

La diffusion des nouvelles technologies énergétiques: une approche économique

Une rapide diffusion des technologies énergétiques innovantes – destinées à accroître l'efficacité énergétique ou à utiliser les énergies renouvelables – peut fournir une appréciable contribution au développement durable. Compte tenu de l'abondant savoir-faire dont dispose la Suisse, la forte croissance de la demande pour les technologies de ce type sur les marchés mondiaux offre par ailleurs aux exportateurs helvétiques des débouchés très intéressants. On peut dès lors se demander quels sont les facteurs qui déterminent la diffusion des nouvelles technologies et quand il semble opportun de les encourager. C'est à travers de telles questions – mais pas seulement – que le présent article traitera de la recherche économique qui porte plus particulièrement sur la diffusion des technologies.



Reinhard Madlener
Maître-assistant au Cepe, EPF Zurich, chargé de cours à l'université de Zurich et vice-président de l'Association suisse pour l'économie de l'énergie



Il existe d'immenses besoins de (ré)investissement dans le domaine énergétique partout dans le monde. Vis-à-vis de la politique énergétique et économique, il s'agit de savoir quel rôle certaines technologies énergétiques nouvelles devraient jouer sur le marché à l'avenir. En illustration: Construction de la plus grande éolienne de Suisse à Collonges (VS).

Photo: Keystone

La très forte proportion d'agents fossiles que comporte la fourniture mondiale d'énergie – en 1999, ces agents assuraient 80% (soit 91 000 TWh) de l'approvisionnement en énergie primaire de la planète et 64% (9400 TWh) de sa production électrique totale – pose d'énormes défis environnementaux, climatiques, énergétiques et géopolitiques. Les systèmes énergétiques sont en outre de très grands dévoreurs de capitaux. Dans une étude remarquable, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) avait constaté en 2003, sur la base des scénarios de référence utilisés pour le *World Energy Outlook 2002*,¹ que l'infrastructure de l'approvisionnement énergétique exigerait à elle seule 16 500 milliards de dollars d'investissements entre 2001 et 2030.² Cette somme incroyable doit, d'une part, servir à accroître les capacités existantes et, d'autre part, à remplacer les installations déjà anciennes et celles qui arriveront à la fin de leur vie d'ici 2030.

L'énorme potentiel des nouvelles technologies énergétiques

La Suisse est, elle aussi, en passe de connaître d'immenses besoins de (ré)investissement dans le domaine énergétique, pour les diverses

raisons que voici: pénuries prévues de l'approvisionnement électrique dès 2020 suite à la fermeture des centrales nucléaires de Mühleberg et de Beznau 1 et 2, réalisation des objectifs d'EnergieSuisse,³ répercussions intervenant dans le sillage de la libéralisation du marché de l'électricité, et enfin, recommandation du Conseil fédéral d'œuvrer à l'avènement sur le long terme d'une «Société à 2000 watts»⁴ ainsi qu'à l'abaissement à 1 tonne par habitant et par an du volume des rejets de CO₂.⁵

Les exemples cités mettent clairement en évidence l'incroyable potentiel, à l'échelle planétaire aussi bien qu'helvétique, qui s'offre en matière de diffusion de nouvelles technologies énergétiques, de même que leur portée en termes de possibilités d'exportations pour l'économie suisse.⁶ Vis-à-vis de la politique énergétique, il s'agit de savoir quel rôle certaines technologies énergétiques nouvelles joueront ou devraient jouer sur le marché à l'avenir, pour nous permettre de maîtriser efficacement les défis précédemment exposés. Ce rôle peut, par exemple, consister à remplacer des installations périmées dans une économie énergétique traditionnellement centralisée, à accroître l'utilisation de techniques

améliorant l'efficacité énergétique parmi les consommateurs finals, ou encore à renforcer la diffusion de technologies à énergies renouvelables le plus souvent décentralisées.

Les objectifs énergétiques, environnementaux et climatiques visés soulèvent trois questions essentielles concernant la diffusion technologique:

- à quelle vitesse et avec quelle efficacité économique les nouvelles technologies énergétiques peuvent-elles se répandre sur le marché?
- pourquoi de nombreuses technologies s'imposent-elles plus vite et d'autres plus lentement, voire pas du tout, bien qu'elles semblent très rentables de prime abord?
- dans quelle mesure le recours (limité dans le temps) aux deniers publics pour accroître la vitesse de diffusion de nouvelles technologies déjà disponibles sur le marché – quand celle-ci est tributaire des conditions-cadres en vigueur et d'innombrables décisions individuelles, parfois interdépendantes – peut-elle se justifier?

La vitesse de diffusion de nouvelles technologies énergétiques a des effets sur chacune des trois dimensions de la durabilité (économique, environnementale, sociale). Tandis que, dans le domaine de l'énergie, la durabilité économique (croissance économique constante) est le plus souvent assimilée à la sécurité et à l'accessibilité financière de l'approvisionnement énergétique, les deux concepts de durabilités sociale et écologique sont plus difficiles à définir. Aujourd'hui comme hier, ce sont moins les pénuries (temporaires) d'énergies non renouvelables que les conséquences environnementales et sociales liées à une consommation d'énergie donnée (soit excessive, soit trop faible) qui mettent en danger la durabilité de l'approvisionnement énergétique.

La diffusion technologique, un champ de recherches multidisciplinaire

L'analyse théorique, empirique et historique de la diffusion d'innovations d'une manière générale et de la diffusion des technologies nouvelles en particulier constitue un domaine de recherches important dans toute une série de disciplines scientifiques.⁷ En économie, on entend par «diffusion technologique» la vitesse de propagation d'une innovation (produit, processus, mode d'organisation de l'entreprise) dans un espace économique donné, tandis que l'expression «adoption de technologie» se rapporte à la reprise d'une innovation par un décideur individuel qui réfléchit et agit en termes économiques.

L'économie de la mutation technique est très bien établie depuis de nombreuses années;

elle s'occupe par définition des *découvertes* et de leur protection par des brevets, ainsi que des *innovations* et de leurs effets sur la croissance économique. En revanche, la recherche sur les *processus de diffusion* est une discipline économique relativement jeune, bien que ses racines théoriques remontent aux premiers travaux de Joseph Schumpeter.⁸ Ce secteur de recherches n'a définitivement trouvé sa place dans la littérature économique qu'avec les travaux effectués aux États-Unis par Zvi Griliches⁹ dans le domaine de l'économie agricole (diffusion d'une variété de blé spéciale) et par Edwin Mansfield¹⁰ dans celui de l'industrie (diffusion de diverses technologies des processus dans un nombre sélectionné de branches du secteur productif).

Les questions qui intéressent la recherche en diffusion technologique touchent en règle générale très fortement à l'économie d'entreprise tout comme à celle du pays: elles s'adressent donc également à la politique économique. Voici quelques-unes des questions types auxquelles les chercheurs sont confrontés:

- quels sont les facteurs susceptibles d'influencer la vitesse à laquelle une innovation technologique déterminée se répand sur le marché?
- ces facteurs ont-ils sur la diffusion un effet de frein ou d'accélérateur, et quels en sont les conséquences économiques?
- quelles différences de dynamisme observe-t-on en matière de diffusion de nouvelles technologies, d'une entreprise à l'autre, entre branches ou même entre économies nationales, et comment ces différences s'expliquent-elles au plan économique?

On cherche aussi souvent à comprendre les différences dans la diffusion des innovations – que ce soit de produits ou de procédés –, le schéma spatial de diffusion, le multiplicateur de diffusion de technologies multiples (soit complémentaires, soit concurrentes), ainsi que l'influence des divers aspects de l'offre et de la demande et leurs interactions. Ces dernières années, l'attention s'est de plus en plus portée sur les aspects suivants:

- *dégressions de coûts*, résultant, par exemple, des effets d'apprentissage et d'échelle;
- *effets de réseau*: l'avantage, ou bénéfique, retiré par l'utilisateur d'une nouvelle technologie dépend du nombre des autres utilisateurs;
- *effets d'entraînement* («*spillover*»), les flux d'informations non volontaires entre concurrents sur le même marché étant susceptibles de favoriser la diffusion de nouvelles technologies.

Examinons brièvement ci-dessous quelques autres éléments économiques suscepti-

1 Agence Internationale de l'Énergie (2002).

2 550 milliards d'USD par an, voir Agence Internationale de l'Énergie (2003).

3 2000–2010: baisse de 10% des émissions de CO₂, limitation de la croissance de la consommation électrique à 5% au maximum, 3,5 TWh supplémentaires tirés d'énergies renouvelables.

4 Réduction à 2000 W par habitant de la consommation d'énergie primaire, actuellement de quelque 5000 W.

5 Actuellement de près de 5,8 t.

6 Office fédéral de l'énergie (2001).

7 En plus de l'économie, elle concerne entre autres la sociologie, la psychologie sociale, la géographie, l'anthropologie ainsi que l'enseignement du marketing, du management, de la communication, de la formation et de la santé.

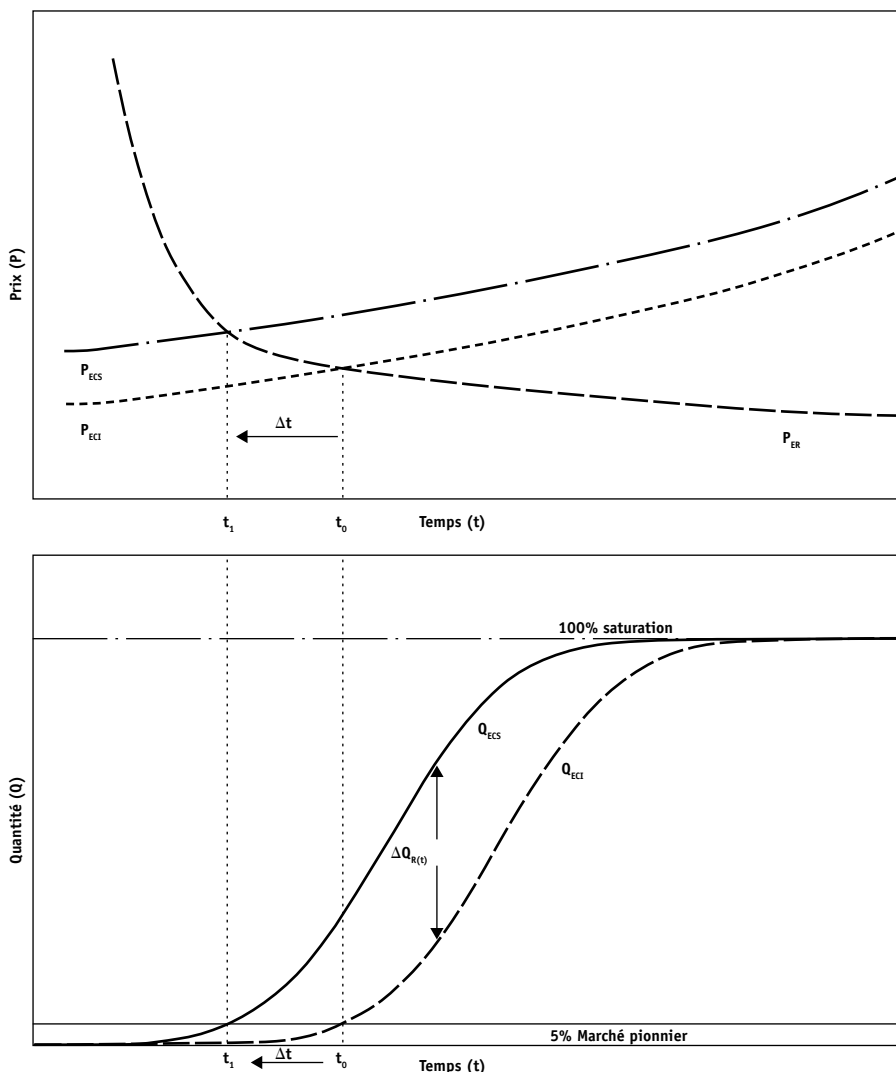
8 Schumpeter (1912).

9 Griliches (1957).

10 Mansfield (1961).

Graphique 1

Diffusion sur le marché de nouvelles technologies énergétiques en fonction de l'accès au niveau de compétitivité



Remarque: la prise en compte des coûts sociaux déplace le point d'intersection des prix (ou coûts de revient) de la production traditionnelle et de la production nouvelle d'électricité à la gauche de l'axe du temps (image supérieure), de sorte que le processus de diffusion peut commencer plus tôt (image inférieure).

Source: Hohmeyer (1989)/La Vie économique

Légende:

- P_{ECS}, P_{ECI} Prix de la production conventionnelle d'électricité avec/sans prise en compte des coûts sociaux;
- P_{ER} Prix de la production d'électricité d'origine renouvelable (coûts sociaux négligés);
- $\Delta Q_{R(t)}$ quantité de courant supplémentaire tirée des énergies renouvelable au moment t basée sur les coûts sociaux internalisés;
- $Q_{R(ECS)}, Q_{R(ECI)}$ quantité d'électricité d'origine renouvelable avec/sans prise en compte des coûts sociaux de la production conventionnelle d'électricité.

bles d'influencer la dynamique de diffusion des nouvelles technologies énergétiques.

Le dysfonctionnement du marché à la lumière des coûts (sociaux) externes

Les défaillances du marché représentent une cause particulièrement importante de la lenteur de diffusion des nouvelles technologies énergétiques. Ainsi, les coûts d'exploitation des technologies énergétiques ne sont pas pris en charges par les seuls utilisateurs, mais par l'ensemble de la société. Ces coûts dits externes, ou sociaux, concernent, dans le cas de l'énergie, ceux engendrés par le changement climatique anthropogène, les émissions polluantes, les risques non assurés ou les atteintes à la nature et au paysage que leurs auteurs n'assument qu'en partie ou pas du tout. Dans de nombreux cas, ils sont difficiles à évaluer. Le graphique 1 montre comment l'internalisation de ces coûts sociaux pourrait influencer la diffusion des nouvelles technologies énergétiques.

Le progrès technique autonome peut-il remplacer les mesures de politique énergétique?

Les mutations technologiques peuvent également se produire sans politique énergétique. Ces «progrès technique autonome» peuvent se traduire par des gains de productivité significatifs. Pour cette raison même, ceux qui critiquent les politiques promotionnelles objectent souvent que le progrès technique autonome étant le principal moteur des gains d'efficacité, les mesures politiques prises à ce titre sont relativement inutiles. D'un autre côté, pourtant, de nombreuses études ont prouvé que ces programmes politiques – par exemple, l'introduction d'un système de labels visant à réduire la consommation d'énergie des appareils ménagers ou encore certaines incitations pécuniaires (comme aux Pays-Bas)¹¹ – exercent une grande influence sur la vitesse de propagation des technologies.

Normes techniques et hétérogénéité des avantages

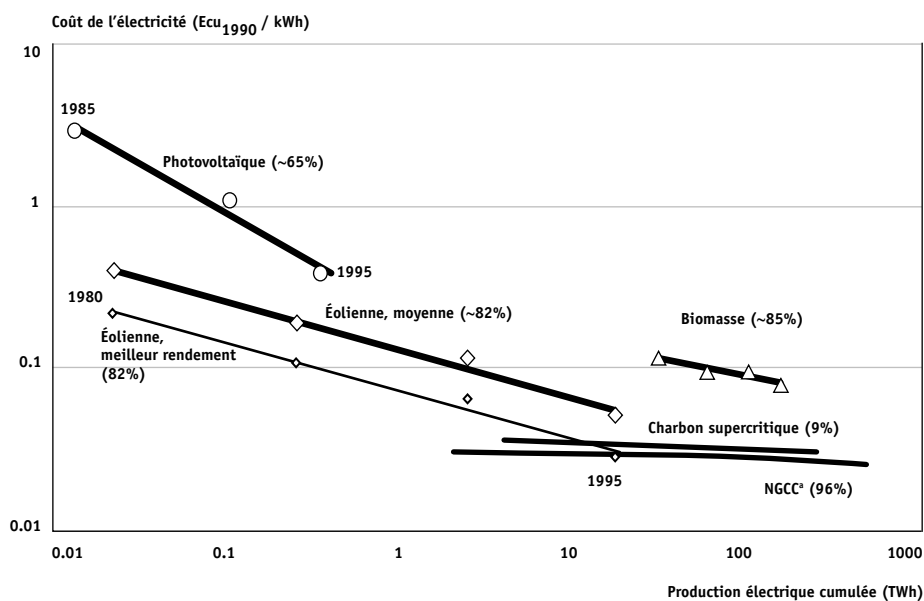
En économie, la doctrine courante considère que les instruments économiques (impôts, certificats négociables par exemple) ont un effet incitatif plus prononcé que les normes techniques (p. ex.: labels de qualité pour pompes à chaleur, normes isolantes minimales pour bâtiments) ou les standards environnementaux (par exemple valeurs seuil d'émission). Cette réflexion se fonde sur les possibilités de répartir les charges en diminuant les coûts à leur minimum ainsi que sur les effets d'incitation continus qui ne proviennent pas de standards révisés au maximum une fois seulement tous les deux ans. De récentes recherches ont cependant abouti à des résultats en demi-teinte: les standards réduisent certes la marge de manœuvre des acteurs concernés et leur imposent des frais supplémentaires, mais ceux-ci tirent également divers avantages de l'adoption de technologies énergétiques innovantes. Dans certaines conditions, les mesures destinées à promouvoir l'efficacité énergétique au moyen de subventions peuvent avoir des effets négatifs en poussant à la consommation d'énergie. De plus, certaines taxes énergétiques peuvent diminuer l'attrait de technologies économes en énergie: deux résultats contre-performants et a priori inattendus.¹²

Taux d'actualisation (implicite) et déficits d'efficacité énergétique

Le taux d'escompte appliqué est un facteur d'appréciation essentiel de l'efficacité économique des investissements consacrés aux nouvelles technologies énergétiques. On utilise

Graphique 2

Courbes d'apprentissage de quelques nouvelles technologies de production électrique



Remarque: on distingue nettement le fléchissement des courbes, autrement dit les taux de progrès (coûts unitaires résiduels pour un doublement de la production), des technologies ayant déjà produit de grandes quantités d'électricité.

a NGCC = Turbines à gaz à cycle combiné

souvent un taux d'intérêt réel de 4–8%, par lequel on souligne un potentiel économique considérable inexploité (déficit en efficacité énergétique ou paradoxe). Les critiques estiment, toutefois, que ce taux est beaucoup trop bas, arguant des coûts de transaction (acquisition d'informations, processus de commande), de l'irréversibilité partielle ou complète de l'investissement, du risque qui lui sont liés ainsi que de l'hétérogénéité des applications technologiques, par conséquent de la dispersion du profit de l'utilisateur.¹³ En fait, des calculs postérieurs de taux d'intérêt internes – par exemple dans le domaine de la diffusion de technologies d'efficacité pour les ménages et les entreprises de services – ont toujours mis en évidence des taux d'actualisation implicites très élevés, de l'ordre de 20 à 30%.¹⁴ On recommande donc de tenir compte, au moins dans certains cas, de manière appropriée pour les programmes d'efficacité énergétique, de ces taux situés apparemment à des niveaux nettement plus élevés. On veillera en même temps à réduire les coûts de transaction et les risques d'investissement en prenant les mesures qui s'imposent.

Les blocages technologiques

L'effet de blocage est un phénomène qui veut qu'en dépit de leur supériorité économique et technique, les technologies innovantes ne sont pas capables d'évincer celles qui sont en place. Selon l'historien de l'économie Paul Davies, ce type de situation peut se présenter pour trois raisons, qu'il désigne par le vocable «QUERTY-nomics»,¹⁵ en référence au désordre et l'inefficacité des claviers de machines à écrire:

- les *rappports de dépendance économique* (par exemple entre logiciels et matériel, ainsi qu'entre certaines technologies et la main d'œuvre spécifiquement formée à cette fin);
- les importants *avantages d'échelle* (par exemple lorsque de nouveaux utilisateurs profitent d'un rapport coût/bénéfice favorable pour des technologies établies depuis longtemps);
- la (*quasi*) *irréversibilité des investissements effectués* (revente difficile ou non prévue).

Une situation de blocage peut se régler au plus vite avec une politique de niche ciblée.

Courbes d'apprentissage

Les courbes d'apprentissage expriment les réductions de coûts obtenues jusqu'ici (et envisageables à l'avenir) grâce aux technologies énergétiques en fonction des quantités de production cumulées, c'est-à-dire de la puissance installée. Étant donné que les effets d'apprentissage potentiels sont généralement plus importants pour les nouvelles technologies que pour celles déjà en place, on se trouve encore dans la «portion abrupte» de la courbe d'apprentissage (voir *graphique 2*). Il faut dès lors s'attendre à partir d'un certain point à ce que les nouvelles techniques descendent au-dessous des coûts ou des prix des technologies conventionnelles (voir *graphique 1*). C'est particulièrement le cas lorsqu'on peut prévoir pour ces dernières des hausses de prix, par exemple en raison de la progression de la demande, de pénuries de combustibles, d'une hausse de la fiscalité ou des redevances (par exemple, la taxe sur le CO₂) ou encore d'un renforcement des contraintes légales (concernant par exemple les émissions de particules fines ou les installations de sécurité supplémentaires). En politique énergétique, les courbes d'apprentissage sont très utiles pour évaluer grosso modo la variation de l'intérêt économique des technologies énergétiques. Le problème de ces courbes est qu'elles désignent graphiquement, en tant que «boîte noire», une évolution qui, en réalité, résulte d'effets d'échelle, de transformations de la structure du marché ainsi que de divers processus d'apprentissage extrêmement complexes qui concerne la demande et l'offre ou encore leur interaction. De plus, les taux d'apprentissage¹⁶ évalués empiriquement ne peuvent pas être transposés automatiquement d'une technologie énergétique à une autre; en raison de la faiblesse des bases de données, du fait que les résultats dépendent de la méthode d'évaluation appliquée, et enfin de la possibilité d'une irruption subite d'innovations radicales, ils doivent être pris avec la plus grande prudence et ne sont pas sans autres extrapolables.

11 Voir Wuppertal Institut et al. (2003).

12 Verhoef et Nijkamp (2003).

13 Hasset et Metcalf (1993).

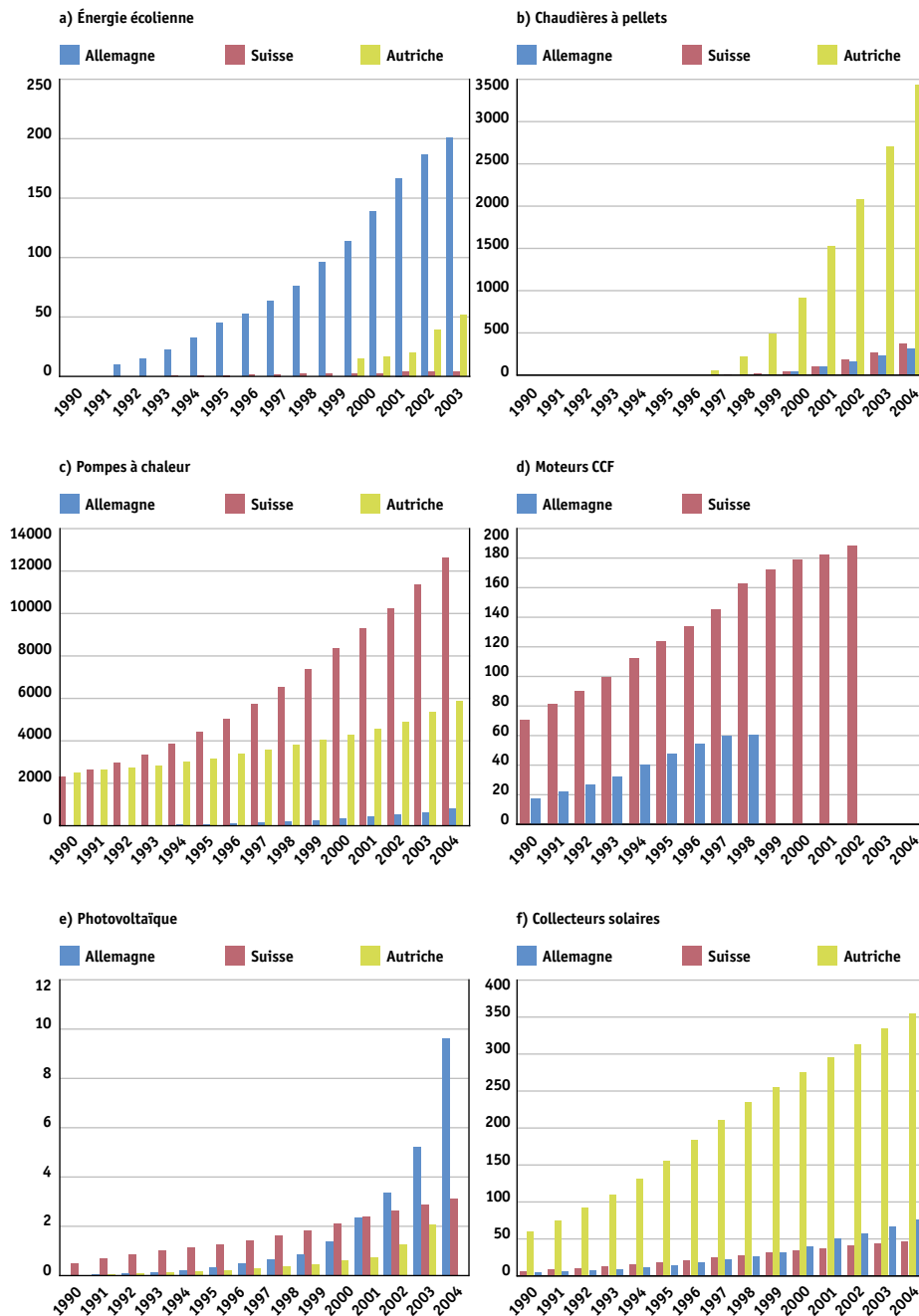
14 Sutherland (2003).

15 David (1986).

16 Le taux d'apprentissage mesure la réduction des coûts en pour cent lors d'un doublement des résultats ou des capacités en place. À l'inverse, le taux de progression (1 – taux d'apprentissage) désigne les coûts résiduels en pour cent lors qu'un tel doublement.

Graphique 3

Diffusion de quelques technologies à énergie renouvelable et de technologies d'efficacité, comparaison entre la Suisse et d'autres pays européens, 1990-2004



Remarque: valeurs cumulées pour un million d'habitants:

a) à d) nombre d'installations;

e) capteurs installés en MW;

f) surfaces installées (en milliers de m²).

Compilation de différentes sources:

a) Madlener/Schneider (2004), BWE (D); suisse éole/R.

Horbaly (CH); IG-Windkraft (A);

b) Mahapatra et al. (2004, D, A); OFS (CH);

c) Wirtschaftsministerium Baden-Württ. (D);

Ofen, OFS/GSP (CH); BMVIT/G. Faninger (A);

d) Madlener/Schmid (2003) (D); Ofen (CH);

e) BSi (D); Ofen (CH); BMVIT/G. Faninger (A);

f) BSi (D); Ofen (CH); BMVIT/G. Faninger (A).

Source: Madlener; autres (voir la remarque)/La Vie économique

Financement et risque financier des nouvelles technologies énergétiques

Les aspects financiers jouent aussi un rôle important dans la diffusion de ces nouvelles technologies. Les structures de propriété et les formes de financement peuvent exercer une influence tout à fait déterminante sur la rentabilité et les espoirs de rendement. À l'aide de calculs d'investissement simples (méthode de la valeur actuelle) on a démontré pour les États-Unis, il y a quelques années, que le coût des projets d'énergie éolienne étaient de 40%

moins élevés lorsque les investisseurs propriétaires étaient des entités de droit public.¹⁷ L'auteur de l'étude en conclut qu'il est plus avantageux pour les fournisseurs d'énergie de droit public de mettre eux-mêmes sur pied de telles installations plutôt que de conclure des contrats d'approvisionnement à long terme avec des producteurs indépendants. Les besoins souvent élevés en capital qui caractérisent les nouvelles technologies énergétiques, ainsi que les coûts de transaction des investisseurs (dus par exemple au manque de connaissances techniques), peuvent en outre ralentir sensiblement la diffusion de ces technologies. Il en résulte souvent que les investissements dans de nouvelles technologies énergétiques ne peuvent être financés que par du capital-risque coûteux plutôt que par l'emprunt. Il existe encore d'autres obstacles à la diffusion rapide de nombreuses technologies énergétiques nouvelles: la relative modestie des projets individuels (ceux qui portent, par exemple, sur des installations de production décentralisées) ainsi que les surcroûts d'exigences, en termes d'engagement en capital propre, posées par les établissements financiers par rapport aux technologies énergétiques plus conventionnelles.

Le rôle des utilités supplémentaires et le «contracting» énergétique

On entend par utilités supplémentaires les aspects bénéfiques qualitativement ou financièrement mesurables de la mise en œuvre des technologies énergétiques qui ne sont habituellement pas englobés dans les considérations coûts-bénéfices de l'économie d'entreprise (par exemple: réduction du bruit, améliorations du confort, renforcement de la sécurité de l'exploitation et/ou de la sécurité de l'approvisionnement). Dûment pris en compte dans les choix d'investissement, ils peuvent dynamiser notablement la diffusion de nouvelles technologies énergétiques. Les placements dans les technologies énergétiques ne relèvent généralement pas des métiers de base des investisseurs potentiels dont la plupart ignorent ou ne sont pas en mesure d'évaluer correctement ces utilités additionnelles, ni, par conséquent, de les prendre suffisamment en considération dans leurs choix de placement, le «contracting» énergétique joue dès lors un rôle très important dans la diffusion rapide des nouvelles technologies énergétiques.

Aspects politiques et diffusion en Suisse de quelques technologies énergétiques

Dans le monde politique, les nouvelles technologies énergétiques suscitent de grands espoirs pour atteindre et tenir un certain niveau de production énergétique durable. Tant

Bibliographie

- Agence Internationale de l'Énergie (AIE), *Experience Curves for Energy Technology Policy*, Paris, 2000.
- Agence Internationale de l'Énergie (AIE), *World Energy Outlook 2002*, Paris, 2002.
- Agence Internationale de l'Énergie (AIE), *World Energy Investment Outlook. 2003 Insights*, Paris, 2003.
- David P.A., «Clio and the Economics of QWERTY», *American Economic Review*, 75(2), 1986, pp. 332–337.
- Griliches Z., «Hybrid Corn: an Exploration in the Economics of Technological Change», *Econometrica*, 25(4), 1957, pp. 501–522.
- Hassel K.A. et Metcalfe G.E., «Energy Conservation Investment: Do Consumers Discount the Future Correctly?», *Energy Policy*, 21(6), 1993, pp. 710–716.
- Hohmeyer O., *Soziale Kosten des Energieverbrauchs*, 2^e éd., Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- Madlener R. et Schmid C., «Adoption and Diffusion of Decentralised Energy Conversion Technologies: The Success of Engine Co-Generation in Germany», *Energy & Environment*, 14(5), 2003 pp. 627–662.
- Madlener R. et Schneider M., «Economic Modelling of the Diffusion of Wind Power in Germany: Comparison of Approaches and Policy Implications», *Proceedings of the 3rd European Congress on the «Economics and Management of Energy in Industry» (Ecemei 2004)*, Estoril-Lisbonne, Portugal, 6–9 avril 2004.
- Mahapatra K., Madlener R. et Gustavsson L., «Economics of Diffusion of Pellet Heating Systems: System Boundaries, Alternative Model Specifications, and Policy Issues», *Proceedings of the 2nd World Biomass Conference «Biomass for Energy, Industry and Climate Protection»*, 10–14 mai 2004, Rome, Italie, vol. II, pp. 2190–2193.
- Office fédéral de l'énergie (Ofen), *Promotion à l'exportation dans le secteur des technologies énergétiques*, étude Infras/Fraunhofer-ISI (R.Iten, B. Oettli, E.Jochem, W.Mannsbart) sur mandat de l'Ofen, juillet 2001.
- Office fédéral de l'énergie (Ofen), *Technologie-Monitoring*, étude de Eicher+Pauli/Econcept (H. Eicher, W. Ott, R. Rigassi) sur mandat de l'Ofen, octobre 2003.
- Schumpeter J.A., *Théorie de l'évolution économique*, Leipzig, 1912.
- Sutherland R.J., «The High Costs of Federal Energy Efficiency Standards for Residential Analysis», *Policy Analysis*, 504, The Cato Institute, Wash. D.C., 2003.
- Union européenne (UE), *Énergie pour l'avenir: les sources d'énergie renouvelables. Livre blanc établissant une stratégie et un plan d'action communautaires*, COM(1997)599 final, 26 novembre 1997, Commission européenne, Bruxelles.
- Union européenne (UE), *Livre vert sur l'efficacité énergétique ou Comment consommer mieux avec moins*, COM(2005)265 final, 22 juin 2005, Commission européenne, Bruxelles.
- Verhoef E.T. et Nijkamp P., «The Adoption of Energy-Efficiency Enhancing Technologies. Market Performance and Policy Strategies in Case of Heterogeneous Firms», *Economic Modelling*, 20 (4), 2003, pp. 839–871.
- Wiser R., «Renewable Energy Finance and Project Ownership», *Energy Policy*, 25(1), 1997, pp. 15–27.
- Wuppertal Institut et al., *Energy Efficiency Programmes and Services in the Liberalised EU Markets. Background Document*, Report prepared for the Save Programme, Wuppertal Institut, Wuppertal, 2003.

rité obtenus ou susceptibles d'être atteints par des décisions politiques. Un processus de diffusion trop lent peut engendrer des pertes de prospérité en sous-optimalisant la productivité. Un processus trop rapide peut conduire à l'achat de technologies insuffisamment développées ou d'un prix excessif. Contrairement à une opinion souvent répandue, un processus de diffusion qui se voudrait le plus rapide possible n'est pas toujours judicieux au plan économique. La politique de diffusion doit donc s'intéresser aux instruments politiques (impôts, mesures d'incitation, campagnes d'information, etc.) susceptibles d'encourager les nouvelles technologies énergétiques en vue d'obtenir des gains de prospérité à des coûts favorables. La question se pose en outre de savoir si des institutions étatiques sont mieux placées que des investisseurs privés pour évaluer les chances du marché et exploiter des niches. Dans l'idéal, ce genre de considérations doit non seulement inclure l'accroissement de prospérité des fournisseurs et des utilisateurs de technologies, mais aussi les incidences externes et celles que l'on observe au niveau de la distribution (par régions, générations, branches industrielles, groupes sociaux, etc.).

Pour les technologies jouant un rôle clé, l'étude sur la veille technologique («technologie-monitoring») de l'Office fédéral de l'énergie (Ofen)¹⁹ prend en considération aussi bien le développement historique et l'évolution technico-économique probable des technologies que les changements du cadre légal général (par exemple, la libéralisation du marché de l'électricité). Elle évalue également les potentiels de commercialisation et les marges de manœuvre disponibles pour la promotion de technologies novatrices.²⁰ La veille technologique s'intéresse à la cogénération avec moteur (couplage chaleur-force, CCF, ou modules pour centrales de chauffage à distance, BHKW), aux piles à combustible, aux pompes à chaleur et aux isolations thermiques à haut rendement. Les travaux dans ces domaines constituent une base importante sur laquelle la recherche économique en matière de diffusion de nouvelles technologies peut avancer. Le graphique 3 montre la diffusion de quelques exemples de technologies clés (éoliennes, chauffage aux pellets, pompes à chaleur, couplage chaleur-force, photovoltaïque et collecteurs solaires) en Suisse par rapport à l'Allemagne et à l'Autriche. Elle fait apparaître des dynamiques de croissance très inégales. On constate aussi que de nombreuses technologies novatrices réussissant sur le marché, ont bénéficié d'un cadre légal stable, de mesures incitatives et du fait que, le plus souvent, elles ne jouaient qu'un rôle très faible par rapport à l'ensemble des besoins énergétiques malgré des taux de croissance élevés. ■

l'Union européenne que la Suisse se sont fixé l'ambitieux objectif d'accroître la part des énergies renouvelables dans la consommation globale et d'augmenter le rendement énergétique.¹⁸ Aussi, dans de nombreux pays, la diffusion de ces nouvelles technologies est-elle fortement subventionnée, afin de lancer ou d'accélérer un processus de diffusion autopporteur d'une part et de remédier aux situations de blocage d'autre part. Il est, enfin, politiquement plus facile de faire passer un système de subventions en faveur d'énergies propres que des taxes énergétiques destinées à internaliser les incidences extérieures.

Les responsables de la politique énergétique sont tenus de veiller à ce que la diffusion des nouvelles technologies énergétiques soit optimale. L'économie du bien-être est un bon critère pour juger du rythme optimal de diffusion. Elle s'emploie à déterminer si les coûts de la politique des pouvoirs publics sont plus élevés ou plus faibles que les gains de prospé-

17 Wiser (1997).

18 Union européenne (1997, 2005).

19 Programme «Fondements de l'économie énergétique – FEE».

20 Office fédéral de l'énergie (2003).