

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 75 (1984)

**Heft:** 22

**Artikel:** L'emploi accru de l'électricité à travers le monde accroît considérablement la disponibilité des ressources

**Autor:** Felix, F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-904507>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# L'emploi accru de l'électricité à travers le monde accroît considérablement la disponibilité des ressources

F. Felix

*Cet article met en relief l'importance souvent mésestimée de l'électricité dans le développement économique et humain de tous les pays du monde. Une analyse statistique effectuée dans 80 pays répartis dans 11 régions différentes géographiquement ou économiquement fait ressortir par exemple un taux de croissance de la consommation d'électricité supérieur de 2 points à celui du produit national brut, alors que la consommation d'énergie dans son ensemble, par unité de PNB, présente une baisse sensible.*

*Der Beitrag betont die oft missachtete Bedeutung der Elektrizität bei der wirtschaftlichen und menschlichen Entwicklung in allen Ländern der Erde. Eine statistische Analyse von 80 Ländern in elf geografisch oder wirtschaftlich unterschiedlichen Regionen zeigt beispielsweise eine um rund 2 Prozentpunkte über dem Bruttosozialprodukt liegende Wachstumsrate des Stromverbrauchs bei gleichzeitiger merklicher Verminderung des Gesamtenergieverbrauchs pro Einheit des BSP.*

Exposé présenté à l'occasion de la Conférence Mondiale de l'Energie 1983 à New Delhi.

## Adresse de l'auteur

Fremont Felix, Consultant, 830 Park Avenue, New York, N.Y. 10021, USA

## 1. Introduction

Les événements qui ont agité le secteur énergétique au cours de cette dernière décennie ont considérablement bousculé les idées préalablement acceptées concernant la croissance économique et celle de la consommation d'énergie et d'électricité.

De plus, et aux Etats-Unis en particulier, l'impact de Three-Mile-Island combiné aux investissements financiers élevés nécessités pour la construction de nouvelles centrales électriques ainsi qu'au ralentissement du taux de croissance de la consommation d'électricité, ont rejeté dans l'ombre la véritable valeur de l'électricité et son importance pour la reprise économique.

Ces perspectives pessimistes toutefois n'ont pas eu d'influence sur l'électricité dans les pays en voie de développement, où elle est restée un agent énergétique très utilisé, dont la consommation a connu, au cours des quatre années sur lesquelles porte cette analyse, un taux d'augmentation annuel de 9,35% au Mexique et en Amérique du Sud, de 8,40% au Moyen-Orient, de 8,32% en Extrême-Orient, mis à part le Japon, et de 10,27% en République populaire de Chine.

Du fait que les nations industrielles ont une base beaucoup plus large, il n'est pas possible de comparer le taux de croissance annuelle de 2,85% des USA ou celui de 3,25% de l'Europe occidentale avec ceux du paragraphe précédent. Mais maintenant que, dans une certaine mesure, l'agitation concernant l'énergie s'est calmée, il semble souhaitable, tout particulièrement dans le contexte de la Conférence mondiale de l'Energie, de jeter un coup d'œil global sur les quelque 100 pays du monde en progression économique et d'en tirer les conclusions appropriées en ce qui concerne la croissance du produit national brut, le

«couplage» ou le «découplage» de l'énergie et de l'électricité, auxquels on a porté beaucoup d'attention ces derniers temps.

## 2. Energie et PNB

Le tableau I ci-après présente la croissance moyenne de onze régions du globe au cours de la dernière période de quatre ans (1976-1980) pour laquelle il existe des données mondiales.

Pour chacune de ces zones, on a calculé la progression nette du PNB par habitant dans chacun des pays en question, puis on a classé ces pays selon leurs résultats. Seuls les pays ayant atteint une croissance positive nette de leur PNB par habitant ont été retenus, à l'exception toutefois des pays où des conditions anormales avaient prévalu, le but étant de se concentrer sur les pays possédant une croissance économique saine dans des conditions pouvant être considérées comme normales.

### 2.1 Découplage de l'électricité et de l'énergie par rapport au PNB

Les moyennes indiquées sous les trois premières colonnes du tableau I montrent, et cela est confirmé sous les colonnes 4 et 5, que le taux de croissance de la consommation d'électricité dépasse nettement le taux de croissance du produit national brut et que le taux de croissance de la consommation d'énergie en général est plus faible que celui du PNB.

Ce récent «découplage» de l'énergie par rapport au PNB a été accueilli, à juste titre, comme une preuve des effets salutaires des économies d'énergie, de l'effet dissuasif des prix élevés du pétrole, de l'amélioration du rendement des processus industriels, etc. Une autre raison y a contribué - qui toutefois n'a pas reçu l'attention qu'elle mérite -, il s'agit de l'utilisation accrue de l'électricité, comme cela est

présenté ci-après ainsi que dans la figure 1.

Un fait mérite d'être relevé, à savoir que le taux de croissance particulier de l'électricité - 2,30 points de plus que celui du PNB - ne signifie pas que l'on utilise davantage d'énergie pour soutenir ce développement de l'électricité. Au contraire, l'énergie primaire employée pour la production d'électricité (environ un tiers de l'ensemble de l'énergie utilisée) est comprise dans le total énergétique dont l'augmentation est inférieure de 0,53 points à celle du PNB. Donc, l'utilisation accrue d'électricité ne veut pas dire utilisation accrue d'énergie

### 2.2 Coût total de l'énergie en pourcentage du PNB

Bien qu'il y ait des variations importantes entre les moyennes des deux colonnes de droite du tableau I, elles fournissent dans l'ensemble, pour chaque région, un chiffre approximatif du coût total de l'énergie par dollar de PNB. Le calcul de ce chiffre pour la moyenne des 11 régions est le suivant:

En prenant 250 grammes de combustible, équivalant à 10 000 Btu, comme consommation d'énergie primaire par kilowattheure, le chiffre de 0,550 kWh par dollar de PNB représente l'équivalent en énergie primaire de  $0,550 \times 0,250 = 0,138$  kilogramme d'équivalent pétrole (kep), ce qui laisse  $0,421 - 0,138 = 0,283$  kep pour l'énergie fossile, non électrique.

Si l'on admet qu'il y a 147 kilogrammes de fuel par baril à \$ 34.-, on obtient un coût de 23,1 cents par kilogramme. Ainsi 0,283 kep de combustible représente un coût de 6,53 cents par dollar de PNB.

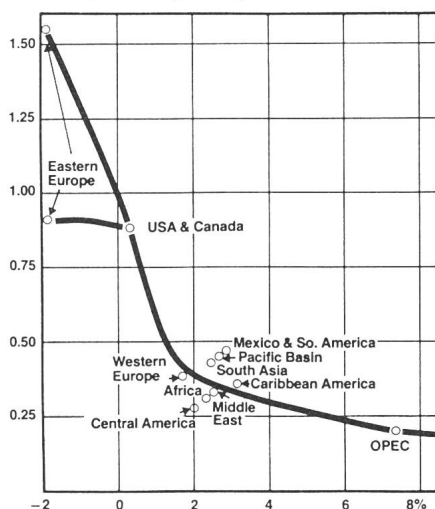
A 5,50 cents le kilowattheure, 0,550 kWh représente un coût de 3,02 cents par dollar de PNB pour l'électricité.

Ainsi le coût total de l'énergie, en tant que moyenne mondiale, peut être évalué comme suit:  $6,53 + 3,02 = 9,55$  cents par dollar de PNB, c'est-à-dire un peu moins de 10% du PNB. Tout en tenant compte du fait que pour certaines régions ce calcul entraînerait un pourcentage presque deux fois plus élevé, il est cependant intéressant d'avoir un tel chiffre comme critère de comparaison.

### 2.3 Consommation d'énergie par dollar de PNB

Dans la figure 1, la consommation d'énergie en kilogrammes d'équivalent pétrole (kep) par dollar de PNB, comme indiqué dans la deuxième colonne

Kilos d'équivalent pétrole par \$ de PNB



Différence entre la croissance annuelle de l'électricité par habitant et la croissance annuelle du PNB par habitant (moyenne 1976-1980)

Fig. 1 Consommation d'énergie par \$ de PNB 1980

depuis la droite dans le tableau I, est représentée en ordonnée alors que le «surplus» du taux de croissance de l'électricité par rapport au taux de croissance du PNB, comme indiqué dans la quatrième colonne de tableau I, est représenté en abscisse. La marge importante qui apparaît pour l'Europe de l'Est est voulue, afin de traduire l'incertitude qui entoure les estimations concernant le PNB des pays d'Europe de l'Est.

### Evolution dans différentes régions

Tableau I

	Entre 1976 et 1980					En 1980	
	Croissance moyenne annuelle			Changement annuel		kep/\$ PNB	kWh/\$ PNB
	PNB/hab.	kWh/hab.	kep/hab.	kWh/hab. -PNB/hab.	kep/hab. -PNB/hab.		
USA et Canada	1,27%	1,66%	0,11%	0,39%	-1,16%	0,882	1,035
Caraïbes	4,45%	7,55%	2,77%	3,10%	-1,68%	0,360	0,291
Amérique centrale	2,50%	4,58%	0,48%	2,08%	-2,02%	0,281	0,458
Mexique et Amérique du Sud	3,83%	6,75%	4,11%	2,92%	0,28%	0,466	0,491
Europe occidentale	2,26%	3,97%	1,52%	1,71%	-0,74%	0,382	0,641
Europe de l'Est	5,44%	3,54%	2,91%	-1,90%	-2,53%	0,916	0,903
Afrique	2,69%	5,15%	2,00%	2,46%	-0,69%	0,328	0,441
Moyen-Orient	3,51%	5,89%	4,19%	2,38%	0,68%	0,320	0,345
OPEP	5,78%	13,08%	7,16%	7,30%	1,38%	0,202	0,380
Asie du Sud	2,67%	5,10%	3,59%	2,43%	0,92%	0,444	0,504
Bassin du Pacifique	4,35%	6,80%	4,14%	2,45%	-0,21%	0,452	0,563
Moyenne des 11 régions	3,53%	5,83%	3,00%	2,30%	-0,53%	0,421	0,550

- PNB/hab.: croissance annuelle du produit national brut par habitant
- kWh/hab.: croissance annuelle du nombre de kilowattheures par habitant
- kep/hab.: croissance annuelle du nombre de kilogrammes d'équivalent pétrole par habitant
- kWh/hab. -PNB/hab.: différence entre la croissance annuelle du nombre de kilowattheures par habitant et celle du produit national brut par habitant
- kep/hab. -PNB/hab.: différence entre la croissance annuelle du nombre de kilogrammes d'équivalent pétrole par habitant et celle du produit national brut par habitant
- kep/\$ PNB: kilogrammes d'équivalent pétrole par dollar de PNB en 1980
- kWh/\$ PNB: kilowattheures par dollar de PNB en 1980

La corrélation que la figure 1a fait ressortir entre une augmentation du «surplus» du taux de croissance de l'électricité par rapport à celui du PNB et une baisse substantielle de la consommation d'énergie par dollar de PNB constitue un argument supplémentaire et important en faveur de la reconnaissance du fait que l'électrification engendre des économies substantielles, fait qui jusqu'à présent n'avait que trop souvent été admis qu'à contrecœur.

## 3. Les atouts de l'électricité

● *L'électricité est la forme d'énergie motrice la moins chère*

Les propriétés particulières de l'électricité sont reconnues depuis longtemps. Ce sont sa flexibilité, sa diversité d'application, son haut rendement, sa capacité sans pareille à pouvoir satisfaire certaines demandes essentielles, etc. Mais le «péché originel», découlant du principe de Carnot pour la production thermique d'électricité, a perpétué trop longtemps le malentendu conventionnel selon lequel l'électricité était une des sources d'énergie les plus chères.

En fait, sans faire aucun compte de ses avantages intrinsèques, l'électricité

Moteur Diesel brûlant du pétrole OPEP, y compris tous les coûts indirects	\$ 256*
Moteur Diesel brûlant du pétrole OPEP	\$ 128
Moteur électrique alimenté par:	
- centrale thermique au charbon	\$ 45,5
- 1/3 centrale nucléaire, 2/3 centrale au charbon	\$ 44
- centrale nucléaire	\$ 42

\*) Les coûts indirects grèvent l'impact qu'ont les coûts additionnels du pétrole importé: sur l'emploi, l'inflation, la balance commerciale, la prévention d'une interruption des approvisionnements, etc.

est la forme d'énergie motrice la moins chère, comme cela apparaît dans le tableau II, où sont comparés les coûts nécessaires pour transmettre l'énergie contenue dans un baril de fuel correspondant à 5 900 000 Btu.

- *L'électricité a non seulement le coût le moins élevé mais elle entraîne d'importantes augmentations de la productivité*

Ce n'est qu'assez récemment que la productivité exceptionnelle de l'électricité dans une vaste gamme de processus industriels a été mise en relief. Selon les résultats obtenus dans les industries métallurgique, alimentaire, chimique et autres, un kWh, correspondant à 10 400 Btu, peut remplacer 26 140 Btu d'énergie non électrique, c'est-à-dire que sa productivité moyenne est de 2,5.

Dans le cadre de nombreuses et diverses applications, des taux nettement plus élevés ont pu être obtenus: jusqu'à 5,5 pour le durcissement du béton, de 8,5 à 16,3 pour le dessalement d'eaux saumâtres par osmose inversée ou électrodialyse, voire même parfois au-delà de 20.

- *L'électricité accroît la disponibilité des ressources énergétiques*

En plus de son aptitude à économiser de l'énergie, l'électricité, qui peut être obtenue à partir de toutes les sources d'énergie renouvelables et non renouvelables, permet d'accélérer la diversification de l'approvisionnement en énergie, encourage le recours aux combustibles et sources énergétiques les plus appropriés et, forte du système d'interconnexion, fournit à tous les usagers l'assurance que l'approvisionnement énergétique dont ils dépendent ne sera pas interrompu à cause d'une pénurie d'un combustible particulier.

- *L'utilisation accrue de l'électricité permet de réduire la demande en combustibles fossiles*

Le tableau III a pour but de montrer, par un calcul simple, que, pour le cas par exemple de l'Europe occidentale, comme présenté en tableau I, la combinaison d'un taux de croissance de 4% pour l'électricité et de 1,5% pour l'énergie dans son ensemble entraînerait, à partir de 1990, une baisse rapide de la part des combustibles fossiles.

En 1980, la part de l'énergie nécessaire à la production d'électricité par rapport au total des énergies primaires utilisées était de 36% pour l'Europe occidentale. Ainsi, comme le montre le tableau III, nous avons pour 1980: 100 pour l'ensemble des énergies, 36 pour l'énergie électrique et 64 pour les énergies non électriques (combustibles fossiles). Nous avons supposé que les taux de croissance pour l'ensemble des énergies et pour l'électricité restaient les mêmes, à savoir 1,5% et 4%.

Comme on peut le remarquer d'après le tableau III, la croissance plus rapide de l'électricité, qui contraste avec la croissance plus lente de l'ensemble des énergies, fait que la part des combustibles fossiles décroît d'abord lentement, puis rapidement.

Le modèle du tableau III est valable pour toutes les régions où le taux de croissance de l'électricité est deux fois et demie à trois fois celui de l'ensemble des énergies. Du fait que ces régions se placent parmi les plus grands consommateurs d'énergie, il n'est pas surprenant que le remplacement de combus-

tibles fossiles par une utilisation accrue de l'électricité ait contribué à une baisse substantielle de la consommation de pétrole au niveau mondial.

Excepté pour les pays de l'OPEP et les autres pays riches en pétrole, il est évident que la baisse de consommation de pétrole importé, source de déséquilibre de la balance des paiements qui a pris à la gorge la plupart des économies nationales, entraîne des implications beaucoup plus importantes que celles du simple passage d'une source d'énergie à une autre.

Dans la plupart des commentaires concernant la cause de la surabondance du pétrole on mentionne, outre les économies d'énergie et les effets dissuasifs des prix élevés du pétrole, l'introduction de nouvelles technologies plus efficaces et l'utilisation de nouvelles sources d'énergie, mais la part due à l'utilisation accrue de l'électricité n'a jamais reçu la publicité qu'elle mérite.

- *L'électricité accroît la disponibilité des ressources en matières premières, y compris les minerais indigènes à faible teneur*

Grâce à l'extrême précision de réglage et à la souplesse fournies par les contrôles électriques dans la fabrication industrielle, l'électricité «alonge» la disponibilité d'un grand nombre de ressources en matières premières. Elle offre aussi la possibilité de substituer des matières premières indigènes à des matières premières plus rares provenant d'outre-mer.

Ainsi les avantages de l'électricité comme, par exemple, la meilleure précision des contrôles électriques, la capacité d'éliminer des défauts de surface grâce un chauffage d'induction interne plus rapide, etc., permettent de réduire presque complètement les rejets de production, fournissant un moyen supplémentaire d'économiser les matières premières.

Hypothèses pour l'Europe occidentale de la croissance par habitant de l'ensemble des énergies, de l'électricité et des combustibles fossiles

Tableau III

	Taux de croissance	1980	1990	2000	2010
Energie totale	1,5%	facteur: 100	1,16 116	1,346 134,6	1,563 156,3
Energie électrique	4%	facteur: 36	1,48 53,3	2,191 78,9	3,243 116,8
Combustibles fossiles		64	62,7	55,7	39,6



● *Les nouvelles technologies utilisant l'électricité stimulent de plus les économies d'énergie et les gains de productivité*

Sous l'influence du marché et alors que l'électricité améliore la qualité et accroît la productivité, son prix a été maintenu assez bas, et la pénétration croissante de l'électricité dans l'industrie a ouvert et ouvre des domaines techniques sans cesse plus vastes, comme ceux bien connus des fours à arc électriques, du chauffage à induction, des radiations infrarouges, des pompes à chaleur, des micro-ondes, des ultraviolets, ainsi que des technologies nouvelles pleines d'avenir comme les plasmas, les lasers, les robots contrôlés par ordinateurs, l'osmose inverse, l'électrodialyse, etc.

Les économies d'énergie apportées par ces nouvelles technologies ont déjà été mentionnées plus haut, mais les économies ne s'arrêtent pas là.

On gagne du temps: des températures de 10 000 degrés Fahrenheit, rendues possibles par le chauffage électrique, par exemple, permettent de réduire d'heures à des minutes et de minutes à des secondes le temps qu'il faut pour obtenir 3000 degrés F par combustion.

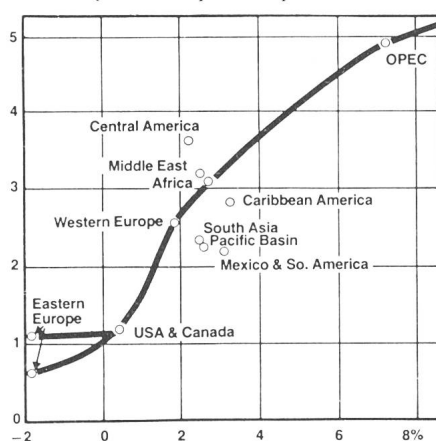
On gagne aussi de l'espace: le séchage de l'encre d'impression par rayons ultraviolets par exemple réduit la longueur d'une installation de séchage de 30 m à 3 m.

#### 4. La contribution de l'électricité au développement économique

La plupart des qualités de l'électricité, sinon toutes, contribuent directement à une croissance économique plus saine. La figure 2 a la même abscisse que la figure 1, c'est-à-dire la différence entre le taux de croissance des kilowattheures et celui du PNB, mais en ordonnée elle est l'inverse de la figure 1a, à savoir: dollar de PNB par  $kWh$ . Cette figure montre la force considérable que le dépassement du taux de croissance de l'électricité confère à l'économie.

Si cette force semble trop optimiste, il suffit pour être complètement rassuré de jeter un coup d'œil au nombre et à l'importance des avantages procurés par l'électricité, avantages qui comprennent un grand nombre de facteurs

\$ de PNB par kilo d'équivalent pétrole



Différence entre la croissance annuelle de l'électricité par habitant et la croissance annuelle du PNB par habitant (moyenne 1976-1980)

Fig. 2 \$ de PNB par consommation d'énergie 1980

humains, sociaux et économiques touchant le progrès.

En fait, on peut s'attendre à ce que l'arrivée de systèmes d'automatisation contrôlés par microprocesseurs développe de plus de rôle dynamique de l'électricité en tant que locomotive de l'économie et celui des nombreuses technologies nouvelles que l'électricité continue de faire naître.

Il est intéressant de noter, en tant qu'indication concernant la contribution de l'usage accru de l'électricité à la hausse de la croissance économique, que, pour un grand nombre des pays, on a calculé le rapport entre la hausse du PNB par habitant et l'augmentation des  $kWh$  par habitant pour la période entre 1976 et 1980.

On a obtenu pour l'ensemble une moyenne de 1,56 dollar de PNB supplémentaire par  $kWh$  supplémentaire. Evidemment, cela ne veut pas dire que la consommation d'un kilowatt de plus ajoute 1,5 dollar au PNB. La partie non électrique de l'utilisation totale d'énergie constitue un facteur essentiel dans ce processus, mais comme cela a déjà été souligné, le fait que la croissance de la consommation des énergies non électriques est inférieure à celle du PNB, alors que celle de l'électricité est en tête, appuie l'idée selon laquelle les énergies non électriques offrent essentiellement un support maximum pour l'infrastructure de l'économie alors que l'énergie électrique est la locomotive.

Comparé à la moyenne mondiale de 1,5 dollar de PNB supplémentaire par  $kWh$ , nous avons noté que ce rapport est de 1,10 pour les USA, de 1,02 pour l'Europe occidentale, de 1,58 pour l'Europe de l'Est et que pour les pays «miracles» du bassin du Pacifique la

moyenne est de 1,77.

Naturellement, de tels rapports sont susceptibles de varier considérablement d'un pays à un autre et aussi, pour le même pays, selon le climat économique qui prévaut, etc. Mais le point intéressant est que cette analyse semble mettre en corrélation 1  $kWh$  coûtant disons 0,06 dollar avec 1,5 dollar PNB, soit un facteur d'amplification catalyseur très intéressant de 25 pour 1.

L'électricité augmente fortement les ressources potentielles de développement des régions rurales. Il faut accorder une attention spéciale au fait que l'électricité peut être utilisée comme moteur pour un développement sain des régions rurales:

La variété des ressources utilisables pour la production d'électricité et la liberté de choix en ce qui concerne la source d'énergie la plus appropriée, qu'il s'agisse de la biomasse, de la force éolienne, de mini-centrales hydrauliques, de gaz provenant des déchets de l'agriculture ou même de cellules photovoltaïques, etc., font que les régions en développement ont la possibilité de créer leur propre réseau local, même avant d'être relié à un réseau national vaste.

Dans de nombreux cas, les coûts de développement de tels petits réseaux peuvent apparaître trop élevés pour attirer le financement nécessaire, mais lorsque l'on doit prendre une décision fondamentale il est bon de relever – et c'est là un des buts principaux de cet article – les avantages de l'électricité qui justifient pour les régions rurales une valorisation du kilowattheure nettement plus élevée qu'il lui est généralement concédé.

Ces aspects qui parlent en faveur de l'électrification sont encore plus forts dans les pays en voie de développement où les améliorations au niveau de l'hygiène, de la santé et de l'éducation prennent une importance accrue. Et il est tout à fait adéquat que l'électricité joue un rôle moteur pour l'économie et le progrès social dans les pays en voie de développement, différent en cela des pays industrialisés, où une solide base sociale et économique existait avant l'arrivée de l'électricité.

#### Sources

Les chiffres concernant l'énergie et l'électricité publiés dans cet article sont tirés du «Yearbook for World Energy Statistics 1980» des Nations Unies.

Les chiffres concernant le produit national brut sont pour la plupart tirés de l'édition 1981 du World Bank Atlas, ainsi que d'éditions précédentes.

Certaines opinions présentées dans cet article sont très proches de celles de l'article «Alternative Energy Features: The Case for Electricity» de Umberto Colombo dans «Science», vol. 217, 10 août 1982, p. 705...707.