

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	75 (1984)
<b>Heft:</b>	4
<b>Artikel:</b>	Le développement des installations biénergie aux Etats-Unis
<b>Autor:</b>	Culviner, P.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-904357">https://doi.org/10.5169/seals-904357</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

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

# Le développement des installations biénergie aux Etats-Unis

P. Culviner

Des installations électriques biénergie, judicieusement étudiées et développées, peuvent répondre à certains des besoins les plus importants, actuels et futurs, des entreprises d'électricité et des consommateurs. De tels systèmes contribuent actuellement au remplacement du pétrole et continueront à le faire dans les années à venir. Le présent rapport se propose d'examiner le développement des installations biénergie aux Etats-Unis, ainsi que leur impact sur les entreprises d'électricité et les consommateurs résidentiels, commerciaux et industriels.

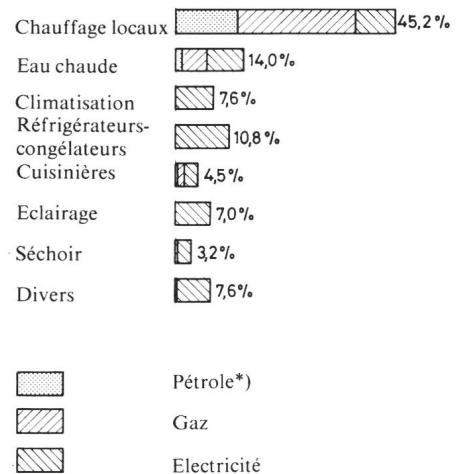
Zweckmäßig konzipierte und geplante bivalente elektrische Anlagen können verschiedenen der heute und zukünftig wichtigsten Bedürfnissen von Elektrizitätswerken und Verbrauchern entsprechen. Solche Systeme tragen augenblicklich zur Erdölsubstitution bei und werden dies auch in den kommenden Jahren tun. Der vorliegende Bericht soll die Entwicklung bivalenter Anlagen in den Vereinigten Staaten darstellen sowie ihre Auswirkungen auf die Elektrizitätswerke und die privaten gewerblichen und industriellen Verbraucher.

## 1. Introduction

L'électricité représente actuellement presque 50% de l'ensemble des emplois finals aux Etats-Unis, à l'exception des transports, alors que le pétrole et le gaz naturel fournissent 20% et 28% respectivement. Même dans ces conditions, le pétrole et le gaz couvrent la grande majorité des besoins en chauffage des locaux et de l'eau des secteurs résidentiel et commercial. Dans le secteur industriel, les besoins en vapeur et chauffage des processus sont essentiellement couverts par le pétrole et le gaz. Ces domaines offrent un important potentiel pour la substitution d'électricité au pétrole, à l'aide de diverses technologies biénergie, existantes ou à venir. De telles installations fournissent aux entreprises d'électricité la possibilité d'améliorer le rendement des réseaux et sont également utilisables dans des stratégies de gestion de la charge.

En toute rigueur, les installations biénergie utilisent ou produisent plus d'une forme d'énergie. Le présent rapport se limitera aux systèmes biénergie consommant et produisant de l'électricité. Les pompes à chaleur, la production combinée force-chaleur et le chauffage urbain viennent immédiatement à l'esprit. Les systèmes énergétiques susceptibles de réduire les coûts des combustibles conventionnels et d'assurer une exploitation efficace aux consommateurs et entreprises d'électricité seront abordés ainsi que les perspectives d'utilisation de tels systèmes aux Etats-Unis. En bref, indépendamment de leur appellation ou classification, il existe des systèmes énergétiques utilisés ou en cours de développement, qui représentent une part importante des efforts fournis en vue de diversifier les combustibles et les technologies énergétiques et, facteur encore plus important, de réduire notre dépendance pétrolière.

Avant d'aborder l'examen des systèmes biénergie, passons en revue certaines informations relatives à l'emploi de l'énergie aux Etats-Unis, afin de mettre le rôle de ces systèmes en perspective. Depuis 1973, l'emploi direct de pétrole, gaz et charbon aux Etats-Unis a diminué de 10 à 15%, tandis que l'emploi d'électricité a augmenté d'environ 23%. Cette tendance devrait se poursuivre et être facilitée par l'application appropriée de technologies susceptibles de réduire encore l'emploi de pétrole. Pour trouver comment faire, il est nécessaire d'examiner les emplois finals actuellement assurés par le pétrole. Les figures 1, 2 et 3 présentent le détail de la consommation énergétique aux Etats-Unis, à l'exception des transports, en fonction des applications dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel respectivement [1].



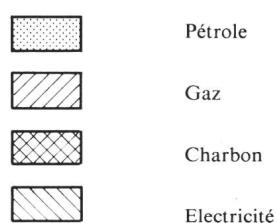
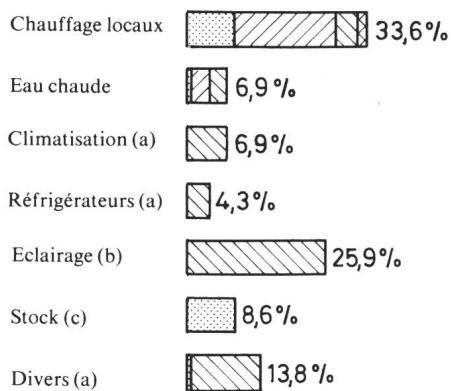
\*) Gaz de pétrole liquéfiés compris  
Source: réf. [1]

Fig. 1 Consommation approximative du secteur résidentiel en 1980

100% =  $15,7 \cdot 10^{15}$  BTU = 16,6 EJ

## Adresse de l'auteur

P. Culviner, Senior Vice President, Edison Electric Institute, 11111 19th Street, N.W., Washington, DC, 20036, USA



(a) La distribution entre ces rubriques est assez imprécise; certaines estimations pour la climatisation et la réfrigération en particulier sont environ deux fois plus élevées

(b) Eclairage public compris  
(c) Bitume et huile routière

Source: réf. [1]

Fig. 2 Consommation approximative du secteur commercial en 1980

100% =  $11,6 \cdot 10^{15}$  BTU = 12,2 EJ

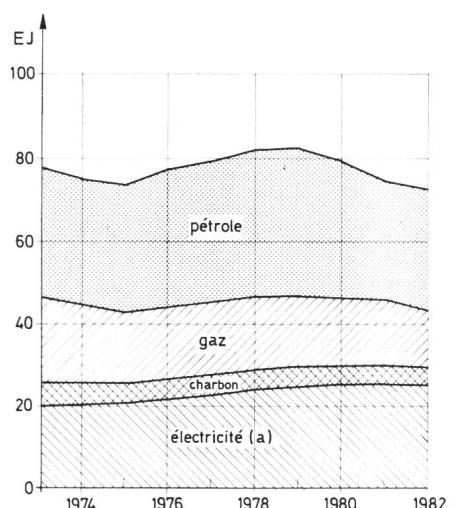
Notre dépendance envers des combustibles coûteux (pétrole et gaz naturel) résultant essentiellement des emplois finals précités, il est techniquement possible de la limiter en modifiant une partie notable de notre consommation actuelle à l'aide de di-

verses technologies existantes ou à venir. Une telle substitution d'électricité est capable de réduire et finalement de remplacer la plupart des besoins des Etats-Unis en pétrole (et dans une moindre mesure en gaz naturel), au moins pour des emplois autres que le transport. Les technologies biénergie offrent certaines des possibilités les plus intéressantes et importantes dans ce but.

## 2. Le rôle de l'électricité dans l'approvisionnement énergétique des USA

Une fourniture appropriée et fiable d'électricité est essentielle pour le bien-être économique et social partout aux Etats-Unis. Cela sera de plus en plus vrai dans les prochaines années. On estime que vers 2000, 42% environ de toute l'énergie primaire consommée aux Etats-Unis serviront à la production d'électricité [2]. Le chiffre actuel est d'environ 34%, tandis que les emplois directs du pétrole et du gaz représentent 41% et 21% respectivement.

Les chiffres suivants sont encore plus importants pour le sujet qui nous intéresse: l'électricité représente 47% de l'ensemble des emplois finals en dehors des transports, alors que le pétrole et le gaz naturel fournissent respectivement 20% et 28% [3]. Au cours des années 60, la croissance annuelle moyenne de la demande d'électricité a été de 7%. Au cours des années 70, l'électricité a été la seule source d'énergie dont la croissance a augmenté constamment, comme le montre la fi-



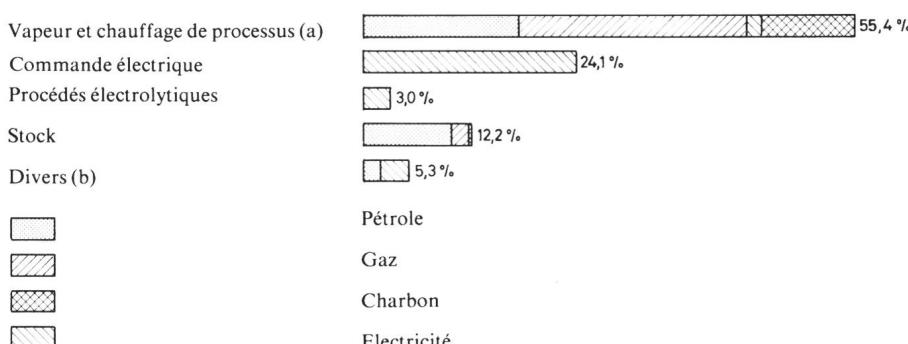
(a) Y compris les pertes de production, transmission et distribution

Source: réf. [1] et [19]

Fig. 4 Consommation d'énergie 1973-1982 aux Etats-Unis

gure 4 [1]. L'emploi direct de charbon et de gaz a diminué, tandis que la demande de pétrole fluctuait entre l'embargo pétrolier de 1973-1974 et la seconde hausse brutale des prix du pétrole en 1979-1980. Depuis lors, la demande de pétrole a diminué constamment. L'accroissement de la consommation d'énergie aux Etats-Unis a pratiquement été assuré par l'électricité; en d'autres termes, les emplois finals non électriques de l'énergie ont fortement chuté, tandis que la fraction de l'énergie fournie par l'électricité a augmenté constamment. Il est en outre prévu que cette tendance se poursuivra.

Selon des études effectuées par l'Edison Electric Institute, il semble raisonnable de prévoir que la consommation d'électricité augmentera à peu près aussi rapidement que l'économie nationale et plus rapidement que la consommation totale d'énergie. Les derniers chiffres de Data Resources, Inc. indiquent la forte probabilité d'un taux de croissance de 2,6% de la production d'électricité à la fin du siècle, ainsi qu'un taux de croissance effectif de 2,9% du produit national brut [2]. En fait, une croissance constante de la consommation de combustibles par l'ensemble des entreprises d'électricité est prévue jusqu'en 2000. Comme le montre la figure 5, il en sera ainsi alors que la contribution du pétrole et du gaz naturel à la production d'électricité demeurera sensiblement constante jusqu'en 1990, pour décroître ensuite jusqu'en 2000.



(a) Compte non tenu d'environ 3% d'énergie du bois utilisée dans l'industrie des pâtes et papiers  
(b) Risque de sous-estimation notable de «divers» et de surestimation de «chauffage»

Source: réf. [1]

Fig. 3 Consommation approximative du secteur industriel en 1980

100% =  $30,3 \cdot 10^{15}$  BTU = 32,0 EJ (a)

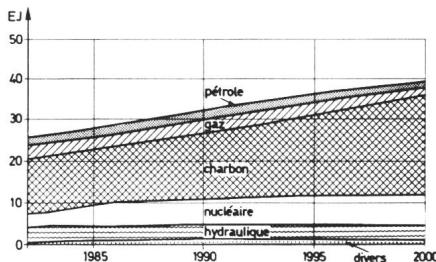


Fig. 5 Sources de combustibles pour la production d'électricité. Projection jusqu'en 2000 pour l'ensemble de l'industrie électrique aux Etats-Unis

Il faut de plus s'attendre à ce que le prix de l'électricité augmente moins que celui d'autres formes d'énergie, telles que le pétrole et le gaz naturel. L'électricité sera ainsi de plus en plus intéressante par rapport à d'autres formes d'énergie; sa plus forte pénétration sur le marché est probable dans tous les scénarios, en particulier du fait de la croissance de technologies électriques telles que la robotique, l'informatique, l'électronique et les hyperfréquences.

L'électricité, et en particulier les systèmes électriques biénergie, semblent devoir jouer un rôle important dans nos efforts nationaux pour réduire la consommation de pétrole; l'électricité est particulièrement intéressante car elle peut être produite à partir de diverses sources d'énergie autres que le pétrole (charbon, nucléaire, hydraulique, géothermie, solaire, etc.) et utilisée pour satisfaire pratiquement à tout besoin énergétique, à l'exception des stocks d'alimentation chimiques et des voyages aériens. Encore plus important est l'impact positif que l'utilisation de systèmes électriques biénergie peut avoir sur les charges des entreprises d'électricité si elles sont correctement adaptées au réseau. De nombreuses technologies, telles que pompes à chaleur, stockage thermique et éclairage naturel, peuvent contribuer efficacement à écrêter les charges de pointe des entreprises d'électricité, et par suite à réduire les dépenses en combustible de ces entreprises.

### 3. Pompes à chaleur

De nombreux systèmes à pompes à chaleur sont commercialisés ou en cours de développement pour les secteurs résidentiel et commercial. Tous ces systèmes permettent aux usagers de ces secteurs de couvrir et/ou compléter leurs besoins de climatisation de lo-

caux et de production d'eau chaude sanitaire d'une façon efficace et économique. Système biénergie, la pompe à chaleur utilise soit la chaleur d'origine solaire, provenant de l'extérieur (au-dessus ou au-dessous du sol), soit la chaleur de la circulation d'air intérieur par un compresseur électrique, afin d'introduire de la chaleur dans le bâtiment ou d'en extraire. Il existe de nombreux types différents de systèmes à pompes à chaleur.

- Systèmes *air/air*, utilisant l'air ambiant extérieur ou intérieur. Ils représentent l'essentiel des ventes actuelles sur les marchés résidentiels et commerciaux aux Etats-Unis.
- Systèmes à *couplage par le sol*, qui utilisent la terre et/ou de l'eau comme source de chaleur moins soumise à des températures extrêmes que l'air ambiant extérieur. Aux Etats-Unis, la température du sol et de l'eau souterraine varie généralement entre 5 et 20°C pendant l'hiver. Le fait que cette température est sensiblement plus élevée que celle de l'air extérieur en hiver conduit non seulement à un meilleur rendement saisonnier, mais aussi à de meilleures performances de pointe des entreprises d'électricité, et représente un avantage de ces systèmes par rapport aux systèmes *air/air*.
- Systèmes à *double combustible* (ou «hybrides»), utilisables pour compléter un système existant de chauffage au mazout ou au gaz. Ce type de système fait appel pendant la période la plus froide à une chaudière à mazout ou au gaz existante, améliorant ainsi le rendement de la pompe à chaleur. Ce type de pompe à chaleur se prête bien aux aménagements.
- Systèmes avec *assistance solaire*, qui peuvent utiliser de l'eau ou de l'air chauffé par le soleil pour alimenter la pompe à chaleur (en mode de chauffage série), ou être utilisés en parallèle avec la pompe à chaleur. Jusqu'à présent, on considère généralement que de tels systèmes ne sont pas économiques par rapport aux modèles *air/air* plus conventionnels, par suite des investissements nécessaires [4]. Une raison en est que de nombreux bâtiments exigent aussi une climatisation en été, que des systèmes à assistance solaire ne peuvent pas assurer.
- Plus de la moitié des pompes à chaleur des Etats-Unis se trouvent déjà dans le sud, où la climatisation est si répandue. L'essentiel de la croissance

potentielle se trouve dans les Etats du nord et de l'ouest, où les usagers envisageront de plus en plus souvent des systèmes centraux de climatisation et la possibilité d'acheter le chauffage en même temps. Des pompes à chaleur plus perfectionnées devenant disponibles, elles seront en outre mieux à même de répondre aux besoins des usagers dans le climat septentrional plus froid.

Il est étonnant de noter que les pompes à chaleur ne bénéficient pas des mêmes crédits d'impôts fédéraux sur le revenu (jusqu'à 40%) que les systèmes solaires aux Etats-Unis [5]. Une pompe à chaleur tirant l'essentiel de son énergie de la chaleur solaire se trouvant dans l'air ou le sol a pratiquement le même effet qu'un système de chauffage solaire avec une résistance électrique de réserve. Pourtant, l'un bénéficie d'un crédit d'impôt et l'autre en est exclue dans le cadre de la loi actuelle. La suppression de telles conséquences permettrait aux pompes à chaleur une pénétration sur le marché beaucoup plus rapide qu'actuellement.

L'utilisation croissante de pompes à chaleur implique un impact continu et croissant sur les réseaux des entreprises d'électricité. Les impacts peuvent être positifs ou négatifs en fonction de plusieurs facteurs spécifiques de l'entreprise d'électricité:

- capacité de production disponible
- pointes hivernales ou estivales
- mélange de combustibles utilisés pour la production d'électricité
- type de systèmes à pompes à chaleur utilisés

En d'autres termes, bien que les pompes à chaleur soient des utilisateurs très efficaces de l'énergie électrique, elles n'aident pas nécessairement une entreprise d'électricité à améliorer son facteur d'utilisation.

L'application et l'emploi de pompes à chaleur électriques dans des bâtiments résidentiels et commerciaux se sont dans la plupart des cas révélés fiables et économiques; comme précédemment indiqué, la pénétration sur le marché a en outre fortement augmenté au cours de la dernière décennie. Il n'en est pas de même pour les pompes à chaleur industrielles. Les recherches portant sur les pompes à chaleur pour applications industrielles ne font que commencer; les objectifs comprennent le développement de systèmes à pompes à chaleur électriques pour récupération de la chaleur perdue des processus et pour le remplacement des combustibles fossiles dans la produc-

tion d'eau chaude sanitaire, la génération de vapeur basse pression et d'autres emplois de la chaleur à basse température [6, 7].

Le principal problème technique pour permettre l'utilisation industrielle étendue de pompes à chaleur réside dans le développement de fluides de service à température élevée, susceptible de répondre aux besoins des applications spécifiques à des processus industriels.

L'emploi de systèmes de stockage thermique est un autre moyen permettant d'améliorer les facteurs d'utilisation d'une entreprise d'électricité, avec ou sans pompes à chaleur. Des systèmes de stockage de chaleur aussi bien que des systèmes de stockage de froid peuvent réduire les charges de pointe, tout en permettant aux usagers de tirer parti des tarifs hors pointe ou des tarifs multiples qui leur sont proposés. Divers moyens de stockage sont utilisables, tels que réservoirs d'eau, blocs de béton, briques ou céramique, dont la chaleur peut être extraite puis mise en circulation.

#### 4. Récupération de chaleur

La récupération de chaleur est une méthode par laquelle de la chaleur normalement perdue d'un processus est captée, puis utilisée dans une autre application ou comme préchauffage pour la même application. Ces systèmes sont considérés être biénergie, parce qu'ils peuvent par exemple utiliser la chaleur perdue, produite par des systèmes électriques, pour assurer ou compléter le chauffage de locaux ou la production d'eau chaude sanitaire. La plupart des systèmes actuellement en service fonctionnent avec de la chaleur rejetée par la réfrigération ou des systèmes de climatisation. D'autres fonctionnent avec l'énergie thermique projetée par des processus de production et de distribution d'électricité. De tels systèmes sont susceptibles d'offrir aux usagers et aux entreprises d'électricité des avantages similaires à ceux offerts par des pompes à chaleur.

Le matériel commercial approprié pour capter cette chaleur perdue est disponible aux Etats-Unis depuis le début des années 60 [8].

Les systèmes de récupération de chaleur sont souvent étudiés en fonction de leur valeur pour les industries alimentaires et des économies d'énergie qu'ils permettent dans ces dernières.

L'expérience pratique de chercheurs du Cornell University's Agricultural Engineering Department, qui ont surveillé des unités de récupération de chaleur dans des opérations laitières à New York, indique qu'environ 10% des laiteries de l'Etat utilisent des échangeurs de chaleur. Ils ont également appris que (selon le type de système utilisé) les fermiers peuvent réduire d'environ 40 à 75% la quantité d'énergie qui doit être fournie par le chauffe-eau [9]. Les économies potentielles pour le fermier et la nation ne sont relativement pas exploitées dans cette industrie.

Les centrales thermiques modernes pour la production d'électricité sont un autre domaine potentiel de récupération de chaleur. De telles centrales doivent généralement rejeter 60% au moins de l'énergie primaire consommée, sous forme de chaleur perdue. Cela représente une quantité énorme d'énergie qui pourrait en principe être recueillie à des fins productives; il convient toutefois de noter qu'il s'agit d'une chaleur à basse température (généralement inférieure à 35 °C environ) et par suite d'utilisation limitée.

Plusieurs entreprises d'électricité ont modifié les systèmes de refroidissement de leur centrale pour tirer parti de cette chaleur perdue en dérivant l'eau, normalement dirigée vers des tours de refroidissement, rivières ou lacs, dans des canalisations qui la transportent dans des zones voisines pour d'autres utilisations. Une telle utilisation, particulièrement intéressante dans des climats froids, consiste à diriger la chaleur perdue dans des serres où des échangeurs de chaleur permettent d'assurer le chauffage.

La Detroit Edison Company par exemple emploie des pompes à chaleur pour récupérer la chaleur dans une serre voisine d'une de ses centrales. La chaleur est fournie par quatre pompes à chaleur eau/air qui récupèrent la chaleur perdue de l'eau de la centrale dans un canal d'évacuation [8]. Dans un rapport portant sur les 140 premiers jours de fonctionnement (mois d'hiver), la comparaison avec une serre de taille similaire chauffée au gaz indique une économie de 42% sur les coûts de chauffage. On estime que la serre, qui est maintenant en service depuis plus de quatre ans, réalise désormais des économies encore plus importantes, compte tenu du coût croissant du gaz naturel [10]. Les pompes à chaleur fonctionnent parfois en mode refroidissement afin de maintenir jour

et nuit la température optimale de la serre.

Dans d'autres projets, l'effluent chaud de la centrale est utilisé pour maintenir une température supérieure à la valeur normale dans des bassins de centres de pisciculture voisins. Les résultats de tels projets sont impressionnantes. Les rendements de serres sont améliorés et certains poissons élevés dans une eau plus chaude atteignent une taille beaucoup plus grande [8]. De tels projets illustrent le rendement de la récupération de chaleur perdue des centrales.

Un autre projet novateur mérite d'être signalé, celui mis en œuvre par la General Electric Company (GE) dans son installation de stockage du combustible nucléaire épuisé à Morris, Illinois. L'énergie thermique produite par le combustible nucléaire épuisé stocké est captée, puis dissipée dans l'atmosphère pour le chauffage à l'aide d'un système à échangeur de chaleur eau/air avec pompe [11].

Dans la plupart des cas, les systèmes de récupération de chaleur ont un effet positif à la fois sur l'usager et sur l'entreprise d'électricité. Il est certain que les projets de récupération de chaleur des centrales ont un impact bénéfique. Ils permettent à l'entreprise d'utiliser ce qui serait normalement perdu pour le chauffage de locaux et la production d'eau chaude, tout en remplaçant le besoin de systèmes coûteux, chauffés au mazout ou au gaz, pour le chauffage de ces sites. De tels systèmes n'augmentent pas les facteurs d'utilisation de l'entreprise, indépendamment de leur emplacement; ce facteur est très important pour les entreprises d'électricité, car elles s'efforcent d'assurer l'utilisation la plus efficace possible du combustible disponible. De tels systèmes peuvent de même créer un nouveau centre de profit pour les entreprises d'électricité.

#### 5. Eclairage naturel

L'application de l'éclairage naturel dans des installations commerciales et industrielles a été limitée jusqu'à présent, comme celle des systèmes de récupération de chaleur. L'éclairage naturel, ou l'utilisation efficace de systèmes d'éclairage artificiel et naturel, ainsi que de la conception architecturale pour réduire les besoins en énergie électrique des bâtiments, commence à susciter une certaine attention dans l'industrie. La contribution potentielle

de l'éclairage naturel à la réduction de la pointe diurne du réseau et son utilisation comme stratégie de gestion de la charge présentent un intérêt particulier pour les entreprises d'électricité.

L'emploi de systèmes d'éclairage naturel permet aux bâtiments de tirer un parti maximal de la lumière du jour, maintenant ainsi la quantité et la qualité requises de l'éclairage tout en réduisant la quantité totale d'énergie électrique nécessaire dans ce but. Pour les entreprises d'électricité, la disponibilité et l'utilisation de l'éclairage naturel dans des immeubles commerciaux permettent d'ajuster la demande quand cela est le plus nécessaire, c'est-à-dire aux moments de demande de pointe. L'éclairage naturel suit les exigences quotidiennes aussi bien qu'annuelles de la demande de pointe (qui se situe en été pour la plupart des entreprises d'électricité des Etats-Unis).

Les systèmes d'éclairage tant artificiel que naturel sont des producteurs notables de chaleur, qui peut à son tour intervenir dans la charge de refroidissement d'un bâtiment. Il en est particulièrement ainsi dans les régions méridionales chaudes. Des compromis sont par suite nécessaires pour atteindre les objectifs interdépendants de réduction de l'éclairage électrique et des charges de climatisation. Une conception et une étude soignées sont essentielles pour que des systèmes d'éclairage naturel soient efficaces et économiques. La conception du Corporate Headquarters Building of Georgia Power Company à Atlanta (Géorgie) tient compte de ces compromis. On espère que ce bâtiment utilisera la moitié environ de l'énergie consommée par d'autres bâtiments administratifs de taille similaire dans la même région [12]. Une de ses caractéristiques les plus frappantes apparaît immédiatement quand on passe devant. Du côté sud, le sommet de la tour de 24 étages de bureaux présente une impressionnante saillie de 7,9 m par rapport à la base. Cette conception, dans laquelle chaque étage suplombe l'étage inférieur, permet au bâtiment de capter la lumière solaire tout au long de l'année. La fonction des retraits, qui forment un angle pour faire de l'ombre sur la moitié supérieure de chaque fenêtre tandis que les tubes horizontaux des stores font de l'ombre sur la moitié inférieure, consiste à réduire le gain thermique du bâtiment en été. Pendant les mois d'hiver, quand les rayons du soleil atteignent les fenê-

tres sous un angle plus faible, le même système permet à la lumière solaire d'assurer l'éclairage naturel. Cette application à la Georgia Power Company est originale en ce qu'elle admet l'énergie utile du soleil tout en éliminant ses effets négatifs potentiels.

Les études et recherches en matière d'éclairage naturel ont généralement porté sur le développement et l'utilisation de nouvelles méthodes de conception de l'éclairage plus efficaces, et sur des programmes améliorés de gestion de l'énergie d'éclairage.

## 6. Production combinée force-chaleur

Cette expression s'applique à la production d'électricité et de chaleur utile à l'aide du même combustible. En tant que système biénergie, la production combinée force-chaleur permet d'économiser 10 à 30% du combustible qui seraient par ailleurs nécessaires pour produire de l'électricité et de l'énergie thermique dans des installations séparées [13]; là réside son intérêt potentiel.

Lorsque les industries commencèrent à utiliser l'électricité vers le début du siècle, nombre d'entre elles produisaient leurs propres chaleur et électricité. On a estimé que cette production combinée force-chaleur assurait la moitié de l'électricité produite à cette époque aux Etats-Unis [14]. Le service public n'étant souvent pas réglementé et fiable à cette époque, la production locale assurait une source d'énergie sûre et économique. Cette tendance a toutefois été inversée au cours des décennies suivantes.

Les systèmes industriels de production combinée force-chaleur à pied d'œuvre actuellement en service aux Etats-Unis se trouvent dans des industries dont les demandes thermique et électrique sont favorablement équilibrées et coïncident. On pense qu'il en sera de même à l'avenir. Des études ont montré que la production combinée force-chaleur est surtout réalisable dans les industries chimiques, métallurgiques, papetières, alimentaires, textiles et le raffinage du pétrole. Ces industries représentent non seulement la plupart des installations existantes de production combinée force-chaleur, mais aussi 75% environ de l'énergie totale consommée dans le secteur des industries de transformation [13].

La faisabilité de développement du potentiel total de la production combinée force-chaleur sera limitée par plu-

sieurs facteurs économiques et institutionnels. Malgré les obstacles potentiels, de nombreuses entreprises d'électricité analysent le potentiel et facilitent le développement de la production combinée force-chaleur dans leurs zones de service. Il en est particulièrement ainsi dans des régions des Etats-Unis où les entreprises d'électricité disposent d'une capacité notable de production par combustion de pétrole ou de gaz. La Pacific Gas & Electric Company (PG&E) de Californie par exemple, a lancé un programme de développement de la production combinée force-chaleur afin de disposer d'une capacité de 600 MW en 1992. Jusqu'à présent, la PG&E a signé des contrats avec plus de 50 petits producteurs en vue de la production d'électricité à partir de la production combinée force-chaleur [15].

La Northeast Utilities du Connecticut a un ambitieux programme à deux phases pour déterminer le potentiel technique de production combinée force-chaleur dans sa zone de service, identifier dans quelle mesure les usagers veulent et peuvent développer les installations de production combinée, et les aider et encourager dans leur développement. La première phase de l'étude de la Northeast Utilities indique que 200 MW environ d'énergie électrique ainsi produite pourraient être «développés économiquement» parmi ses clients [16]. La seconde phase de l'étude, actuellement en cours, est essentiellement une étude de préfaisabilité visant à identifier les considérations économiques, financières, techniques et d'environnement dont des entreprises industrielles, commerciales ou institutionnelles doivent, quelle que soit leur taille, tenir compte quand elles envisagent la production combinée force-chaleur. L'étude fournira à l'entreprise des analyses du rapport coûts/bénéfices des systèmes de production combinée force-chaleur et une enquête de la clientèle permettant de déterminer un profil des exploitants potentiels de cette production combinée. Afin d'encourager davantage encore la production combinée force-chaleur, la Northeast Utilities a organisé des séminaires de formation et fourni une assistance individuelle aux exploitants potentiels, en divers endroits de sa zone de service [16]. De nombreuses autres entreprises d'électricité s'efforcent actuellement de déterminer aussi le potentiel de la production combinée force-chaleur dans leurs zones de service.

## 7. Tendances futures

Il ressort clairement de tout ce qui précède qu'il existe de nombreuses technologies électriques biénergie capables de fortement réduire la dépendance par rapport au pétrole et au gaz naturel. Dans les secteurs résidentiel et commercial, le pétrole et le gaz fournissent toujours 75% environ des besoins du chauffage de locaux et de la production d'eau chaude sanitaire [1]. Le potentiel de substitution est vaste. Les technologies de substitution, telles que les pompes à chaleur, sont en outre simples et facilement disponibles. La situation des secteurs industriels est plus complexe par suite de la nécessité de tenir compte d'une grande diversité de besoins de vapeur industrielle et de chauffage de processus, présentant de grandes différences d'importance et de température, ainsi que d'autres caractéristiques spécifiques d'application. De nombreuses technologies biénergie appropriées sont néanmoins disponibles déjà et d'autres sont en cours de développement et devraient être disponibles dans les prochaines années.

Le secteur des transports représente le plus important défi pour le remplacement du pétrole et des améliorations du rendement. Le pétrole fournit pratiquement toute (95% environ) l'énergie consommée dans le secteur des transports [1]. Plus de 60% de l'ensemble du pétrole consommé aux Etats-Unis en 1982 l'ont été dans le secteur des transports; les 3/4 environ ont servi au transport de personnes et le reste au transport de diverses marchandises [1]. L'automobile est le candidat idéal pour des améliorations de rendement, la substitution et l'adoption de mesures d'économie dans ce secteur. Des voitures électriques et/ou hybrides peuvent en outre exercer une influence positive sur les facteurs d'utilisation des entreprises d'électricité.

Améliorer les performances des automobiles actuelles économisera du pétrole; une voiture électrique ou hybride économique est néanmoins nécessaire pour le remplacement essentiel de l'essence par de l'électricité. Il est évident que toute pénétration notable de véhicules électriques sur le marché est encore lointaine et attend le développement d'une batterie présentant des performances, une durabilité et des coûts appropriés. La batterie plomb-acide, avec une autonomie limitée à moins de 160 km avant recharge, est actuellement disponible mais

coûteuse [1]. D'importantes recherches gouvernementales et privées sont poursuivies par la General Motors, la Gulf & Western, l'EPRI et d'autres pour développer et tester des véhicules commerciaux électriques et hybrides [17, 18].

Les véhicules hybrides fonctionnent avec un moteur électrique et un moteur à essence et peuvent donc être considérés comme des systèmes biénergie. Par suite de son moteur électrique, la technologie et le potentiel du véhicule hybride sont étroitement liés à ceux du véhicule purement électrique. On pense généralement que le marché des véhicules hybrides s'établira sur la technologie des véhicules électriques pour réaliser un produit acceptable sur un marché plus large par suite de sa capacité d'étendre l'autonomie et d'augmenter les performances de véhicules électriques. On espère aussi que les véhicules hybrides pourront réaliser de plus grandes économies de combustibles sans sacrifier aucune des performances d'un véhicule propulsé par un moteur à combustion interne.

## 8. Résumé – conclusions

Le présent exposé a porté sur les installations biénergie aux Etats-Unis et sur leur rôle pour aider à réduire la dépendance à l'égard de combustibles fossiles. A l'heure actuelle, des systèmes biénergie peuvent contribuer de façon notable à la substitution dans les secteurs résidentiel et commercial où le pétrole et le gaz naturel assurent toujours la plus grande partie des besoins de chauffage des locaux et de production d'eau chaude sanitaire. La technologie pour ce faire est facilement disponible et les pompes à chaleur sont déjà et demeureront un important facteur de cette action.

Le secteur des transports représente le plus grand défi pour la substitution future et des améliorations de rendement. Le développement de véhicules électriques ou hybrides, déjà en cours, ouvrira la voie à une diminution de la consommation de pétrole dans ces secteurs.

Des installations électriques biénergie, si elles sont judicieusement étudiées et développées, peuvent couvrir certains des besoins actuels et futurs les plus importants des entreprises d'électricité. De tels systèmes contribuent déjà au remplacement du pétrole et réduisent la consommation nationale de pétrole, et continueront à le

faire au cours des prochaines années. Des systèmes biénergie peuvent aussi offrir aux entreprises d'électricité l'occasion de stabiliser les coûts de l'électricité pour les usagers, grâce à des rendements améliorés des réseaux. De telles installations sont en outre utilisables comme stratégies pour la gestion de la charge des entreprises d'électricité, car elles peuvent contribuer à l'adaptation et/ou au décalage de la charge de pointe. En résumé, les systèmes biénergie offrent aux usagers et aux entreprises d'électricité certaines des possibilités les plus intéressantes et importantes pour réduire et remplacer la consommation de pétrole actuelle et future aux Etats-Unis.

## Références

- [1] Oil Use Replacement: The Electric Alternative, Energy Research Group, Waltham, MA (novembre 1981).
- [2] Data Resources Outlook of the United States Energy Sector, ENERGY REVIEW, 7, Data Resources, Inc. (été 1983).
- [3] Monthly Energy Review, DOE/EIA-0035 (83/05), Energy Information Administration, Washington, DC (mai 1983).
- [4] Directing Heat Flow, EPRI JOURNAL (mai 1981).
- [5] The National Energy Tax Act of 1978, Public Law 95-618.
- [6] R&D Status Report, Energy Management and Utilisation Division, EPRI JOURNAL (novembre 1980).
- [7] Communication personnelle de M. Carl Hiller, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (juin 1983).
- [8] 1980 Survey and Evaluation of Utility Conservation, Load Management, and Solar End-Use Projects, EPRI EM 2193, Final Report, Volume 1, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (janvier 1982).
- [9] D.M. Stipanuk and R.K. Koelsch: Energy Savings Through Refrigeration Waste Heat Recovery on Dairy Farms, Agricultural Engineering Department, Cornell University; proceedings of the Seventh Energy Technology Conference, Washington, DC (mai 1980).
- [10] Communication personnelle de M. Donald E. Cochell, Detroit Edison Company, Detroit, MI (juin 1983).
- [11] B.O. Shaven and J.W. Doman: Industrial Space Heating and Cooling from Stored Spent Nuclear Power Plant Fuel, General Electric Company; Proceedings of the Seventh Energy Technology Conference, Washington, DC (mai 1980).
- [12] Georgia Power Company Corporate Headquarters Office Building: Atlanta's Most Energy Efficient Office Building, Georgia Power Company, Atlanta, GA.
- [13] G.H. Lovin: Cogeneration: Historical Background, Present Status and Future Prospects, présenté à l'American Nuclear Society (16 novembre 1982).
- [14] Industrial and Commercial Cogeneration, OTA-E-192, Office of Technology Assessment, Washington, DC (février 1983).
- [15] PG&E Finds 600 Megawatts In Cogeneration, THE ENERGY DAILY (20 octobre 1983).
- [16] An Assessment of Cogeneration Potential in the Northeast Utilities Service Area: Phase I and Proposed phase II, Dames & Moore, Washington, DC (janvier 1981).
- [17] Electric Transportation Program, Bulletin 83-1, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (mars 1983).
- [18] C.V. Rowan: Role of Utilities in Demonstrating Electric Vehicle Technology, Philadelphia Electric Company in Proceedings of the Tenth Energy Technology Conference, Washington, DC (1983).
- [19] Monthly Energy Review, DOE/EIA-0035 (83/06), Energy Information Administration, Washington, DC (juin 1983).