

# «Ecowatts»: L'énergie et les effets écologiques de l'électrification

*Aux Etats-Unis, les technologies basées sur l'électricité améliorent les rendements énergétiques et réduisent les émissions de gaz à effet de serre*

par Mark P. Mills

**F**ort judicieusement, les compagnies d'électricité, les planificateurs de l'énergie et les commissions de services publics dans tous les Etats-Unis se lancent dans des programmes de réduction de la consommation d'électricité — c'est ce que l'on appelle la gestion de la demande. Une campagne visant près de 25 000 mégawatts est envisagée pour les années 90. Les ampoules électriques à haut rendement sont devenues le symbole de cette initiative que l'on appelle familièrement la chasse aux «négawatts». L'appel est sans réplique et bien fondé. Chaque ampoule classique de 60 watts que l'on remplace par une de ces ampoules «de pointe» de 15 watts mais d'égale luminosité réduit la consommation d'énergie et, par conséquent, l'émission de CO<sub>2</sub> à raison de 1 kg pour 30 heures d'éclairage. Il n'y a vraiment pas grand chose à dire contre un programme qui améliore le rendement de l'électricité de façon économique et sans effets secondaires indésirables sur le plan social.

Ce souci d'économiser l'électricité éblouit déjà de nombreux planificateurs et pronostiqueurs au point de ne plus voir un fait essentiel, bien qu'apparemment étranger à l'ambiance actuelle, à savoir que le remplacement des combustibles fossiles par l'électricité économise de l'énergie, même si l'on tient compte de l'énergie nécessaire à produire cette électricité. Ces économies se traduisent par une réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, un des principaux responsables de l'échauffement de l'atmosphère terrestre. Ces kilowatts de remplacement mis au service de l'économie de l'écosphère sont, pourrait-on dire, des «ecowatts».

Les planificateurs de l'énergie acceptent comme principe fondamental que la société devrait agir de façon à tirer le maximum de rendement de l'énergie. Ce sont les moyens d'y parvenir qui donnent lieu à controverse. Pour certains pronostiqueurs, il faut commencer par

réduire la consommation d'électricité, à cause des pertes d'énergie qui sont occasionnées au niveau de la centrale lors de la conversion de la chaleur en kilowatts. D'aucuns prétendent même que, chercher à améliorer le rendement énergétique de l'électricité, c'est comme vouloir «couper du beurre avec une tronçonneuse». Or, dire que l'électricité est un gaspillage est un mythe dû à la méconnaissance du bon rendement final de l'électricité et du mauvais rendement des combustibles fossiles.

Par exemple, une centrale électrique, dans le meilleur des cas, transforme en électricité environ 40% de l'énergie qu'elle consomme, tandis qu'un moteur électrique transforme en travail 90% de l'électricité qu'il consomme. A titre de comparaison, le moteur d'automobile le mieux étudié qui soit transmet aux roues du véhicule moins de 20% de l'énergie de son carburant. En d'autres termes, le gain de rendement que l'on obtient avec l'électricité fait plus que compenser le faible rendement de la centrale électrique. Notons que le rendement des combustibles fossiles est très faible dans la plupart des cas et, en vertu des lois fondamentales de la physique, intrinsèquement limité.

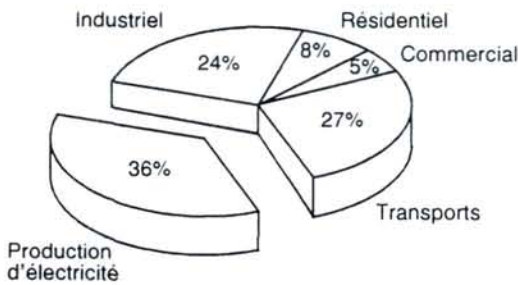
Ainsi, la fusion du minerai de fer par l'électricité produite par une centrale au charbon consomme moins d'énergie et émet moins de CO<sub>2</sub> que la même opération dans un haut fourneau classique au coke. L'emploi de l'électricité réduit de plus de 70% la quantité d'énergie utilisée et nous épargne à peu près 2 kg de CO<sub>2</sub> par kilo de fonte, et cela *compte tenu* de la quantité d'énergie, et de CO<sub>2</sub>, qu'implique la production de l'électricité. (Le passage à l'électrometallurgie intégrale est également motivé par les avantages de cette technologie sur les plans de l'économie et de la productivité, ce qui vaut également pour la plupart des applications électrotechniques.)

## Tendances générales

De nos jours, les planificateurs du secteur se comportent en fait comme le petit Hollandais du conte qui voulait empêcher l'inondation en bouchant de son doigt le trou de la digue. La consommation d'électricité aux Etats-Unis va

Le présent article reprend une étude intitulée *Ecowatts: The Clean Switch*, par M. Mills, président de Science Concepts, Inc., bureau de consultants pour la recherche et l'étude stratégique des marchés ayant son siège à Washington, D.C. On peut obtenir le texte intégral de l'étude en s'adressant à Science Concepts, Inc., 2 Wisconsin Circle, Suite 470, Chevy Chase, Maryland 20815, Etats-Unis.

**Consommation des combustibles par secteur, 1990**



Note: Les combustibles servant à produire de l'électricité livrée à d'autres secteurs sont inclus dans «production d'électricité».

croissant depuis si longtemps et si inexorablement qu'elle semble être inhérente à la société moderne.

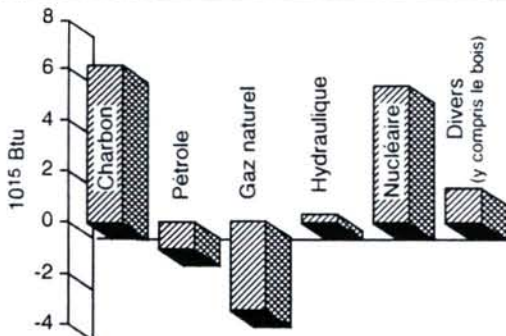
L'augmentation de la consommation d'électricité a dépassé celle de l'énergie en général, de sorte que la proportion de l'énergie totale utilisée aux Etats-Unis pour produire de l'électricité est passée de 14% en 1950 à 24% en 1970 pour atteindre 36% aujourd'hui. Il n'est donc pas surprenant que ce secteur soit devenu le domaine préféré, sinon logique, des économies d'énergie et de la protection de l'environnement. La production d'électricité consomme plus d'énergie aujourd'hui que toute autre activité de la société (voir le graphique). Le secteur des transports vient bien loin derrière au second rang.

Le secteur électrique est aussi un objet de prédilection pour les programmes de conservation de l'énergie, car aucun autre secteur énergétique ne lie aussi intimement l'utilisateur au fournisseur. Les mesures prises au niveau d'une seule centrale peuvent immédiatement et directement influencer sur la consommation de millions d'utilisateurs. Cet asservissement n'existe pas pour les combustibles utilisés par ailleurs sur le marché.

Le secteur électrique est non seulement le plus gros consommateur d'énergie, mais il est responsable de pratiquement toutes les augmentations de consommation de combustibles depuis la première crise du pétrole de 1973 (voir le graphique), et l'on pense que cette tendance persistera.

De fait, il existe de bonnes possibilités d'amélioration du rendement énergétique au

**Comparaison entre la consommation d'énergie aux Etats-Unis en 1973 et en 1990**



\* 1 Btu (British thermal unit) = 0,25 kilocalorie, approximativement

niveau de la production et de la consommation d'électricité. Il ne faut cependant pas y voir la preuve tacite que la consommation d'électricité est nécessairement un «gaspillage». Cela signifie plutôt que les possibilités d'améliorer les rendements résultent précisément des avantages intrinsèques que présentent les systèmes, appareils et procédés fonctionnant à l'électricité. Ce sont ces mêmes avantages qui amènent à remplacer les combustibles par les kilowatts.

Lorsqu'un combustible brûle, la limite naturelle du rendement énergétique est fixée par les lois fondamentales de la physique relatives à la température de combustion. Par exemple, la marge d'amélioration significative du rendement énergétique d'un moteur à explosion est minime. Les gains de rendement, en l'occurrence, sont obtenus par la réduction du poids du véhicule, de la résistance à l'avancement dans l'air, des frottements, de l'adhérence des roues, et par l'amélioration des transmissions, etc. En revanche, l'électricité offre maintes possibilités de manipuler les électrons et les champs magnétiques. Par exemple,

**Consommation de combustibles du secteur électrique et rendement énergétique national, 1973-1990**

Année	Consommation d'électricité (1973 = 100%)	Rendement énergétique SPNB/unité d'énergie
1973	100	100
1980	~120	~110
1990	~145	~130

lorsqu'un véhicule électrique décélère pour s'arrêter, la fonction du moteur est inversée de façon à produire de l'électricité pour recharger les batteries, alors qu'il n'existe pas d'astuce technique pour retransformer en carburant l'énergie cinétique d'un moteur à explosion.

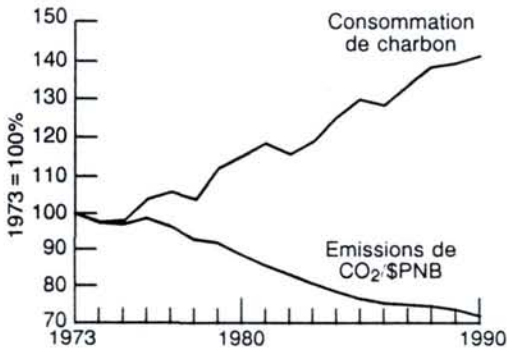
Le fait que le recours à l'électricité permet d'améliorer les rendements énergétiques est mis en évidence par les tendances générales dans l'ensemble du pays. La consommation accrue de combustibles pour produire de l'électricité va de pair avec l'amélioration des rendements énergétiques dans tout le pays (voir le graphique). Si l'emploi de combustibles pour produire de l'électricité était un gaspillage, l'importante consommation de combustibles du secteur électrique ferait baisser les rendements énergétiques dans tout le pays. Or, c'est le contraire que l'on constate. La production de tous les secteurs économiques croît à mesure que diminue la consommation des combustibles primaires. Au cours des 17 dernières années,

la consommation de combustibles par les centrales électriques a augmenté de 50% tandis que le rendement énergétique général augmentait, de son côté, de 40%, et cela compte tenu du combustible utilisé pour produire de l'électricité.

L'amélioration des rendements est considérée par la plupart comme le moyen le plus efficace de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, un des principaux responsables de l'échauffement de l'atmosphère terrestre. Ainsi, la quantité de carbone rejetée dans l'atmosphère par unité de produit national brut (PNB) pourra servir d'indicateur fondamental de l'avance du pays vers la réduction des facteurs de l'échauffement. Cet indicateur est critique en ce sens qu'il fait apparaître les rendements qui sous-tendent les activités de la société.

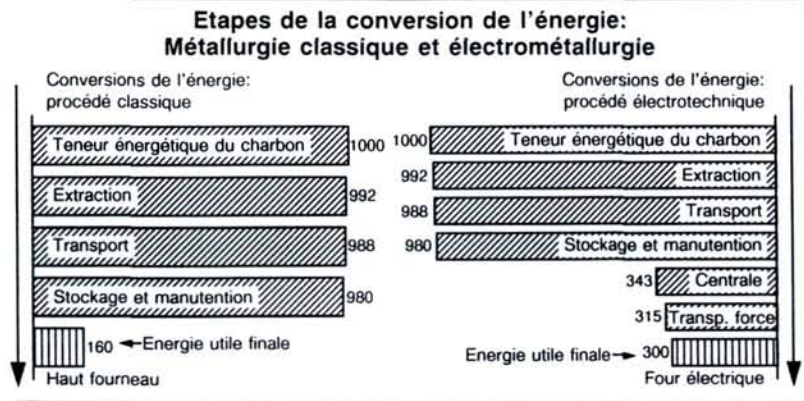
A cet égard, on constate une évolution assez inattendue qui est pratiquement passée inaperçue (voir le graphique). L'effet d'échauffement de l'atmosphère planétaire imputable à l'activité économique des Etats-Unis a diminué — autrement dit, la quantité de carbone rejetée dans l'atmosphère par unité

**Consommation de charbon aux Etats-Unis et émissions de CO<sub>2</sub> par dollar de PNB, 1973-1990**



de PNB a décliné. En 1973, la quantité de CO<sub>2</sub> émise par dollar de PNB atteignait quatre livres, mais elle était descendue à 2,34 livres en 1990. Ce phénomène est assez remarquable si l'on considère la forte augmentation de la consommation de combustible pour produire de l'électricité, depuis 1973, et le fait que 60% de cette augmentation correspond au charbon, lequel dégage, en brûlant, plus d'anhydride carbonique par unité d'énergie que tout autre combustible. En résumé, à côté des 380 millions de tonnes de charbon supplémentaires consommées par an aux Etats-Unis entre 1973 et 1990, on constate une diminution de la quantité de CO<sub>2</sub> émise par unité de PNB.

L'information dont on dispose fait ressortir nettement que l'électricité, que l'on peut voir comme un combustible à distance, est associée à une amélioration des rendements énergétiques et à une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> —



c'est-à-dire à une réduction de l'effet de serre. Cette réduction des émissions de CO<sub>2</sub> due à l'évolution de l'économie américaine ne peut pas s'expliquer entièrement par l'emploi de combustibles sans flamme (en particulier l'énergie nucléaire) et par la réduction de la consommation d'essence des automobiles. L'amélioration du rendement des carburants utilisés par le parc automobile et le développement du parc nucléaire (deux facteurs de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>) ne comptent que pour 11% et 12% respectivement dans l'amélioration globale de la situation du CO<sub>2</sub> aux Etats-Unis, depuis 1973. Un autre facteur doit nécessairement intervenir. Comme nous allons le voir, il s'agit des applications électrotechniques et de leur impact sur la consommation d'énergie en général et sur les émissions de CO<sub>2</sub>.

**Ecowatts contre CO<sub>2</sub>**

L'électrometallurgie est un des exemples les plus évidents et tentateurs du recours aux kilowatts pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub>. Le procédé électrotechnique de fusion permet d'amener pratiquement toute l'énergie directement au centre de la masse à fondre où il n'y a pratiquement pas de déperditions. L'énergie perdue au niveau de la production de l'électricité est bien inférieure à l'énergie perdue dans un haut fourneau classique (voir le graphique). La différence est la même que si l'on fait bouillir de l'eau sur le feu au lieu d'introduire directement deux électrodes dans le récipient.

La production annuelle d'acier aux Etats-Unis atteint 200 milliards de livres. Pour chaque livre d'acier traité par un procédé électrotechnique, deux livres de CO<sub>2</sub> sont évitées. Ce bilan tient compte du charbon consommé et du CO<sub>2</sub> émis par le haut fourneau, et suppose que le charbon est la seule source de l'électricité utilisée.

Le rapport 1:2 entre l'acier produit et le CO<sub>2</sub> épargné incite à l'étude d'autres applications électrotechniques. Aussi cette analyse retient-elle diverses technologies spécifiques (dont l'électrometallurgie) qui permettent de passer d'un combustible aux ecowatts. Elle ne cherche pas à calculer l'effet global d'une

1 livre = 0,4536 kg.

Exemples de technologies «écowatt»	Opération	Economies d'énergie	CO <sub>2</sub> évité
Remplacement du combustible par l'électricité			
<b>Electrometallurgie</b> Arc électrique au lieu du haut-fourneau	Production de 1 livre d'acier	50%	~ 2 livres
<b>Cuisine</b> Four micro-ondes au lieu du four à gaz	Cuisson de 2 livres de viande hachée	90%	~ 2 livres
<b>Séchage des peintures</b> Rayons ultraviolets au lieu du gaz	Séchage d'une carrosserie d'automobile	90%	~ 2 livres
<b>Imprimerie</b> Rayons ultraviolets au lieu du gaz	Séchage de l'encre sur les pages de 40 revues	60%	~ 2 livres
<b>Fonte du cuivre</b> Procédé par induction au lieu du four	Production de 10 livres de cuivre	40%	~ 2 livres
<b>Transports interurbains</b> Train GV sur coussin magnétique au lieu de l'avion	2 miles/passager	75%	~ 2 livres
<b>Lait condensé</b> au lieu du chauffage/évaporation	Traitement de 55 livres de lait	40%	~ 2 livres
<b>Gestion des déchets toxiques</b> Vitrification électrique au lieu d'enlèvement/transport/enfouissement	Elimination de 1 livre de déchets	20%	~ 2 livres
<b>Verrerie</b> Four électrique au lieu du four à mazout	Fabrication de 12 bouteilles	65%	~ 2 livres

Notes: Sous «Economies d'énergie» sont incluses l'énergie nécessaire à la production d'électricité et toutes les pertes d'énergie des cycles du combustible.  
Sous «CO<sub>2</sub> évité» sont incluses les émissions dues à la production d'électricité et l'on suppose que le combustible remplacé par le procédé électrotechnique sert à produire de l'électricité.  
1 livre = 0,4536 kg.  
1 mile = 1609 m.

électrification intégrale, mais les exemples choisis montrent qu'il y a d'innombrables possibilités d'éliminer le CO<sub>2</sub> en adoptant l'électricité (voir le tableau). Ces exemples permettent de comprendre comment les améliorations de rendement à l'échelle de la nation, dont il est question plus haut, ont pu être obtenues.

Les diverses technologies ont été choisies de façon à donner une idée du large éventail des possibilités. Dans certains cas, une autre hypothèse pourrait donner des résultats légèrement différents, mais l'effet de réduction du CO<sub>2</sub> ne serait jamais inversé par une intensification de l'électrification. Deux cas sont considérés pour illustrer le rapport entre la diminution de la consommation d'énergie et la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>:

- Le combustible remplacé par l'électricité sert à produire l'électricité (par exemple, si un four à micro-ondes remplace un four au gaz naturel, on suppose que c'est le gaz naturel qui est utilisé pour produire l'électricité).

- Le combustible est remplacé par de l'électricité produite par la combinaison de combustibles couramment utilisée dans le pays (par exemple 56% de charbon, 19% de nucléaire, 10% d'énergie hydraulique, 8% de gaz naturel et 6% de pétrole) et les émissions de CO<sub>2</sub> sont celles de cette combinaison.

Les technologies «écowatt» pour lesquelles on a calculé les quantités de CO<sub>2</sub> évitées appellent les observations suivantes:

**Séchage des peintures.** L'emploi des rayons ultraviolets (UV) au lieu du four à gaz pour

sécher les peintures permet de faire des économies d'énergie analogues à celles que l'on obtient avec un four à micro-ondes. La raison de l'emploi des rayons ultraviolets dans ce cas n'est cependant pas la réduction de la consommation d'énergie et de l'émission de CO<sub>2</sub>, mais le fait que l'opération est beaucoup plus rapide (jusqu'à dix fois) et permet d'obtenir un fini plus uniforme et donc de meilleure qualité;

**Séchage des encres d'imprimerie.** Les rayons ultraviolets peuvent aussi servir à sécher l'encre d'imprimerie. Dans ce cas également, le procédé est choisi pour des raisons de productivité et de rapidité, et pour ses avantages économiques. Le gain d'énergie et la préservation de l'environnement viennent en «prime». Le séchage UV peut être utilisé à diverses fins dans l'imprimerie, dans l'industrie électronique pour les enduits protecteurs des circuits imprimés, dans la fabrication des panneaux de bois aggloméré, et pour le durcissement du surfacage des revêtements de sol non cirés;

**Train GV sur coussin magnétique.** Les transports aériens sont, par définition, impossibles à électrifier. En revanche, les trains à grande vitesse sur coussin magnétique «volent» littéralement sur un champ magnétique à plusieurs centimètres au-dessus de leur voie et à des vitesses qui frisent les 500 km/h. Ces trains permettraient d'éviter une grosse consommation de carburant fossile en remplaçant les transports aériens interurbains, et non seulement amélioreraient le trafic sur les axes très fréquentés, mais encore réduiraient la

pollution associée aux aéroports, lesquels sont situés le plus souvent à l'intérieur ou à proximité des grandes agglomérations urbaines ou dans des zones qui sont les «poumons» des grandes villes;

**Déchets toxiques.** Pour nettoyer les zones contaminées par des déchets chimiques toxiques, on commence généralement par prélever le sol pollué que l'on transporte ensuite par camion pour le déposer sur un site agréé, de préférence retiré, où l'on a creusé des tranchées dont le fond et les parois ont été recouverts d'une couche d'argile ou de matières plastiques pour les étanchéifier. L'opération nécessite un matériel lourd de terrassement et des camions, qui consomment beaucoup d'énergie. La solution électrotechnique consiste à enfoncer des électrodes directement dans le sol contaminé pour le vitrifier, ce qui neutralise les déchets et prévient tout lessivage ultérieur. Ce procédé économise d'importantes quantités d'énergie, réduit considérablement les émissions de CO<sub>2</sub> et présente en outre nombre d'avantages sur le plan de la sûreté et de l'économie.

**Préparation du verre.** Le verre peut être fondu électriquement, par un procédé analogue à celui que l'on utilise pour les métaux. La fonte peut être entièrement électrifiée ou seulement partiellement si l'on n'a recours qu'au procédé de surchauffe électrique. Le produit est de meilleure qualité, la taille des installations est réduite (moins frais d'installations et d'équipement) et les effets sur l'environnement sont atténués. En outre, le procédé exige moins d'énergie et produit moins de CO<sub>2</sub>.

**Transports ferroviaires légers.** Les progrès de la commande informatisée des moteurs électriques ont permis d'améliorer le rendement de la traction électrique. Si la tendance à

recourir de plus en plus se maintient, elle se traduira par une réduction de la consommation d'énergie et, ce qui est peut-être encore plus important, par une moindre pollution des zones urbaines très peuplées.

**Industrie des engrais.** Il est possible d'extraire l'azote de l'air et d'en faire de l'engrais par un procédé à l'arc électrique. Le coût énergétique de la production d'engrais par ce procédé à l'endroit même où l'on en a besoin sera moindre que celui de la voie chimique classique.

**Soudage au faisceau d'électrons.** Tout comme le laser, le faisceau d'électrons permet de souder toutes sortes de matériaux. Le faisceau portant une charge électrique, il est possible de le contrôler avec une grande précision, ce qui améliore la qualité des soudures et la productivité, par rapport à ce que l'on obtient avec le chalumeau classique. Une automobile courante comporte plus de 180 soudures au faisceau d'électrons. Non seulement le soudage est plus rapide et de meilleure qualité, mais il consomme dix fois moins d'énergie pour un même travail.

### Nouvelles perspectives

Si l'on veut lutter contre l'effet de serre, il ne faut pas oublier les avantages des écowatts. Lorsque l'on remplace les combustibles par l'électricité, on réduit la pollution, et il ne faut pas oublier que les calculs *tiennent compte* des quantités de combustibles utilisés pour produire l'électricité. Les écowatts sont le produit des meilleurs rendements inhérents aux procédés et aux matériels électriques.

Leur avenir est celui des progrès de la technologie.



Aux Etats-Unis, la consommation croissante d'énergie a contribué à améliorer le rendement énergétique et à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>.