l'O. E. C. E. et la plupart des pays, le produit national se compose de trois contributions :

— la contribution des entreprises au sens large qui est de loin la plus importante et qui est représentée par la production nationale;

— la contribution des autorités publiques qui, dans le cas de la France, est de 10 % environ;

— la contribution de l'étranger (revenus nets engendrés par les investissements à l'étranger et les salaires nets payés par l'étranger) qui, dans le cas de la France, est négligeable et qui d'ailleurs n'entre pas dans le produit national tel qu'il est défini en France.

Il ne semble pas que les deux dernières contributions doivent présenter un rapport de corrélation caractéristique avec la consommation de l'énergie.

En ce qui concerne la contribution des entreprises, elle comprend, en plus de la production industrielle, qui reste évidemment en rapport direct avec la consommation de l'énergie compte tenu des rendements des installations transformatrices, la production agricole dont l'appel aux sources d'énergie mécanique est variable suivant le degré de mécanisation, ainsi que tous les services (services locatifs et domestiques, professions libérales, le commerce, l'enseignement privé, etc.) dont les liens avec l'utilisation de l'énergie mécanique sont de beaucoup moins importants.

De plus, le produit national peut être exprimé :

— au prix du marché et en valeur brute;
— au prix du marché et en valeur nette et
— au coût des facteurs.

D'où un double choix :

a) Entre brut et net;
b) Entre évaluation au prix du marché et évaluation au coût des facteurs.

a) *Choix entre brut et net.* — C'est le produit national brut qui sera en relation la plus directe avec la consommation de l'énergie. Il représente en effet, sous réserve des observations précédentes, la totalité de la production courante.

Le produit national net qui semble avoir été pris en considération pour le

conférencier est égal au produit brut diminué du montant de la dépréciation des installations productrices. Abstraction faite de la marge d'erreur particulièrement importante qui pèse sur l'évaluation de cette dépréciation (qu'elle soit faite à partir des provisions d'amortissement ou par toute autre méthode), il faut remarquer que la valeur de la déduction ainsi opérée ne dépend que très peu de la consommation de l'énergie puisqu'elle est fonction de l'importance des capitaux fixes accumulés, de leur nature plus ou moins durable, de leur âge, de la rapidité du progrès économique (problème de l'absolescence) et du degré de leur utilisation. C'est uniquement cette dernière considération qui peut être invoquée en faveur d'une relation très indirecte entre la consommation de l'énergie et la dépréciation correctement évaluée.

b) *Choix entre le prix du marché et le coût des facteurs.* — Il semble que la comparaison en termes des coûts des facteurs appliqués aussi bien au produit national qu'à la consommation de l'énergie (si toutefois il était possible de connaître la part des impôts indirects nets de subventions qui sont payés par les producteurs d'énergie) est théoriquement plus justifiée que le choix alternatif des prix du marché qui a eu la préférence du conférencier. Il n'est pas sûr, en effet, que les impôts indirects grèvent d'une façon uniforme la production d'énergie et celle des produits finaux. La comparaison en termes des coûts des facteurs exprime donc mieux la relation réelle entre les quantités d'énergie consommée et les quantités de biens finaux, mesurées en termes de ressources nationales utilisées.

Une autre cause d'indétermination subsiste cependant même dans le cas de la comparaison en termes des coûts des facteurs. C'est le fait que les valeurs relatives de la consommation d'énergie et du produit national varient non seulement en fonction des modifications des quantités réelles de biens qui les composent, mais aussi en fonction de leurs prix relatifs qui, à leur tour, dépendent des goûts des consommateurs, de l'offre des facteurs et des formes des marchés sur lesquels sont négociées les transactions respectives. S'il s'agit, par conséquent, de déterminer une relation en termes réels, il faudrait éliminer préalablement les variations des prix et faire la comparaison en termes des prix constants. Pourvu qu'on se limite au produit des entreprises industrielles et agricoles, cette élimination est facile, puisque ce produit est obtenu en France d'abord en termes réels par la multiplication des chiffres 1938 par les indices de production ou d'activité. Encore faut-il, pour ne pas aboutir à une tautologie, que les indices de production ou d'activité ne soient pas évalués eux-mêmes sur la base des quantités d'énergie consommées par certaines branches de production.

3. *Les méthodes d'évaluation du produit national.* — L'examen des méthodes d'évaluation des indices de production et d'activité utilisés par le Commissariat général du Plan pour la détermination du produit national nous rassure sur le point soulevé à la fin du paragraphe précédent. Il semble bien qu'effectivement la consommation de l'énergie ne figure pas parmi les indicateurs dont on se sert pour observer les modifications du niveau de la production ou d'activité. Nous retirons donc volontiers les objections présentées sur ce point particulier au cours de la séance.

La conclusion de notre intervention se résume donc en trois points :

1. La relation entre l'énergie consommée et le produit national n'est pas caractéristique du rapport entre la consommation de l'énergie et le niveau de vie, mais du rapport entre la consommation de l'énergie et le niveau de production.

2. La corrélation positive obtenue entre ces deux derniers agrégats sera plus élevée si on se limite au produit des activités industrielles. Les autres activités sont reliées à la consommation de l'énergie mécanique par des liens plus ou moins indirects, ce qui ne veut point dire qu'il ne soit pas intéressant de les étudier.

3. Le produit national pris en considération aurait dû être à notre avis le produit national brut au coût des facteurs évalués en prix constants.

Quant à la forme de la relation entre la consommation de l'énergie et le produit national, nous ne croyons pas qu'elle puisse rester constante au cours d'une longue période. Il nous semble *a priori* qu'elle doit être affectée par deux facteurs agissant en sens inverse et tous les deux tributaires du progrès technique :

— d'une part, le progrès technique améliore l'efficience des transformations d'énergie et par conséquent diminue la masse des sources d'énergie nécessaire pour obtenir un produit donné;

— d'autre part, le progrès technique accroît l'usage des formes mécaniques d'énergie en remplacement de l'énergie humaine et animale et par conséquent augmente la participation de l'énergie mécanique à la création d'un produit donné.

Ce second aspect du progrès technique est probablement plus important au stade actuel de l'évolution économique et, s'il en est ainsi, on devrait observer un accroissement lent mais continu du rapport entre la consommation de l'énergie et le produit national.

M. Jean Prévot. — 1° Mon objectif étant de faire apparaître l'intérêt qui réside dans l'étude de la corrélation entre les dépenses énergétiques et la production nationale au sens le plus large du terme production, j'ai cru bon de supprimer dans la rédaction définitive la notion niveau de vie, ce qui supprime la difficulté du choix d'une expression numérique de ce niveau de vie.

Il est bien certain que pour une même valeur de la production totale nette, le niveau de vie résultant peut varier notablement suivant la proportion des biens de consommation et des biens d'équipement compris dans cette production totale.

2° Les définitions précises que M. Marczewski vient de citer pour les diverses notions du produit national sont claires et mériteraient de constituer les normes d'une terminologie économique auxquelles chaque auteur devrait se référer.

Je ne suis pas sûr que dès maintenant chacun s'y réfère, et je m'excuse de m'être quelque peu écarté de cette terminologie. Pendant la période 1920-1948, la notion que j'ai adoptée est la part du produit national, dite production nationale, provenant de la seule contribution des entreprises, à l'exclusion de la contribution des autorités publiques, et de la contribution de l'étranger; à noter que la contribution des entreprises nationales figure bien dans cette

production nationale et qu'en est exclue seulement la valeur des services des administrations et autorités publiques.

En outre, je dois indiquer que cette production nationale a été évaluée au coût des facteurs et en valeur nette. Je ne me dissimule pas que la série obtenue en appliquant des indices de production aux valeurs nettes, au coût des facteurs de l'année 1938 est quelque peu théorique, car cette méthode suppose que le coût du maintien en état de l'équipement est proportionnel à la production elle-même, ce qui n'est pas exact.

Enfin, je dois faire remarquer que la difficulté résultant de l'appréciation des prix et de leur variation a été éliminée, car, je le rappelle, les quantités d'énergie ont été évaluées non pas en termes monétaires, mais en termes physiques.

D'autre part, les productions nettes de chacune des années ont été obtenues par application d'indices de variation de ces productions à leur valeur en 1938. En d'autres termes, c'est un indice général de la production, au sens le plus large du terme, qui a été utilisé, plutôt qu'une véritable série de *valeurs* de la production nette.