

L'énergie, son importance pour l'économie

Résumé

L'importance de l'énergie est traitée ici dans un contexte pratique. Cette publication s'adresse en particulier aux chefs d'entreprise et d'exploitation, aux responsables de l'entretien et des questions énergétiques, cadres de la vente et autres collaborateurs des entreprises industrielles et artisanales. L'importance économique de l'énergie se manifeste à tous les niveaux des exploitations, des secteurs d'activités et de l'économie tout entière. La notion de « potentiel d'économie d'énergie », expression à la mode, fera l'objet d'une discussion serrée. Les statistiques montrent une évidente dépendance entre la mise en œuvre d'énergie et la croissance économique. Conclusion : engager l'énergie à bon escient, constitue, à tout point de vue, un investissement de bon rapport.

Impressum

Cette brochure est publiée dans la collection Ravel-Industrie.

Editeur

Office fédéral des questions conjoncturelles, Belpstrasse 53, 3003 Berne

Secrétariat

RAVEL c/o Amstein + Walthert AG, Leutschenbachstrasse 45, 8050 Zurich

Responsable : Prof. Daniel Spreng, ETH Zentrum, ETL, 8092 Zurich

Auteurs

Daniel Spreng, ETH Zentrum, ETL, 8092 Zurich

Jürg Schwarz, ETH Zentrum, ETL, 8092 Zurich

Rédaction

Christian Bachmann, 8001 Zurich

Traduction et adaptation de la version française

Dr Mona K. Fahmy, 4125 Riehen

J.-Cl. Scheder, La Rebuse, 1038 Bercher

Mise en pages et photocomposition

Consortium Dac / City Comp SA, Lausanne et Morges

Impression et distribution

OCFIM, 3000 Berne

Coordination romande du programme d'action « Construction et énergie », EPFL-LESO, case postale 12, 1015 Lausanne (N° de commande 724.316 f)

Copyright : Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne, mars 1994

Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source

ISBN 3-905233-54-1

Edition originale : ISBN 3-905233-18-5

Table des matières

De solides arguments pour une nouvelle pratique d'entreprise	2
1 Utiliser rationnellement l'énergie : une bonne action rentable	4
1.1 Raisons économiques	4
1.2 Moyens techniques	6
1.3 Gestion de l'énergie	9
1.4 Esprit d'entreprise	12
1.5 Objectifs énergétiques et modèle d'entreprise	12
2 Définition du « potentiel d'économie d'énergie »	15
2.1 Définitions	15
2.2 Potentiels d'économie réalisables à court terme	18
2.3 Potentiels d'économie réalisables à long terme	21
3 Energie et économie	24
3.1 Fonctions primaires de l'énergie	24
3.2 Dimension historique	32
3.3 Statistique énergétique	37
3.4 Interactions entre l'énergie et l'économie	44
Références	54
Publications du programme d'impulsions RAVEL	55

De solides arguments pour une nouvelle pratique d'entreprise

L'énergie est un bien précieux, à la base de tout succès économique et du bien-être de l'homme. Facteur de progrès, son utilisation ne connaissait pas de limite jusqu'à la reconnaissance des valeurs écologiques. Une évidence s'est imposée peu à peu : une consommation démesurée d'énergie détruit l'environnement dans lequel et grâce auquel nous vivons. Les interactions entre l'homme et son milieu naturel sont nombreuses, complexes ; mais au centre de cette équation une variable y joue un rôle de premier plan : l'énergie.

Environnement et économie

Environnement et économie : deux domaines étroitement liés et qui sont condamnés à faire bon ménage ; aussi une utilisation intelligente de l'énergie est-elle bénéfique à eux deux.

Interactions

Nous avons collecté dans cet ouvrage, à destination des cadres et employeurs d'entreprises industrielles et commerciales, une grande quantité d'observations, d'ordinaire laissées de côté, en raison de la routine et des habitudes de travail. Elles sont autant d'arguments qui amèneront à la démonstration qu'il vaut la peine d'entreprendre des efforts pour utiliser l'énergie rationnellement. Voici quelques-unes de ces raisons :

Des arguments

- une moindre quantité d'énergie achetée entraîne une diminution des frais d'exploitation ;
- le recours à une énergie de haute technicité élève le niveau technique de toute l'exploitation ;
- une gestion moderne de l'énergie affermit la marche de la production et améliore les produits ;
- l'image de l'entreprise sera perçue de manière d'autant plus avantageuse par le personnel et le public que son système d'exploitation utilise rationnellement l'énergie ;
- sachant que l'énergie va se raréfiant, son prix en augmentant, l'utiliser à bon escient apparaît comme une élémentaire précaution ;
- économiser l'énergie, c'est épargner l'environnement ;
- en utilisant rationnellement l'énergie, les entreprises ajouteront un atout à leur compétitivité sur les marchés internationaux.

Potentiel d'économie d'énergie

Au niveau politique, il est beaucoup question de « potentiel d'économie d'énergie ». Nous aborderons cette questions au chapitre 2 de cette publication.

Le rapport entre l'économie et l'énergie détermine le niveau de développement d'une société. De tout temps l'énergie, dans ses formes plus élémentaires, va marquer l'histoire de son empreinte, avant que n'interviennent les statistiques et les bilans chiffrés. Au stade actuel, il nous faut parler des différentes formes d'énergie, selon qu'elles recourent ou non à la technique, de chaînes énergétiques, avec leurs étapes d'élaboration et de transformation, de l'énergie grise, primaire et finale.

Formes d'énergie

Le binôme développement économique – consommation d'énergie prête à de nombreuses conjectures, chacune avec des scénarios futuristes se déroulant sur la scène mondiale.

Conjectures

Mais que faire pour utiliser mieux l'énergie, c'est-à-dire à bon escient ? Il faut affirmer d'emblée que ce n'est pas là tant une question de technicité à développer que de stratégie à engager, laquelle va requérir la participation personnelle et financière de tout un chacun. Et que l'on soit opposé ou favorable à telle ou telle décision importe peu : l'essentiel est de mettre en avant les arguments les meilleurs.

Utilisation rationnelle

Au cours de ce débat, on devrait toujours avoir à l'esprit le rôle décisif joué par l'énergie à l'échelle planétaire et le devoir incontournable de l'utiliser au mieux. Les professionnels de l'énergie, les chefs d'entreprise, les hommes politiques et les décideurs ne pourront que bénéficier de la reconnaissance publique de l'importance de leurs activités. Une vue globale des problèmes énergétiques se dégagera alors, qui contribuera à favoriser l'utilisation réfléchie de l'énergie, par tous, et à tous les échelons des activités humaines.

Vue globale

1

Utiliser rationnellement l'énergie : une bonne action rentable

Etablir une relation réfléchie avec l'énergie se pose également comme un devoir de gestion, et cela non pas pour les seuls impératifs économiques. Cet aspect est certes le plus tentant aux yeux des entreprises, quand bien même beaucoup d'entrepreneurs considèrent actuellement qu'une économie saine ne peut prospérer que dans un environnement sain.

Une production moins gourmande

Dans la pratique, les possibilités de recourir à des procédés de production moins gourmands en énergie sont à l'ordre du jour. Il suffit souvent d'une organisation mieux adaptée. Avec pour conséquence des frais de production moindres et des bénéfices plus élevés. Parallèlement les produits s'améliorent, les chances sur le marché s'accroissent, avec un effet positif sur le chiffre d'affaires et la production.

Investissements

Un grand nombre de mesures d'économies d'énergie peuvent être appliquées sans recourir à de gros investissements – quoique ces derniers, en période de récession, soient susceptibles de donner un coup de pouce non négligeable à l'économie.

Gestion de l'énergie

Une bonne gestion de l'énergie encourage d'une manière générale la circulation de l'information dans l'entreprise elle-même, accroissant ainsi sa compétitivité. Une entreprise qui parie pour une gestion intelligente de l'énergie se fera apprécier pour son nouvel esprit, à la fois par le personnel et par le public.

1.1 Raisons économiques

Motivations

Les motivations pour faire œuvre de pionnier en ces nouveaux domaines sont avant tout, pour les entreprises, d'ordre économique. Des convictions personnelles, le désir de donner une image publique avantageuse, peuvent aussi jouer un rôle.

Concrétisation

Certes, toutes les mesures d'économie d'énergie immédiatement rentables ont été appliquées dans la plupart des entreprises suisses. Mais il n'en existe probablement aucune qui les applique effectivement toutes.

En effet, les possibilités d'économie, leur étendue ne sont que très peu connues: pourtant des économies de 10% ou plus, réalisées sans investissement notable, ne sont pas rares. Dans l'industrie transformant les matières de base, très gourmande en énergie, – représentant plus de 10% des frais d'exploitation – une économie de 1% représente déjà une belle somme d'argent.

Degré de connaissance

Pour des procédés consommant moins d'énergie, les possibilités d'économie sont souvent plus élevées qu'il n'y paraît à première vue. Par simulation sur un modèle, on parvient à connaître le potentiel réel d'économies, celles qui se peuvent appliquer sans difficultés et sans dépenses onéreuses.

Potentiel réel

Le poids de l'énergie est tel dans notre économie que les coûts de l'énergie épargnée s'additionnent directement au bénéfice net. C'est exactement le contraire dans le cas d'investissements engagés en vue d'accroître la productivité: il faut en effet stocker et commercialiser les nouveaux produits, conquérir de nouveaux marchés et consentir des dépenses supplémentaires pour la protection de l'environnement. Le gain net s'en trouve par conséquent d'autant plus faible.

Gain net

La rentabilité doit être examinée dans son ensemble. Certains facteurs n'ont pas un impact financièrement mesurable, pourtant ils sont à prendre en considération dans toute prise de décision, tels sont:

Coûts réels

- la sécurité de l'alimentation et de l'exploitation;
- les risques et les charges pour l'environnement;
- les points de vue sociaux;
- une utilisation conviviale;
- le souci de son image de marque;
- le gain de compétitivité par des procédés moins gourmands en énergie.

Une vue complète

Les méthodes d'évaluation purement économiques (calculs d'investissements, de rentabilité) qui orientent généralement les processus de décision des entreprises sont présentées dans le «Manuel RAVEL pour l'industrie»¹ et, de manière exhaustive, dans cette autre publication de RAVEL, «Méthodes d'analyses économiques de systèmes énergétiques»².

Bibliographie

1.2 Moyens techniques

Degré de technicité Solliciter rationnellement l'énergie est un objectif qui exige, entre autres, des moyens techniques. Avec cette observation d'ordre général : pour un procédé donné, une installation disposant d'une technicité de pointe consomme moins d'énergie qu'une même installation de la génération précédente. Economie d'énergie et technique de pointe vont souvent de pair.

Techniques d'économie d'énergie

Programme d'impulsions Ravel Faire un usage rationnel de l'énergie, voilà un défi qui traditionnellement appartient aux ingénieurs et techniciens. Ils misent sur le développement de techniques économes d'énergie telles que les entraînements à vitesse de rotation réglée, des éclairages performants, des installations de récupération de chaleur et autres équipements similaires. Le programme d'impulsions RAVEL organise des cours et publie des brochures³ sur tous ces thèmes. Des mesures de rationalisation techniques sont toujours recommandées, surtout sur de nouvelles installations. Avec pour base les valeurs énergétiques obtenues par simulation sur un modèle.

Mesures techniques, direction d'exploitation Ces types de mesures sont introduites quand elles conviennent techniquement et qu'elles correspondent à la structure de l'entreprise et à son esprit. Cependant ces réformes ne devraient pas se limiter à des mesures techniques. Certaines mesures, en effet, ne demandent pas d'investissements et dépendent largement de la direction (voir figure 4, p. 19) : efforts personnels d'économie, optimisation du processus d'exploitation.

Optimisation Des économies d'énergie sont directement réalisables, par exemple si l'on règle température et pression aux valeurs requises, si l'on éteint les appareils non utilisés et si l'on choisit les installations énergétiquement les plus avantageuses. Réduction des temps de mise en attente, des pertes de production, une bonne estimation des capacités, infrastructures et technique de production optimales concourent également à un usage rationnel de l'énergie. Sur ce plan-là, les nouvelles techniques d'information ont un rôle déterminant à jouer, qu'il s'agisse de questions purement techniques ou de performance de l'exploitation.

Le rôle des nouvelles techniques d'information

Introduction des NTI Les termes « nouvelles techniques d'information » (NTI) concernent le hard et le software. Le hardware désigne le matériel électronique de saisie, de traitement et de diffusion d'informations, i. e. les appareils de mesure, commande et régulation (MCR), ainsi que les techniques de communication. Le recours aux diverses techniques se fait par l'intermédiaire du software (ou logiciel). Son développement tient au fait que les nouvelles techniques sont de plus en plus largement répandues et que leur utilisation devient toujours plus conviviale.

L'état d'une entreprise se mesure à l'aune des nouvelles techniques d'information qui pilotent les éléments centraux de nombre d'installations tels que :

- systèmes « intelligents » de commande, de mesure, de régulation ;
- saisie et traitement des données ;
- intégration de toutes les données dans une gestion globale.

Le recours ou non aux NTI sera déterminant pour la consommation d'énergie d'une entreprise. En retour, celles-ci exerceront une action favorable sur le niveau des connaissances techniques et permettront de rationaliser la demande en énergie.

Conséquences énergétiques des NTI

Il est bien évident que ces NTI (centres de calcul, télécommunications, robotique, etc.) consomment de l'électricité. Mais, grâce à l'introduction de techniques de mesure, commande et régulation, les procédés sont rendus plus rapides et précis, plus simples à contrôler et à coordonner, ce qui réduit la demande spécifique d'énergie ou d'électricité.

Ce n'est que depuis peu d'années que les NTI sont reconnues comme des consommateurs d'énergie importants⁴. Aussi n'est-il pas étonnant que le concept d'utilisation rationnelle de l'énergie soit entré actuellement dans le domaine des techniques d'information et de l'électronique des loisirs⁵. Dans le secteur des services, il est tenu compte de la consommation des appareils de bureau, des ordinateurs et des moyens de communication. Le programme d'impulsions RAVEL propose dans ce but une série d'aides et de conseils⁶.

Les exploitations industrielles recourent aux NTI pour la production ainsi que pour d'autres usages. Leur dépense d'énergie dans le secteur de la production est généralement négligeable.

Dans l'industrie, les conséquences de l'introduction des NTI sur la consommation sont considérables. On peut parler à ce sujet de révolution, et parier que le paysage industriel de demain sera fort différent de celui d'hier.

Gestion de l'énergie et mesures d'économie par les NTI

Les NTI constituent une aide efficace pour la saisie et l'analyse des données relatives aux consommateurs d'énergie et pour la répartition des informations obtenues. Ce qui ne manquera pas de motiver les collaborateurs et activer leur souci d'économiser l'énergie.

Dans bien des cas, l'introduction des circuits MCR a rendu une exploitation des plus performante sur le plan énergétique. Un bon exemple est celui du textile, où le séchage par rayonnement infrarouge peut être stoppé dès que l'étoffe ne contient plus que la quantité d'humidité désirée, évitant qu'elle ne devienne trop sèche et froissée.

Les NTI, éléments centraux

Les NTI et la consommation d'énergie

Les NTI consommateurs d'énergie

Les NTI dans l'industrie

Saisie de la consommation d'énergie

Exploitation optimale d'énergie

Procédés améliorés à l'aide des NTI

Automatisation, assurance de qualité

Les NTI servent surtout à automatiser et à assurer la qualité des produits. Préparation du travail et gestion des stocks sont informatisés : les délais entre l'instant de la commande et de la livraison s'en trouvent réduits, ce qui est souhaité dans bien des branches.

Effets indirects

La consommation d'énergie par produit fabriqué sur un procédé recourant aux NTI diminue dans la même proportion que l'énergie épargnée grâce aux MCR. Le tableau I montre les économies d'énergie possibles dans l'industrie textile (estimations approximatives) grâce aux NTI, en pourcent par installation et par opération relevant du procédé global de tissage du coton jusqu'à l'obtention de l'étoffe teinte ou imprimée. Nous y trouvons également les économies relatives à la consommation d'électricité.

Un exemple : la colorimétrie

La teinture du textile exigeait jusqu'alors savoir-faire et doigté. C'est l'expérience du maître teinturier qui lui faisait choisir la quantité de teinture nécessaire à l'obtention de la couleur désirée. Aujourd'hui des colorimètres électroniques analysent la couleur de l'étoffe teinte et calculent la composition précise du bain correcteur. Cette innovation supprime plus de la moitié des retours pour le réajustement des teintures, indispensables jusqu'il y a peu d'années. En définitive, et bien que le but initial ne fût pas l'économie d'énergie mais l'accroissement de la productivité, ce procédé nouveau, pourtant fort gourmand en énergie, en économise.

Une documentation RAVEL, exhaustive et mise à jour, consacrée à «Energie et automation» est en préparation.

Tableau 1

Conséquences de l'introduction des NTI sur la consommation d'énergie dans l'industrie textile

La colonne A relève la consommation d'installations particulières.

La colonne B la consommation globale d'énergie de l'exploitation.

La colonne C l'électricité consommée en rapport à la consommation globale.

Mesures d'économie d'énergie	Niveaux de référence de la consommation d'énergie		
	A	B	C
Techniques générales :			
• régulation de vapeur	-10%	-5%	—
• régulation de la vitesse de rotation des entraînements	-15%	-1%	-2%
Mesures particulières :			
• climatisation	-40%	-2%	-4%
• encollage	-10%	-1%	—
• séchage	-15%	-4%	—
• autres	—	-2%	-2%
Diminution de la consommation à l'aide de l'ensemble des moyens techniques		-15%	-8%
Toutes les mesures ensemble :			
• 2/3 des mesures techniques indépendamment des suivantes		-10%	-5%
• gestion de l'énergie		-5%	-5%
• automatisation et accélération de la production		-10%	-5%
• assurance de la qualité		-10%	-5%
Diminution globale de la consommation		-35%	-20%

La gestion de l'énergie poursuit deux buts : l'économie de cette énergie et son corollaire, une utilisation rationnelle.

Automation et accélération de la production requièrent de l'énergie, mais elles en restituent par la diminution de la consommation et en incitant à l'innovation et à l'augmentation de la production pour une même dépense énergétique. Les économies dans la filature atteignent 20%, dans d'autres secteurs des valeurs équivalentes ou moindres⁷.

1.3 Gestion de l'énergie

Tous les collaborateurs d'une entreprise sont concernés par l'énergie, ne serait-ce qu'en allumant ou en éteignant une lampe à leur place de travail. Mais la question énergétique ne relève du cahier des charges que d'un petit nombre de personnes. Gérer l'énergie c'est introduire les intérêts énergétiques dans la planification de l'exploitation. En mettant en évidence les questions suivantes :

- Comment diminuer les coûts de l'énergie ?
- Qui peut influencer sa consommation, celle de l'électricité notamment ?
- Quel système de surveillance et de commande convient-il le mieux au but recherché ?
- Quels mécanismes fournissent les meilleurs projets de rendement énergétique ?
- Quels instruments de contrôle introduire ?

Intégration de l'énergie

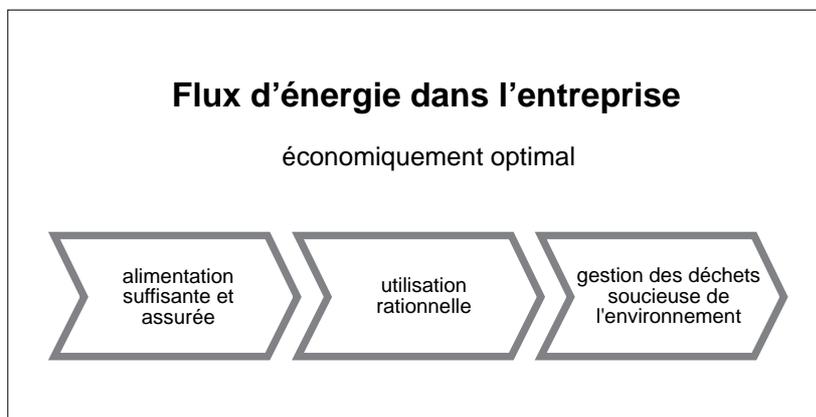


Figure 1: Le flux énergétique dans une exploitation: les trois paliers.

Responsabilités partagées

Alors que l'approvisionnement en énergie, sa distribution à l'intérieur de l'exploitation et les questions de recyclage ressortissent à un nombre restreint de responsables, la responsabilité de l'utilisation rationnelle de l'énergie dans un procédé est l'affaire de beaucoup de collaborateurs. La consommation d'énergie dépend du niveau des commandes, du taux de charge, du type d'exploitation et de la maintenance des installations. Si des installations vétustes sont à remplacer, il faut à tout prix s'assurer que les concepteurs des nouvelles installations se soucient de consommation d'énergie.

Dans le but d'accorder tous les efforts des utilisateurs d'énergie et de les rendre conscients de leur rôle, l'entreprise doit pouvoir compter sur une bonne circulation de l'information. Ce n'est qu'à cette condition que la responsabilité partagée sera assumée.

Responsabilité devant la consommation d'énergie

De l'importance de la circulation de l'information

Un réseau pour améliorer la circulation de l'information

Boucles de régulation

Le meilleur système serait un réseau d'information constitué de circuits à boucle auxquels tous les collaborateurs concernés par les questions énergétiques sont reliés. Au centre de cette boucle se trouvent les personnes issues de tous les niveaux de la hiérarchie. De cette manière, toute personne selon sa fonction pourra suivre le processus de production en cours (figure 2).

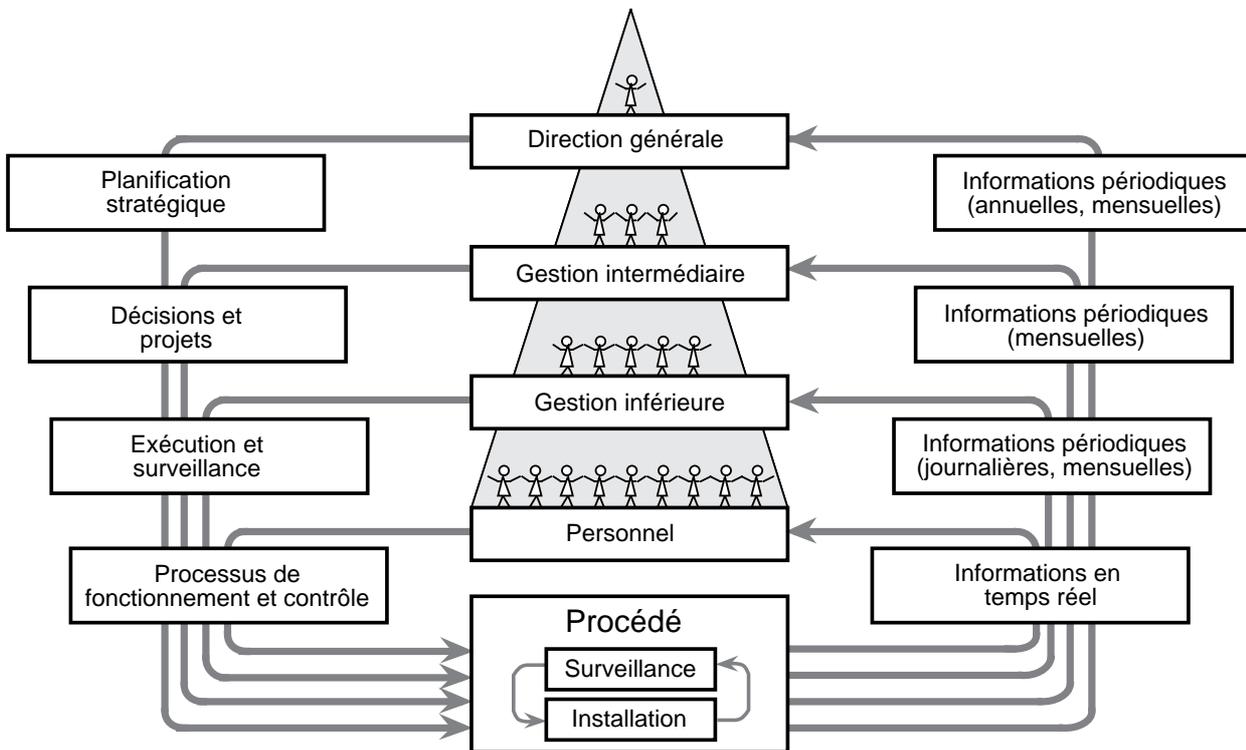


Figure 2: Réseau d'informations d'une entreprise (d'après M. Blanck, Holderbank).

Réseau de l'information dans une entreprise

Exemple d'un tel réseau dans une entreprise :

- Des informations choisies sur l'énergie, faciles à comprendre, sous forme de symboles par exemple, renseignent périodiquement les collaborateurs sur la situation énergétique de l'exploitation en cours.
- Le contremaître apprécie le travail de son équipe au travers d'un bilan énergétique comprenant l'énergie consommée y compris les coûts entraînés par les interruptions.
- Les services d'entretien et de maintenance sont avertis des travaux de prévention à entreprendre afin de mieux les planifier (par exemple nettoyage d'un échangeur de chaleur dont le rendement a diminué, service de graissage d'un élément de l'installation).
- Les cadres moyens sont informés de la marche de la production et des paramètres énergétiques dressés pour chaque produit par des indicateurs d'énergie.
- La direction générale connaît les secteurs où des économies sont possibles et où des investissements sont nécessaires.

Une telle circulation de l'information présuppose que les collaborateurs endossent leurs parts de responsabilités. Pour beaucoup cela résonne comme de la musique d'avenir. Et pourtant le domaine du management ne va pas échapper longtemps encore à la vague informatique qui a submergé tous les autres domaines économiques, comme le passé l'a maintes fois montré (tableau 2).

Gestion

Tableau 2
Evolution historique de divers principes de gestion

Principe de gestion	Exemple	Technique « associée »
Avant et vers 1900: Théorie scientifique	«Principles of Scientific Management» (Taylor)	Electrodynamique (Maxwell et autres)
1920: Individualisation du rendement	Chacun est responsable de son propre travail	Tapis roulant Moteur électrique
1970: Travail en équipes	Plates-formes d'exploitation (p. ex. chez Volvo)	Automatisation des procédés particuliers, robotisation
1990: Création d'un réseau, responsabilités partagées dans l'entreprise	Gestion de la qualité Gestion de la sécurité Gestion de l'énergie	NTI Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Une gestion moderne de l'énergie, avec un partage des responsabilités et une information sur mesure, exige un travail de groupe et une réflexion pluridisciplinaire, deux conditions également indispensables à d'autres tâches de gestion. A l'exemple de ce qui se passe pour l'énergie, les entreprises pourraient donner l'opportunité à certains de leurs services, dans des domaines spécialisés, de travailler ensemble, dans le but de résoudre les questions aussi diverses que la sécurité, la qualité, le stockage, etc.

Travail de groupe, pensée pluridisciplinaire

La mise en place d'une gestion de l'énergie à l'échelle de l'entreprise se conçoit d'autant mieux qu'une « organisation de formation » se développe. Tout en ayant à l'esprit que tout ce qui améliore les performances énergétiques agit favorablement sur la productivité du travail, du capital et du matériel. Si ces effets positifs secondaires s'exercent parallèlement aux effets premiers, ils n'en permettent pas moins le démarrage de programmes autonomes d'amélioration.

Une organisation de formation

1.4 L'esprit d'entreprise

Des principes réellement vécus ?

Travail en équipe, réflexion pluridisciplinaire et organisation de formation, des termes qui font désormais partie du vocabulaire d'une gestion moderne d'entreprise et en façonne l'esprit. Mais qu'on se garde bien de brandir ces notions pour éblouir la galerie ! Personnel, clients, fournisseurs et visiteurs ont tôt fait de flairer l'esprit véritable qui règne dans une entreprise.

Identification des collaborateurs

Il est en effet souhaitable, dans l'optique d'un bon esprit de maison, que les collaborateurs s'identifient à leur entreprise. L'attitude de la direction devant les questions que se pose le personnel à titre privé ou en tant que citoyens est déterminante. Parmi celles-ci, le souci écologique à propos du cycle de production et des produits eux-mêmes pèse d'un poids digne de considération.

Tensions

Il suffit que se développe parmi les collaborateurs le sentiment que ces valeurs ne sont pas respectées, alors qu'ils les considèrent comme importantes en tant que citoyens, pour que surgissent des tensions. Avec pour conséquence une détérioration des relations du personnel à tous les niveaux de l'entreprise.

L'importance de l'utilisation rationnelle de l'énergie

L'économie d'énergie est un projet politique majeur, dont la priorité est reconnue par tous les media : radio, télévision, presse en font leur pain béni. On sait qu'elle peut contribuer notablement à la diminution des émissions de CO₂. A ce titre écologie et économie sont unis idéalement, et leur alliance est susceptible d'atténuer les tensions géopolitiques entre pays producteurs et consommateurs de pétrole.

Une meilleure coopération

Des efforts de particuliers portant sur l'utilisation rationnelle de l'énergie contribueront à concrétiser au quotidien des recommandations des sphères sociopolitiques. Ce qui signifie non seulement gain d'argent et d'énergie, mais aussi développement de la capacité de travailler en équipe et d'un esprit d'entreprise positif.

1.5 Objectifs énergétiques et modèle d'entreprise

Management by objectives

Que recouvre, dans le domaine de l'énergie, la notion de gestion par objectif (Management by objectives) ? La gestion de l'énergie n'est-elle pas plutôt qu'une fonction de service, si l'on pense approvisionnement, alimentation des diverses installations, efforts pour une utilisation rationnelle ?

Des objectifs

Nonobstant le « Management by objectives » garde tout son sens. Bien sûr, toutes les entreprises ne vont pas chercher et trouver les mêmes solutions. Pour celles qui ont approximativement la même gamme de produits avec une courbe de production irrégulière,

l'objectif de fixer la part des coûts énergétiques en fonction de l'ensemble des frais de production et du taux de charge ne serait pas dépourvu de sens. Mais pour celles où un procédé accapare la consommation d'énergie, de tels objectifs – définis pour celui-ci – aideront peut-être à imposer une gestion énergétique. Dans la publication « Analyse de la consommation d'énergie⁸ » toute une série de coefficients sont passés en revue qui permettent de formuler des objectifs d'économie d'énergie.

Objectifs

Des objectifs chiffrés peuvent être fixés de façon absolue ou relative selon que l'on considère par ex. la consommation par entreprise et par année ou en rapport avec la quantité produite ou le chiffre d'affaires, les deux méthodes présentant chacune avantages et désavantages.

Du point de vue écologique, les objectifs absolus s'imposent : si les atteintes à l'environnement empêchent déjà sa régénération, des valeurs d'émissions nocives moins élevées n'exerceront que peu d'effets positifs en cas d'augmentation de la production.

Des objectifs absolus sont également plus pertinents dans la perspective du développement de l'utilisation de l'énergie sur une longue durée. En effet, plus il y aura d'êtres humains sur la terre à se serrer les uns contre les autres, plus les objectifs absolus ont de l'importance.

Fixer des objectifs d'économie d'énergie n'est pas une mince affaire. La procédure de détermination de ces objectifs pourrait être menée de telle manière qu'elle crée un esprit d'entreprise : travail de groupe, groupe de travail pluridisciplinaire, partage des responsabilités en sont les mots clés.

Modèle

Dans la « constitution » d'une entreprise, des déclarations sur l'énergie ne devraient pas faire défaut. Non sous forme de buts d'économie d'énergie, mais de lignes directrices indiquant comment les collaborateurs peuvent concilier les aspirations de société avec ce qui est du domaine du possible pour l'entreprise.

Un modèle de gestion de l'énergie est surtout requis là où les responsabilités en la matière sont diffuses. Un système déléguant des responsabilités ne fonctionne ni par un cahier des charges ni à coups de procès verbaux, ni grâce à un modèle miracle. Un modèle n'est là que pour inciter, stimuler les collaborateurs à réfléchir sur la façon dont la consommation d'énergie se répercute sur leur propre activité. C'est ainsi qu'ils accepteront des mesures d'économie d'énergie.

Objectifs quantitatifs

Objectifs absolus

Développement de longue durée

Travail d'équipe

Directives pour l'énergie

Partage des responsabilités

Il est bien évident qu'un esprit d'entreprise bien vivant vaut toutes les bonnes paroles et toutes les belles phrases couchées sur le papier. Pourtant cet esprit a besoin de formules bien senties, de phrases ayant un sens profond pour qu'il se révèle et se développe un esprit d'entreprise positif.

2

Définitions du « potentiel d'économie d'énergie »

La notion de potentiel d'économie d'énergie est fort utilisée, mais avec des significations différentes, ce qui prête souvent à confusion. Nous allons tenter de faire la lumière sur ce sujet, en avançant prudemment, car les potentiels sont difficiles à déterminer concrètement. Il serait plus réaliste en l'occurrence de parler, en termes moins redondants, de possibilités d'économie d'énergie, en limitant notre champ d'investigations aux appareils et installations.

2.1 Définitions

Avant toute définition de potentiels d'économies, il faut mettre en relief les conditions-cadres de faisabilité (tableau 3).

Tableau 3:
Définitions des potentiels d'économie

Type de potentiel d'économie	Définition : somme des...
Théorique	... possibilités scientifiquement fondées pour économiser de l'énergie.
Technique	... mesures possibles grâce au niveau actuel de la technique.
Economique	... projets d'économie d'énergie avec rapports coûts-profits avantageux.

Exemple: Analyse de la demande d'énergie pour un éclairage de 1000 lumen [lm] pendant une heure (figure 3).

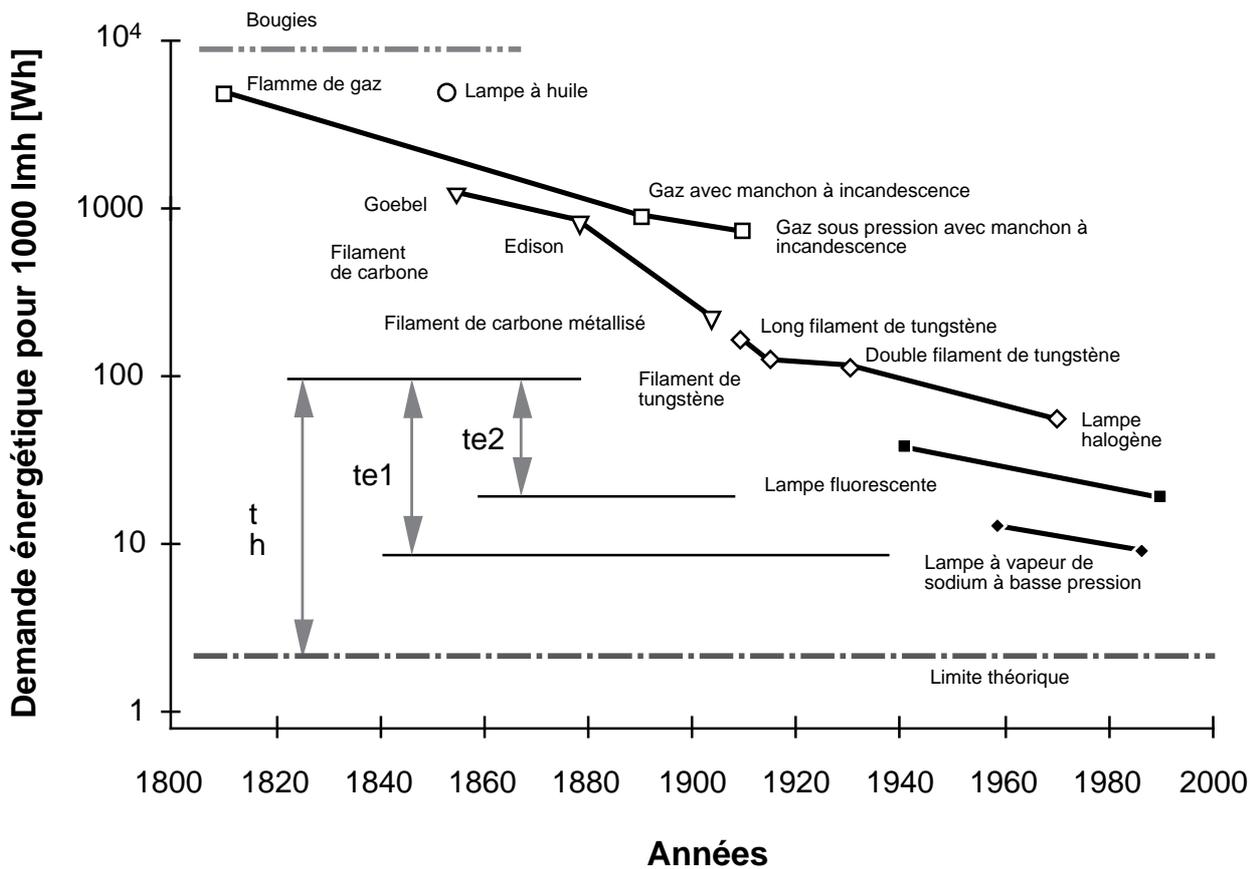


Figure 3: Consommation d'énergie pour un éclairage de 1000 lmh, en fonction de la technique utilisée.

Potentiel d'économie théorique

Exemple: voir figure 3 Le potentiel d'économie théorique (th) réside, par exemple, dans la différence entre le besoin énergétique réel d'une lampe normale à incandescence (à filament de tungstène) et son besoin théorique minimal. Lequel est atteint quand toute l'énergie engagée est convertie en lumière, sans pertes de chaleur.

Potentiel d'économie technique

Caractéristiques Le potentiel d'économie technique n'est pas aussi clairement définissable. Il dépend trop des conditions, telles que l'uniformité de la couleur de la lumière, des mécanismes d'enclenchement ou d'autres caractéristiques. Selon les cas, on obtient des potentiels d'économie techniques plus grands ou plus petits (te1, te2).

Potentiel d'économie rentable

Analyse des coûts et profits Pour le déterminer, il faut analyser les coûts et profits des variantes (te1, te2). En premier lieu, examiner rigoureusement chaque cas d'application puis retenir pour base le service de la dette ou la durée

de pay-back. Les limites de l'analyse peuvent aussi varier. Ainsi l'économie de travail que représentent des lampes longue durée (=moins de changements), les frais d'élimination, etc., sont susceptibles d'être pris en considération ou ignorés.

Annuités

Les potentiels d'économie théoriques sont, dans de très rares cas, convertibles en potentiels techniques. Lesquels ne sont d'ailleurs pas tous rentables.

Restrictions

Niveaux d'analyse

Il existe un autre critère : faut-il rechercher des potentiels d'économie sur des appareils et installations au niveau des entreprises, de secteurs d'activités entiers ou au niveau national ? Il est vrai que les conditions-cadres politiques, économiques et écologiques sont tout aussi importantes, tout comme de savoir si le potentiel doit être atteint immédiatement ou seulement au terme de quelques années d'efforts.

Lignes directrices

Par conséquent, en plus des trois types de potentiels cités ci-dessus, il faut encore distinguer les applications pour lesquelles cette notion peut avoir une tout autre signification. Chacune d'elles se démarque par la durée nécessaire à sa réalisation et par son niveau d'analyse.

Applications

Quantité d'énergie consommée par les mesures d'économie d'énergie

Les mesures d'économie d'énergie consomment de l'énergie, que ce soit pour construire un échangeur de chaleur plus grand permettant de diminuer les pertes ou pour isoler. Mais, en fin de compte, les dépenses d'énergie sont généralement moindres que celles consenties pour épargner de l'énergie. C'est seulement lorsque les mesures d'économie sont subventionnées et la consommation directe d'énergie lourdement taxée que les mesures deviennent rentables, même si, indirectement, elles dévorent plus d'énergie.

Dépenses pour des mesures d'économie

2.2 Potentiels d'économie réalisables à court terme

... pour des appareils et des installations

Dans ce cas la définition du potentiel ou de possibilités d'économie d'énergie est aisée, encore faut-il les connaître. C'est précisément là un des objectifs principaux du programme d'impulsions RAVEL.

Limites du système Les termes « installation » et « appareil » sont compris dans leur acception la plus large. Si on considère un système plus vaste, on rencontre à tout coup un potentiel d'économie bien plus important que par une analyse ponctuelle des appareils et installations. Le tableau 4 donne, à titre d'exemple de cette démarche, les potentiels d'économie dans la climatisation de bureaux.

Tableaux 4 :
Potentiels d'économie pour des climatisations, en fonction de l'étendue du système analysé.

Mesure	Economie d'énergie
Remplacer tous les moteurs par des moteurs à plus haut rendement	5 %
Optimiser la conduite en fonction des besoins	25 %
Régler la vitesse de rotation en charge partielle	15 %
Optimisation du système : Diminuer les charges thermiques. Protection solaire, nouvel éclairage, déclenchement auto des équipements d'exploitation ; free-cooling. Potentiel d'économie, optimisation de commande/régulation de la vitesse de rotation comprise.	50 %
Assainissement complet du système : Installation de ventilation (sans compresseur frigorifique), en utilisant des quantités minimales d'air utiles ; éventuellement évacuateur de chaleur à eau pour les parties de l'installation – locaux – soumis à fortes charges.	90 %

La situation est similaire pour un système défini de moteurs comprenant le transport des fluides ou l'usinage mécanique de pièces, etc.

... pour des entreprises et secteurs d'activité

Souvent, pour des raisons d'organisation, on n'arrive pas à épuiser toutes les possibilités d'économie en un court délai. Changer les structures en place demande du temps. C'est pourquoi l'exploitation optimale des potentiels d'économie, en raison de données incontournables, avance souvent en claudiquant. C'est ce qu'on appelle «the Institutional Lag» ou «décalage institutionnel».

«Institutional Lag»

Une recherche portant sur le laminage de l'aluminium a donné plusieurs types de potentiels d'économie réalisables à court terme⁹. Les études se sont particulièrement concentrées sur les facteurs exerçant une influence soit sur les installations soit sur l'exploitation. De grandes différences de consommation d'énergie apparaissent dans des usines très semblables du point de vue de l'équipement, et seul un quart de ces différences lors de la production des profils d'aluminium est imputable à des facteurs techniques ; un deuxième quart résulte de la direction de l'entreprise, et la moitié restante est due à des capacités d'exploitation différentes. La consommation d'énergie, plus élevée dans les entreprises moins efficaces, concerne aussi bien les combustibles que l'électricité (figure 4).

Recherche sur le laminage de l'aluminium

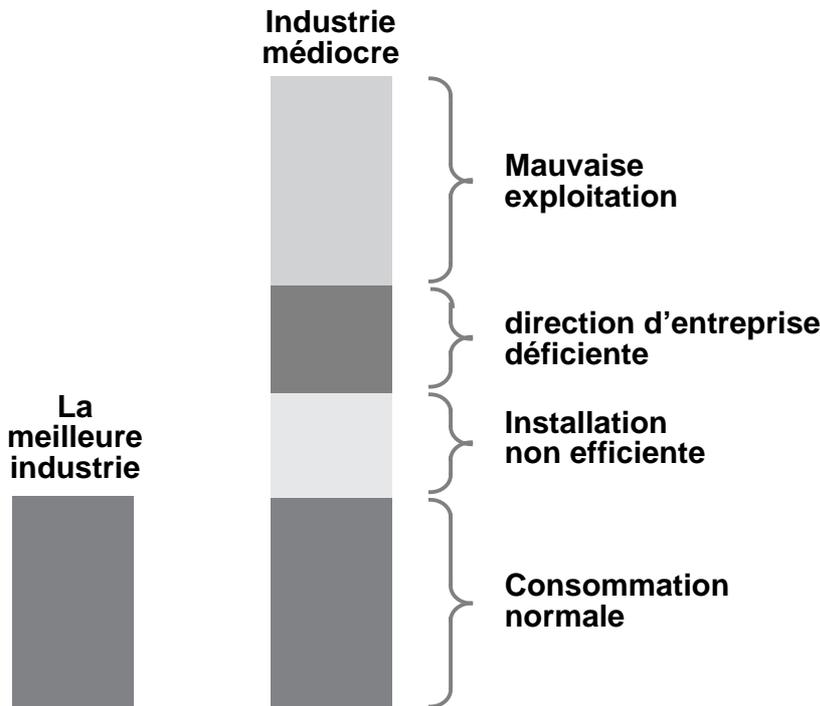


Figure 4: Facteurs susceptibles de provoquer une augmentation de la consommation d'énergie dans les entreprises.

La figure 5 montre les potentiels d'économie correspondants. Ceux-ci résultent d'améliorations du rendement et de mesures touchant l'exploitation, telle une meilleure gestion du temps. Les conséquences énergétiques imputables à une meilleure exploitation ne sont pas considérées comme des potentiels d'économie d'énergie. Ce moyen d'augmenter la productivité répond avant tout à des données du marché: débit peu important, quantité réduite de commandes, délais de livraison courts, désirs particuliers des clients, etc.

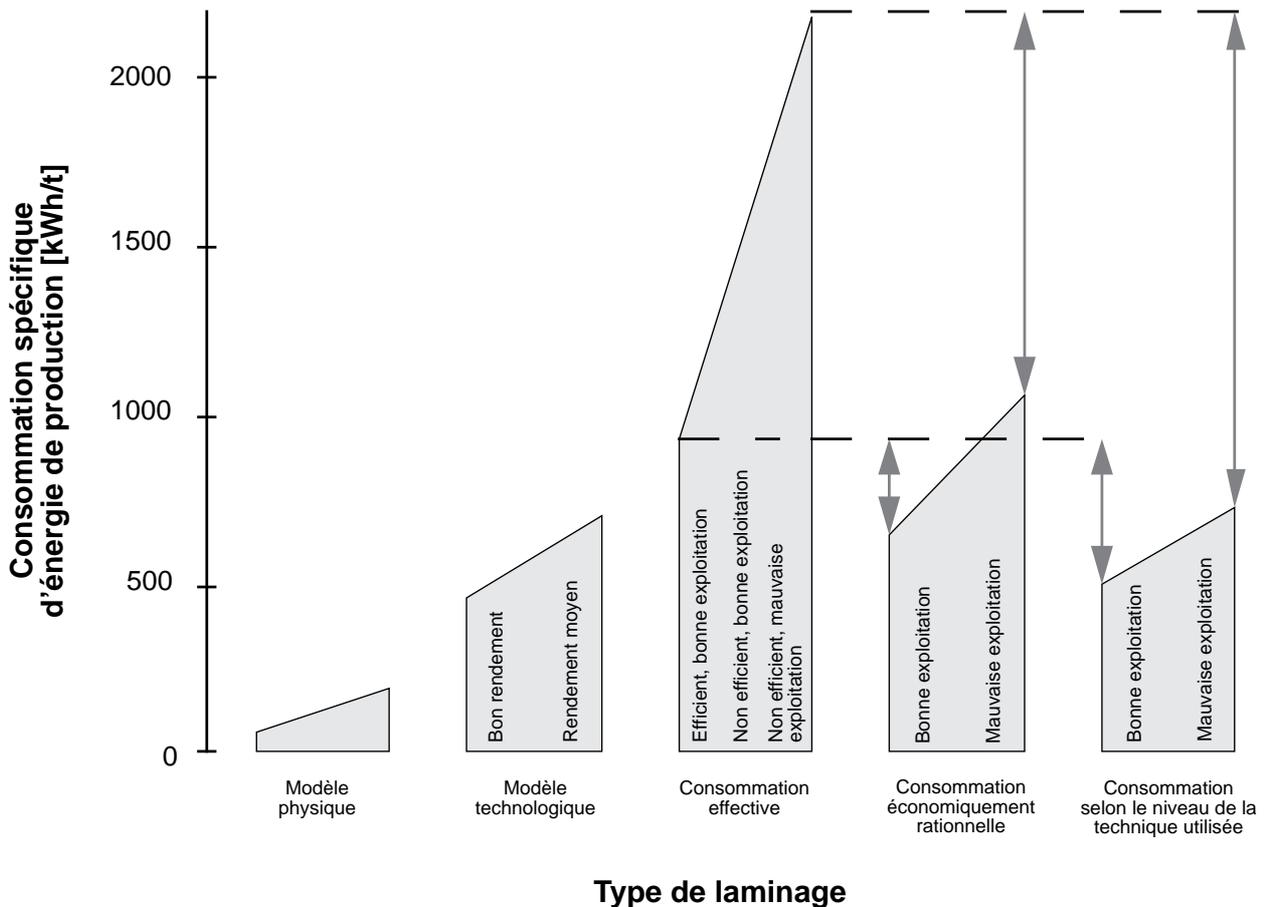


Figure 5: Potentiels d'économie pour divers types de laminage de capacités d'exploitation différentes.

Potentiels d'économie réalisables à court terme au niveau national

Ce potentiel n'existe pas, car toute mesure exerçant une influence significative au plan national nécessite une période de temps relativement longue.

2.3 Potentiels d'économie réalisables à long terme

...pour des appareils et des installations

Il s'agit ici de faire un pronostic sur le développement de la technologie. Le potentiel technique d'économie réalisable à long terme dépend du développement de la technologie. Pour déterminer le potentiel d'économie et sa rentabilité, il faut se demander à quel prix ce progrès sera obtenu.

Pronostic sur la technologie

... dans les entreprises et secteurs d'activité

Il y a continuellement des innovations techniques qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique des procédés. Ces améliorations ont des conséquences souvent positives sur la consommation d'énergie de l'ensemble des entreprises et des secteurs d'activités. Il faut tenir compte de cette économie « naturelle » lors de l'analyse des potentiels réalisables à long terme.

Economie naturelle

Le développement dans l'industrie et l'artisanat s'est également poursuivi de manière favorable. Grâce à de nouvelles installations, des secteurs d'activités à grande consommation d'énergie, comme le papier, le ciment et l'aluminium brut (voir figure 25), diminuent chaque année leur consommation spécifique d'énergie d'environ 2%. Dans les secteurs d'activité à plus faible consommation d'énergie, elle diminue chaque année de 0.5%.

Industrie et artisanat

En plus du développement continu ou par paliers de la technologie, il y a souvent l'assortiment de produits qui change. Ce qui peut aider à diminuer la consommation d'énergie de manière considérable. De tels changements ne sont habituellement pas considérés comme des potentiels d'économie.

Assortiment de produits

En prenant plus de recul, il faut relever que des restructurations dans une entreprise vont se répercuter sur les entreprises en amont et en aval, de même que des changements dans un secteur d'activité auront des conséquences sur d'autres secteurs.

Attractivité du changement

Il ne faudrait cependant pas que de futurs potentiels d'économie demeurent de simples spéculations, qu'ils se fondent au contraire sur des faits solides, tels que le recours à des installations de référence. Elles permettent de comparer la consommation d'énergie d'une installation existante avec celle d'une installation construite selon les dernières nouveautés techniques et utilisant tous les potentiels d'économie connus à ce jour. De cette façon, les futurs potentiels d'économie se manifestent concrètement grâce à des rénovations et améliorations de l'installation existante, l'amenant au niveau actuel de la technique.

Installation de référence

Potentiels d'économie réalisables à long terme au niveau national

Problèmes de l'extrapolation

L'extrapolation des potentiels d'économie au plan national reste problématique. Il faut commencer par distinguer les niveaux d'analyse «appareils et installations», «entreprises et secteurs» du niveau national, et compter avec la rareté des données concernant des investissements réussis consentis pour économiser l'énergie. On tente, à l'aide de modèles dits «bottom-up», d'exploiter les résultats tirés des «entreprises et secteurs d'activités» qui ont eu si possible des conséquences sur l'économie d'énergie et de les extrapoler au niveau national. Mais la prudence est de mise :

Représentativité des données

Un programme d'information publié par le gouvernement anglais fut envoyé à mille entreprises. L'objectif était de mieux cerner et analyser leur consommation d'énergie, afin de prendre des mesures pour la diminuer à l'aide de modestes investissements. Les entreprises qui ont participé à ce programme ont effectivement vu leur consommation diminuer de 5 à 25 %. Mais malgré la grande taille de l'échantillon, on ne peut pas simplement généraliser ces taux à l'ensemble de l'industrie. Ce n'était pas une quelconque moyenne entreprise qui s'était intéressée à un tel programme, mais des entreprises déjà conscientes du problème énergétique. Et beaucoup de celles-ci avaient déjà planifié de telles mesures, avant la mise en route du programme.

Effets indirects

Celui qui veut évaluer les conséquences de futurs potentiels d'économie d'énergie au niveau national doit tenir compte des interactions entre le développement technique et le développement économique. Ainsi, l'introduction du moteur électrique (voir page 35, «Techniques énergétiques») a engendré une économie d'énergie importante au sein des entreprises. La productivité s'est nettement améliorée, mais, parallèlement, la consommation d'énergie au niveau national a continué d'augmenter. Et aujourd'hui l'introduction des nouvelles techniques d'information illustre le même phénomène. Ces nouvelles techniques d'information, qui ne sont pas introduites pour des raisons énergétiques, entraînent cependant des conséquences sur la consommation d'énergie. L'estimation de futurs potentiels d'économie étant rendue problématique en raison de ces interactions, on veillera à ce qu'elle résulte de scénarios sérieux (voir page 51, «Futures demandes d'énergie»). Les potentiels d'économie au niveau national varient selon les scénarios envisagés (figure 26, page 51). Il ne serait d'ailleurs pas idiot de différencier trois types de développement technique, puisque chacun d'eux est en droit de revendiquer le titre de modèle à même d'influencer la consommation d'énergie.

Réaction du marché

Méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyse du développement technique ne présentent pas de grandes difficultés. La valeur de l'analyse dépend bien évidemment de la pertinence des données à disposition. Le plus difficile reste l'extrapolation au niveau national d'enquêtes menées sur

Tableau 5:
Développements techniques et leurs conséquences sur la consommation d'énergie

Forme de développement	Conséquences sur la consommation d'énergie	Commentaire sur la méthode
Innovation technique continue	Economie «naturelle»	Définition exacte et évaluation difficiles
Développement rapide des techniques d'économie d'énergie (lampes économiques, amélioration du rendement)	Economies ciblées à l'aide d'innovations techniques	Dans certains cas particuliers et délimités, une extrapolation est significative; difficile de démarquer des «économies naturelles»
Innovation technique de base (moteur électrique, chip)	Hauts potentiels d'économie, relatifs à la gestion; éventuellement augmentation de la consommation d'énergie au niveau national	Ne doit pas être extrapolé; presque impossible de tenir compte des interactions

des installations et des appareils pris un à un. Une telle extrapolation s'est avérée dans un seul secteur: la climatisation. Ce qui fut rendu possible par les conditions suivantes :

- le chauffage d'un local recourt à un petit nombre de techniques dont le développement est facile à surveiller
- l'objectif se limite à obtenir un local correctement chauffé; personne, en principe, ne souhaite disposer d'un local surchauffé.

L'extrapolation se justifie également dans le cas des grands équipements ménagers. Il n'y a que quelques techniques différentes dans un marché plus ou moins saturé.

Dans beaucoup de cas, le développement technique ne peut que laisser ouvertes beaucoup de questions touchant la future demande énergétique: dans une maison équipée de lampes économiques, les gens se soucient moins de laisser la lumière allumée, des surfaces plus grandes sont éclairées, des jardins illuminés. Autres effets: le prix d'achat élevé de ces lampes conduit le consommateur à réfléchir sur la question de l'éclairage de telle manière que la nouvelle lampe, une fois installée, sera deux fois plus économique; le plus faible dégagement de chaleur entraîne une demande de chauffage plus élevée ou de climatisation moindre; du côté des architectes, à cause même de ces lampes économiques, apparaît une conception nouvelle de maisons disposant de moins d'ouvertures... avec les répercussions que l'on connaît sur l'apport de lumière artificielle et de chauffage.

Bilan: au niveau national, la notion de potentiel d'économie reste problématique à exprimer, aussi est-il préférable de ne pas la brandir en toute occasion. Les entreprises, elles, s'intéressent surtout aux potentiels d'économie réalisables à court terme et qui concernent directement leurs installations. Il vaut mieux dans ce cas parler de possibilités d'économie. Cette notion, neutre et peu utilisée, prête moins à confusion.

Exemple: chauffage d'un local

Appareils ménagers

Questions ouvertes

Possibilités d'économie

3

Energie et économie

L'énergie et l'économie sont depuis toujours étroitement liées. Sans les fonctions primaires de l'énergie, la civilisation humaine n'existerait pas. Un survol de l'histoire met ces liens en évidence. Les interactions entre la consommation d'énergie et le développement économique ressortent clairement des statistiques énergétiques, même si celles-ci demeurent encore très incomplètes.

3.1 Fonctions primaires de l'énergie

Production et consommation

Prestations de l'économie	L'économie est un système qui délivre nourriture, habits, logement, hygiène, moyens de communication, formation, transports et loisirs. C'est une organisation complexe qui gère les forces de travail et les entretient.
Alimentation	La nourriture fournit de l'énergie à l'organisme, maintient les fonctions vitales et la température corporelle rendant possible une activité. Celle-ci apporte les moyens de se vêtir et de se loger, même sous des climats rigoureux, et de s'établir en tout point de la planète.
Pertes biologiques	Maladie et mort prématurée signifient souffrance. Dans un bilan purement bio-économique, elles représentent des pertes énergétiques qui ralentissent et entravent la marche de l'humanité. Les services d'hygiène et de santé réduisent ces pertes en sorte que la plus grande partie du « flux énergétique humain » concoure à l'augmentation de l'espèce.
Energie et technique	L'énergie alliée à la technique va dépasser les limites physiques de la force musculaire, élargir les frontières de l'habitat naturel, permettre le développement démographique et le brassage socioculturel.
Développement socio-économique	Croissance des organismes et multiplication de l'espèce humaine ne sont pas seules à dépendre de la fourniture d'énergie, la croissance économique et le développement social en sont également tributaires. Aussi longtemps que les activités humaines étaient soumises au soleil, au vent, à la force hydraulique et au bois, l'homme n'a disposé de nourriture, d'habillement, de logement et de moyens de communication que de façon restreinte. Toutes ces

Croissance économique Cette illustration montre bien que l'engagement d'énergie et la croissance économique sont interdépendants. Mais cette interaction n'apparaît dans sa vraie dimension que là où son engagement est vraiment nécessaire.

Places de travail Une double augmentation de la production – que ce soit par un procédé ou grâce à la productivité du travail – signifie souvent que la mise en œuvre d'énergie est tout aussi capable de créer des postes de travail que de les remplacer, quand machines et robots font le travail de l'homme.

Equité sociale Il en va de même dans le développement d'autres domaines importants sur le plan social. Les applications de l'énergie sont susceptibles de modifier l'équilibre social de manière positive aussi bien que négative. Elles renforcent parfois, selon les circonstances, la puissance des puissants, celle des nations industrielles, par exemple, aux dépens de celle des pays en voie de développement. En même temps, technique et énergie ont permis de limiter les pénuries qui, autrefois, renforçaient les disparités sociales. Toutes deux ont été les moteurs du bien-être qui s'est développé ces derniers 150 ans dans les pays industrialisés.

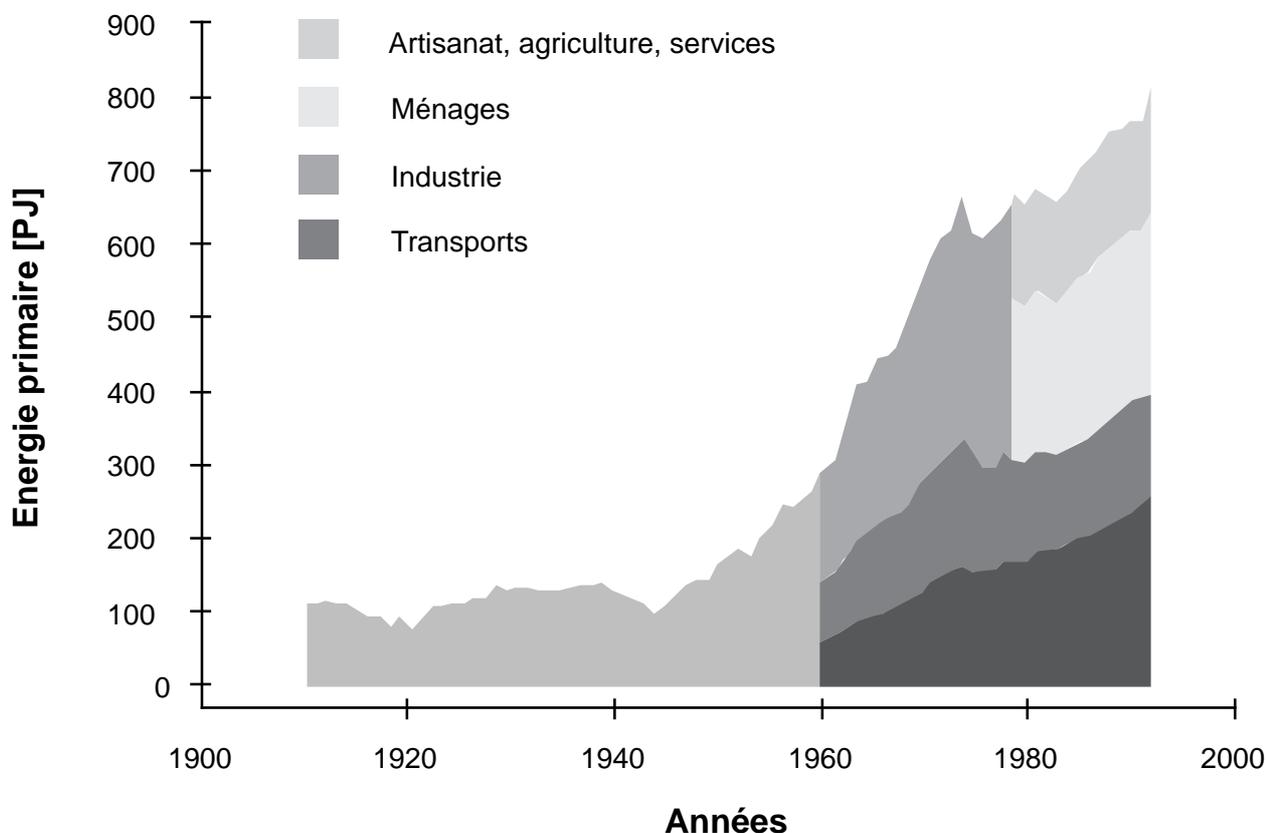


Figure 7: Développement de la consommation d'énergie finale dans les divers secteurs d'activités en Suisse, entre 1910 et 1991.

L'illustration du double mouvement d'amplification et de réaction – onde de choc en retour – montre bien que, sans autres freins, le comportement dynamique du système suit une croissance incontrôlée («run-away-solution»). Le développement de la consommation d'énergie observé ces dernières décennies le prouve (figure 7).

Système dynamique

Physique et technique

La notion d'énergie apparaît vers le milieu du siècle passé, comme un terme générique recouvrant plusieurs phénomènes. L'énergie se manifeste sous des formes différentes qui ont une propriété commune : la capacité de fournir un travail.

L'énergie est la capacité de fournir un travail

A la notion d'énergie est lié le principe premier de la thermodynamique : l'énergie ne se consomme pas elle-même, elle passe d'une forme à une autre.

Premier principe de la thermodynamique

Cependant, lors de la transformation, la qualité de l'énergie diminue. Cette caractéristique propre à l'énergie, de ne pas disparaître mais de se «détériorer» après chaque utilisation, a des conséquences très importantes.

Qualité de l'énergie

Les formes d'énergie, pour une même quantité considérée, n'ont pas toutes la même valeur. Une forme d'énergie a d'autant plus de valeur qu'elle se transforme plus complètement en une autre forme. L'énergie mécanique et l'énergie électrique présentent une grande valeur, l'énergie thermique une moindre, parce que sa transformation en énergie mécanique ou électrique est fondamentalement limitée (figure 8).

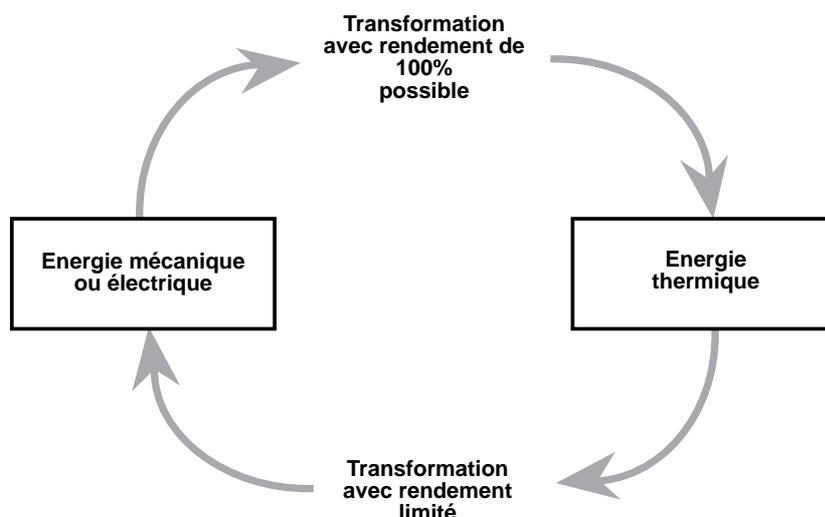


Figure 8 : Schéma de transformation de différentes formes d'énergie.

Deuxième principe de la thermodynamique

La valeur de l'énergie dépend du deuxième principe de la thermodynamique, vulgarisé ainsi: «L'énergie ne peut d'elle-même passer d'un corps froid à un corps chaud». Conséquence: l'énergie à une température élevée a plus de valeur que la même quantité d'énergie à une température plus basse.

Energie et puissance

La physique distingue les quantités des flux. L'énergie est une quantité tandis que la puissance est un flux d'énergie. L'énergie n'est pas directement accessible à nos sens. Ce qu'un être humain perçoit, ce sont les flux d'énergie tels que la lumière, les ondes et la chaleur qui alertent nos sens comme la vue, l'ouïe ou le toucher.

Lorsqu'on regarde un bassin de retenue plein, on ne se rend pas du tout compte du contenu énergétique de cette masse d'eau. Une cascade qui gronde «exhibe» de manière nettement plus parlante son énergie. C'est donc la puissance, c'est-à-dire le flux d'énergie, ou la transformation d'énergie par unité de temps, qui agit sur l'environnement et interpelle l'observateur.

Caractéristiques techniques de base des agents énergétiques

La valeur de l'énergie mise à part, sa mise en œuvre requiert deux exigences fondamentales:

- sa disponibilité en fonction du temps;
- sa disponibilité en fonction du lieu.

Des conditions qui engendrent deux problèmes énergétiques clés:

- le stockage;
- le transport.

Exemple: le pétrole

Le pétrole est un exemple d'agent énergétique facile à stocker et à transporter, ayant en outre une grande densité énergétique. D'où son usage généralisé pour les transports routiers et aériens et pour le chauffage en général. Un autre agent énergétique idéal à transporter et surtout facile à distribuer est l'électricité. Sa transformation relativement simple en énergie mécanique, lumière ou chaleur, en fait un agent énergétique universel. Ses plus grands inconvénients: un stockage difficile et sa distribution par l'intermédiaire de lignes électriques.

Economie alpine

L'économie alpine est un exemple de gestion d'énergie réussie. La principale difficulté provient de ce que la production et la consommation d'énergie n'interviennent pas dans le même temps ni dans le même lieu. Le stockage et le transport répondent parfaitement à ces deux exigences, depuis plus d'un siècle.

Gestion de l'énergie dans une vallée alpine

Au printemps et en automne, les prairies de la vallée sont pâturées par le bétail. Comme le montre la figure 9, c'est en été que les arbres et l'herbe croissent le plus, grâce à un fort ensoleillement et à la disparition de la neige. Le bétail de la vallée et du bas pays monte à l'alpage et l'herbe de la vallée, fauchée et séchée, est engrangée pour servir de fourrage l'hiver dans plusieurs raccards, pour éviter de longs transports et diminuer les risques de grands incendies. En été, on utilise le bois pour la préparation du fromage et en hiver au chauffage de la maison. Une partie de l'énergie du foin contribue indirectement au chauffage de la maison, les animaux logeant sous le même toit que le paysan.

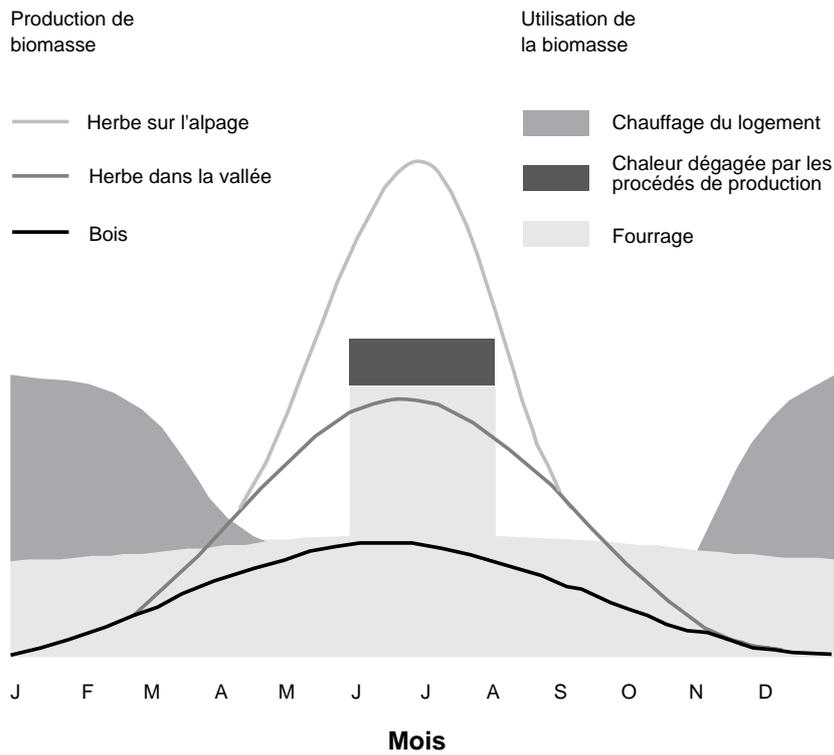


Figure 9: Production et utilisation de biomasse dans une vallée alpine au cours de l'année.

Ecologie

L'énergie, l'unique et dernière ressource limitée

Essai de substitution: l'utilisation de matières premières non énergétiques pourrait obéir à une double stratégie. D'une part, se concentrer sur l'exploitation des matières riches disponibles, par exemple la production de fer et d'aluminium. D'autre part, recycler soigneusement les matières premières nécessaires moins riches. Ainsi le système économique deviendrait-il indépendant des matières premières non énergétiques se trouvant en quantités restreintes. Les matières premières énergétiques sont alors les seules ressources limitées, un goulot d'étranglement pour l'économie. Un système économique sans matières premières limitées a besoin d'un budget énergétique de seulement 20 à 30% supérieur à celui du système actuel¹⁰.

Exploitation et utilisation d'énergie, les plus importantes sources de pollution

L'exploitation d'énergie, sa mise à disposition et son utilisation sont responsables de la majeure partie des émissions polluantes dans l'atmosphère (tableau 6), qui n'est pas seule à être souillée: la pollution de l'eau, du sol, les dommages causés à la faune et à la flore, ainsi que la destruction de certains paysages, sont les conséquences directes de l'utilisation d'énergie¹¹.

L'utilisation d'énergie nuit tout autant à l'environnement que son exploitation et sa mise à disposition; la pollution provoquée par les automobiles ou les émissions de CO₂ par les chauffages et toutes les autres formes de combustion en sont les exemples les plus frappants.

Economiser l'électricité diminue les charges polluantes

Le recours à l'énergie électrique provoque des nuisances très différentes: son utilisation est propre, par contre sa production engendre de lourdes charges sur l'environnement issues du fonctionnement des centrales nucléaires ou au charbon; en outre l'augmentation de la production d'électricité par la force hydraulique porte également atteinte à l'environnement. Economiser l'électricité contribue donc à réduire sa production avec pour corollaire un accroissement moindre des charges polluantes.

La guerre du Golfe: un exemple de l'importance géopolitique de l'énergie

Répartition inégale

La guerre du Golfe a, entre autres, montré l'importance de la répartition des réserves d'énergie sur l'ensemble de la terre. La part du pétrole à la consommation mondiale d'énergie primaire s'élève à 40%, dont la moitié dans les pays de l'OCDE (Amérique du Nord, Europe de l'Ouest, Japon, Asie du Sud-Est) et environ 80% dans les pays industrialisés. Mais les réserves de pétrole sont réparties de manière inégale, elles se trouvent pour plus de 70% au Proche-Orient et en Afrique du Nord (tableau 7).

Tableau 6
Fraction des émissions polluantes produites par l'énergie relativement à l'ensemble des émissions provenant des activités humaines
 (Ensemble des émissions d'origine humaine dans l'air, par polluant = 100%)

Polluant	Fraction des émissions polluantes dues à l'énergie
Poussière et suie	55%
Dioxyde de soufre (SO ₂)	92%
Oxyde d'azote	86%
Hydrocarbures sans méthane	5%
Arsenic (de la combustion de bois)	7%
Cadmium (des carburants)	4%
Plomb (des carburants)	67%
Composés aromatiques polycycliques	70%
Chlorofluorocarbures (CFC)	25%
Méthane (CH ₄)	20%
Dioxyde de carbone (CO ₂)	71%

Tableau 7
Réserves de pétrole économiquement exploitables avec les techniques actuelles

Région	Réserves de pétrole économiquement exploitables [exajoule = 10 ¹⁸ Joule]	
		[%]
Europe de l'Ouest (y compris Allemagne de l'Est)	76	1,4
Europe de l'Est	11	0,2
Ancienne URSS	320	5,8
Proche-Orient et Afrique du Nord	3935	71,8
Amérique du Nord	177	3,2
Amérique centrale et du Sud	693	12,6
République populaire de Chine	132	2,4
Reste de l'Asie	132	2,4
Australie	8	0,2
Total	5484	100

3.2 Dimension historique

Sources d'énergie

Sources d'énergie renouvelable et non renouvelable

Le tableau 8 retrace l'évolution historique de l'utilisation de diverses énergies aux fins de produire de l'énergie mécanique. Alors qu'il y a 200 ans l'homme n'utilisait que des énergies renouvelables, il est aujourd'hui devenu étroitement dépendant d'énergies non renouvelables.

Tableau 8
Evolution historique de l'utilisation de diverses énergies pour produire de l'énergie mécanique

Source d'énergie	Technologie	Société	Période
Energie mécanique			
force musculaire	levier clavette poulie plan incliné	esclavagiste (dans l'Antiquité)	Préhistoire (1 ^{re} utilisation du levier et de la clavette) Antiquité
force hydraulique Energie éolienne	roue à eau mue par en dessous roue à eau mue par en dessus moulin à vent sur tréteaux moulin à vent hollandais	servage corporations	8 ^e -10 ^e siècles (connu dans l'Antiquité) 17 ^e siècle
Energie chimique			
Bois Charbon (Gaz)	machines à vapeur (Newcommon, Watt) grosses machines fixes	fabriques patronat	18 ^e – 19 ^e siècles
Pétrole	moteur diesel machines de transport	expansion des fabriques	20 ^e siècle
Energie atomique			
Uranium	centrales	consortium	depuis 1960 environ

Flux et réserves d'énergie sont des notions moins parlantes que les concepts d'énergie renouvelable et non renouvelable. On parle de flux d'énergie, lorsque la production et la consommation d'une énergie relèvent du même ordre de grandeur spatio-temporelle. Ainsi l'énergie éolienne, hydraulique, solaire, ainsi que l'énergie tirée de la biomasse ne sont utilisables que durant le temps où elles s'exercent. Il en va différemment des réserves d'énergie : production et consommation ne se situent pas dans des ordres de grandeur comparables ; la formation du charbon, par exemple, prend des centaines de millions d'années, alors que l'homme l'aura épuisé en quelques centaines d'années seulement.

Flux d'énergie, réserves d'énergie

Le bois est un agent énergétique important pour plusieurs raisons. Du point de vue de l'économie énergétique, il présente un très grand avantage et plusieurs inconvénients qui se résument en un mot : dépendance. Il offre par ailleurs le grand avantage de pousser continuellement. Ses inconvénients : c'est la nature et non l'utilisateur qui commande sa disponibilité. Une utilisation intensive de la forêt entraîne sa destruction. C'est pourquoi il est très important de développer une économie forestière qui respecte les impératifs de la nature : couper le bois au bon moment et le stocker en vue d'une utilisation ultérieure.

Dépendance des flux énergétiques

Tôt ou tard, les réserves d'énergie seront épuisées. Et si on examine le temps de consommation de pétrole dans une perspective historique, l'ère du pétrole n'apparaît que comme un court laps de temps (figure 10).

Fin de l'ère du pétrole

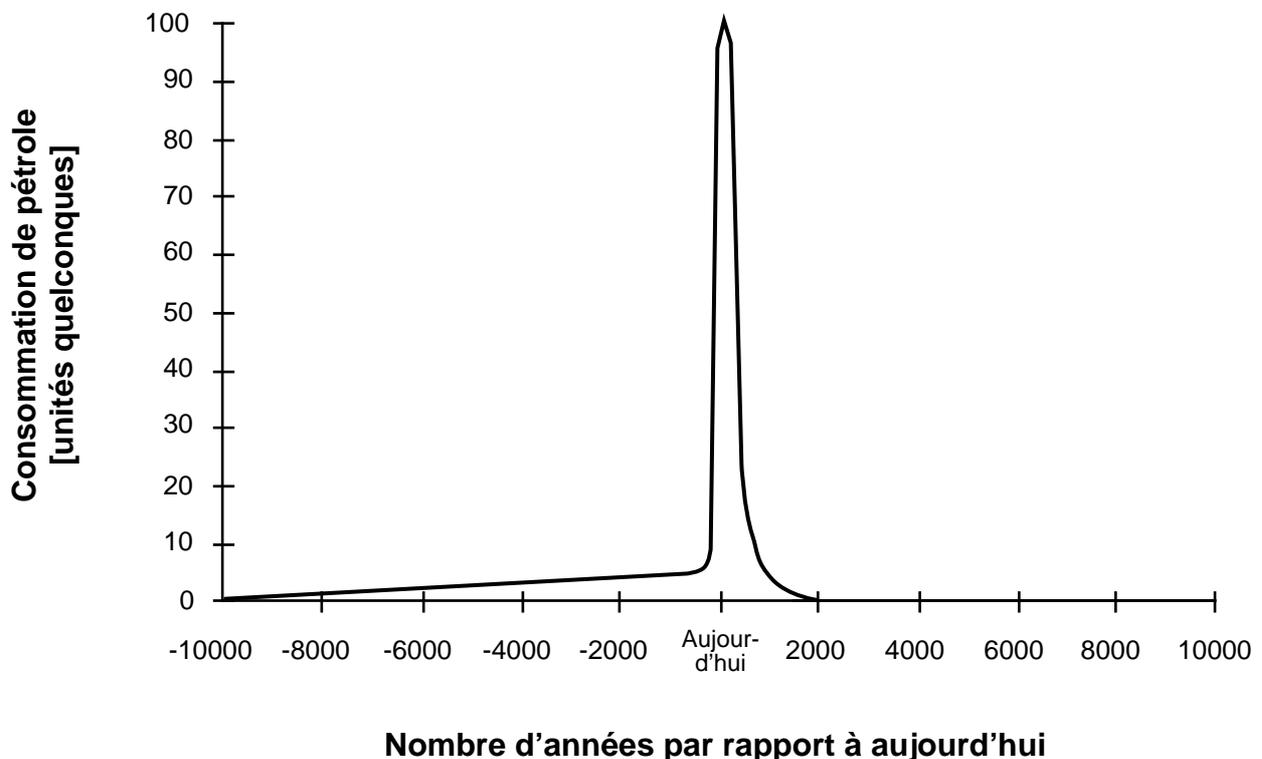


Figure 10: Consommation du pétrole dans une perspective historique.

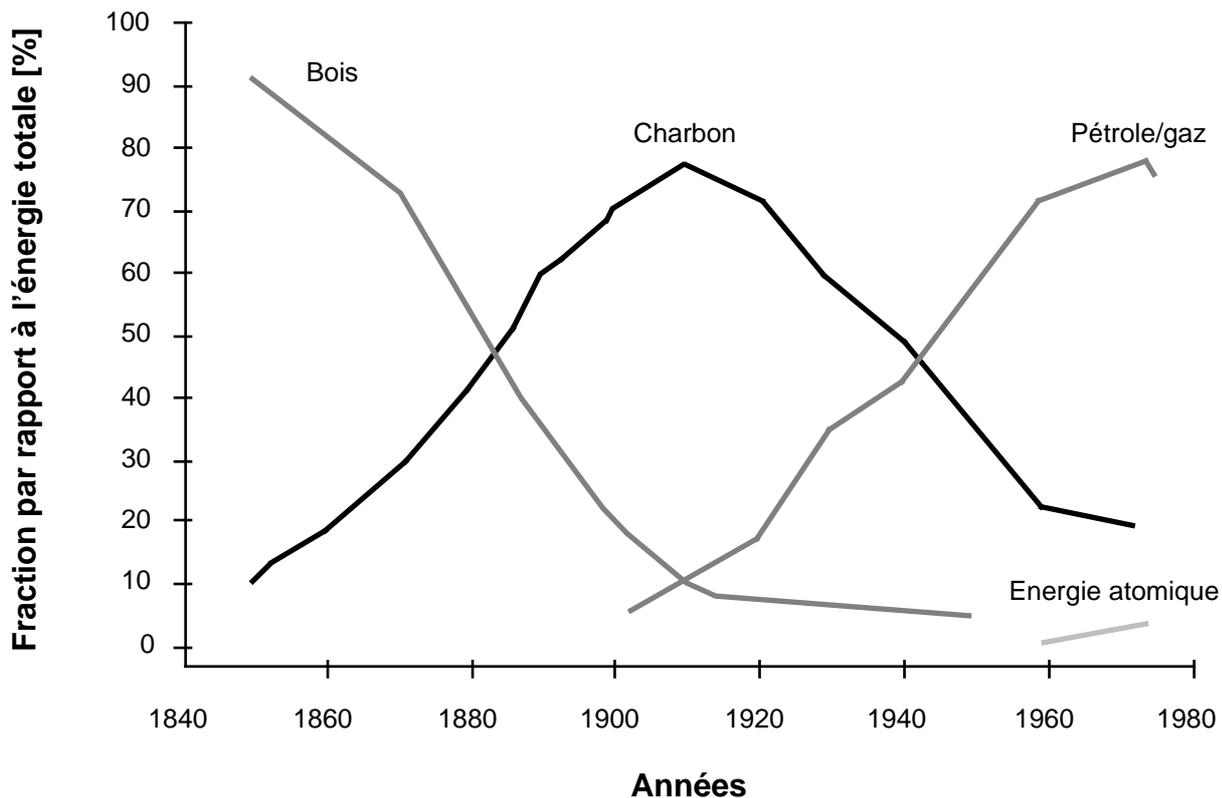


Figure 11: Part des divers agents énergétiques à la consommation d'énergie globale.

Tableau 9
Réserves mondiales et consommation des combustibles fossiles

Réserve d'énergie	Unités	Réserves prouvées	Consommation annuelle (actuelle)	«Durée de vie» en années
Charbon	mio. t	1 600 000	4 600	350
Pétrole brut Produits de condensation du gaz naturel	mio. t	125 000	3 080	40
Gaz naturel	mio. m ³	110 000 000	1 923 000	60

La substitution des principaux agents énergétiques au cours de ces derniers siècles a nécessité chaque fois environ 50 ans (figure 11). Une nouvelle source d'énergie, comme par exemple l'énergie solaire, ne peut du jour au lendemain assurer une part importante de l'alimentation énergétique.

Le tableau 9 présente les réserves mondiales et la consommation des combustibles fossiles. Nous avons donc la possibilité d'estimer la durée d'utilisation de ces différentes réserves. Mais les impacts sur l'environnement des émissions de CO₂ (effet de serre) n'autorisent pas l'humanité à utiliser toutes ces réserves d'énergie sans autre.

Technique énergétique

Dans la perspective de l'utilisation d'une énergie nouvelle, il s'agit de développer une nouvelle technique énergétique, dont les effets se répercutent de manière sensible sur la technologie en général, avec des conséquences sur l'économie.

Effet boule de neige

Ainsi la découverte de l'entraînement mécanique à la vapeur produite par les chaudières à charbon a complètement révolutionné le paysage industriel du 19^e siècle.

Les quatre étapes marquantes du développement de la machine à vapeur sont les suivantes (tableau 10).

Tableau 10
Années marquantes du développement de la machine à vapeur

Date	1705	1765	1810	1860
Inventeur	Newcommon	Watt	Carnot	Clausius
Profession:	plombier	assistant scientifique	ingénieur	physicien
Apport	première réalisation (depuis l'Antiquité)	amélioration nette: Condensateur séparé	calculs de base pour un rendement maximal	fondements scientifiques (1 ^{er} et 2 ^e principes)

L'utilisation de la vapeur s'est étendue sur près de 150 ans, avec une amélioration du rendement d'un facteur 50 environ. Sa technique s'est affinée progressivement depuis le bricolage intuitif de Newcommon à la mise au point de Watt en passant par la description du principe de fonctionnement de Carnot. Finalement, c'est le professeur de physique à l'EPFZ, Clausius, qui a énoncé les deux principes thermodynamiques à la base théorique de la machine à vapeur.

L'électricité ne pouvait pas se développer d'une manière aussi empirique que la technique de la vapeur. Comme nos sens ne la perçoivent pas directement, il a fallu faire confiance à la science dès le début. Sans le calcul différentiel et intégral et sans les équations du physicien Maxwell, rien n'aurait été possible. C'est dans les écoles polytechniques, où l'électrotechnique était enseignée, et dans les nouveaux instituts de recherches de l'industrie que se développèrent les dernières innovations, tel le transistor, apparu dans les laboratoires de la Bell Telephone Company.

Electricité et développement technique

L'électricité a été, dès le départ, liée au travail scientifique et nombre de découvertes utilisent l'électricité: relais, tubes de TSF, téléphone,

Nouvelles techniques d'information radio et télévision, laser, transistor, et les nouvelles techniques d'informations, comme les ordinateurs, les robots et les moyens de communication qui sont caractéristiques de notre époque.

Ere de l'électricité et de l'électronique Les techniques et les agents énergétiques marquent la société de leur empreinte depuis toujours. Les périodes anciennes ont reçu leur appellation d'après les matériaux utilisés, (âge de la pierre, du bronze, du fer), les temps modernes recevront peut-être les dénominations « âge du charbon » (environ 1800 à 1920), « âge du pétrole et du gaz » (environ 1920 à 1980) et « âge de l'électricité et de l'électronique » (à partir de 1980).

Les matières premières, les techniques ou les machines utilisées pourraient tenir lieu de symboles de ces périodes (tableau 11).

Tableau 11
Différents âges et leurs symboles

Age du charbon	Age du pétrole et du gaz	Age de l'électricité et de l'électronique
~ 1800 à 1920	~ 1920 à 1980	dès 1980
fer et acier	plastique	silicium
machine à vapeur	automobile	ordinateur, micro-électronique

Le tableau 11, quelque peu rudimentaire et spéculatif, ne tient pas compte des changements intervenus au cours des périodes définies.

De la courroie d'entraînement au câble électrique Dans les années 20, l'économie américaine est passée très rapidement de l'entraînement par courroie au moteur électrique, une innovation qui donna un coup de fouet au démarrage de la production. Auparavant toute l'organisation spatiale de l'entreprise dépendait du système de courroies auquel toutes les machines étaient reliées. Dès que cette entrave fut éliminée, la productivité a augmenté de façon colossale, avec une amélioration sensible du rendement énergétique. En outre le rendement global moyen était des plus médiocres, car tout le système d'entraînement devait être mis en route pour, dans certains cas, ne faire fonctionner qu'une seule machine.

Demande énergétique toujours croissante L'introduction du moteur électrique a été une mesure d'économie d'énergie par excellence, exerçant une influence si positive sur la productivité que, dès 1920, lorsque la production a énormément augmenté, la consommation d'énergie a continué à croître, mais moins rapidement qu'auparavant.

3.3 Statistique énergétique

Formes d'énergie

L'homme et son système économique font partie intégrante de la nature, et les flux d'énergie naturels sont pour lui très importants. Les habitations ne sont pas chauffées uniquement par des systèmes de chauffage, mais aussi par le soleil et l'air ambiant plus ou moins tempéré. L'agriculture ne produit pas (encore) exclusivement à coup de lumière artificielle et d'engrais, avant tout elle a besoin de soleil. La figure 12 met en parallèle l'énergie solaire qui inonde le paysage et l'énergie technique correspondant à la quantité journalière moyenne utilisée par un Helvète.

L'utilisation d'énergie suppose presque toujours une ou plusieurs transformations. La figure 13 illustre de façon schématique les diverses étapes de transformation de l'énergie primaire en énergie finale à l'intérieur de notre système économique. Chacune des étapes de transformation provoquent des pertes, c'est pourquoi la quantité d'énergie résultante est plus petite.

Au niveau des énergies primaires, la comparaison entre agents énergétiques est intéressante et peut conduire à poser les bonnes questions. En tant qu'énergie primaire, l'électricité vaut environ trois fois plus que les combustibles fossiles. Si l'on ne pouvait utiliser la force hydraulique, l'électricité devrait être produite par l'énergie thermique, avec une baisse de rendement d'environ un tiers.

Les statistiques énergétiques de l'OCDE convertissent tous les agents énergétiques en énergie primaire. Cette méthode présente l'avantage de faciliter les comparaisons entre les agents énergétiques et les analyses par substitution de certains agents énergétiques sont rendues plus aisées. Pour convertir l'électricité produite par la force hydraulique et atomique en énergie primaire, on utilise le rendement moyen des centrales thermiques conventionnelles du pays en question. Pour les pays disposant d'une importante force hydraulique (Islande, Nouvelle-Zélande, Autriche, Portugal, Espagne, Suède, Suisse et Turquie) la conversion se fait à l'aide du rendement moyen des centrales des pays européens de l'OCDE. Ces pays, dont la Suisse, ne donnent généralement pas l'équivalent de l'électricité en énergie primaire dans leurs statistiques énergétiques. Pour cette publication nous avons calculé, dans la mesure du possible, les équivalences en énergie primaire sur les bases fournies par l'OCDE.

L'énergie grise est définie comme la somme de toutes les énergies techniques utilisées par l'économie – industrie, services, agriculture – et le secteur public, pour produire, vendre et éliminer un bien ou un service. L'énergie grise d'un produit correspond à la dépense énergétique cumulée, depuis l'extraction, inclus le transport et la fabrication de tout le matériel et des installations nécessaires, jusqu'à la vente. La figure 14 présente l'énergie grise pour toute la Suisse.

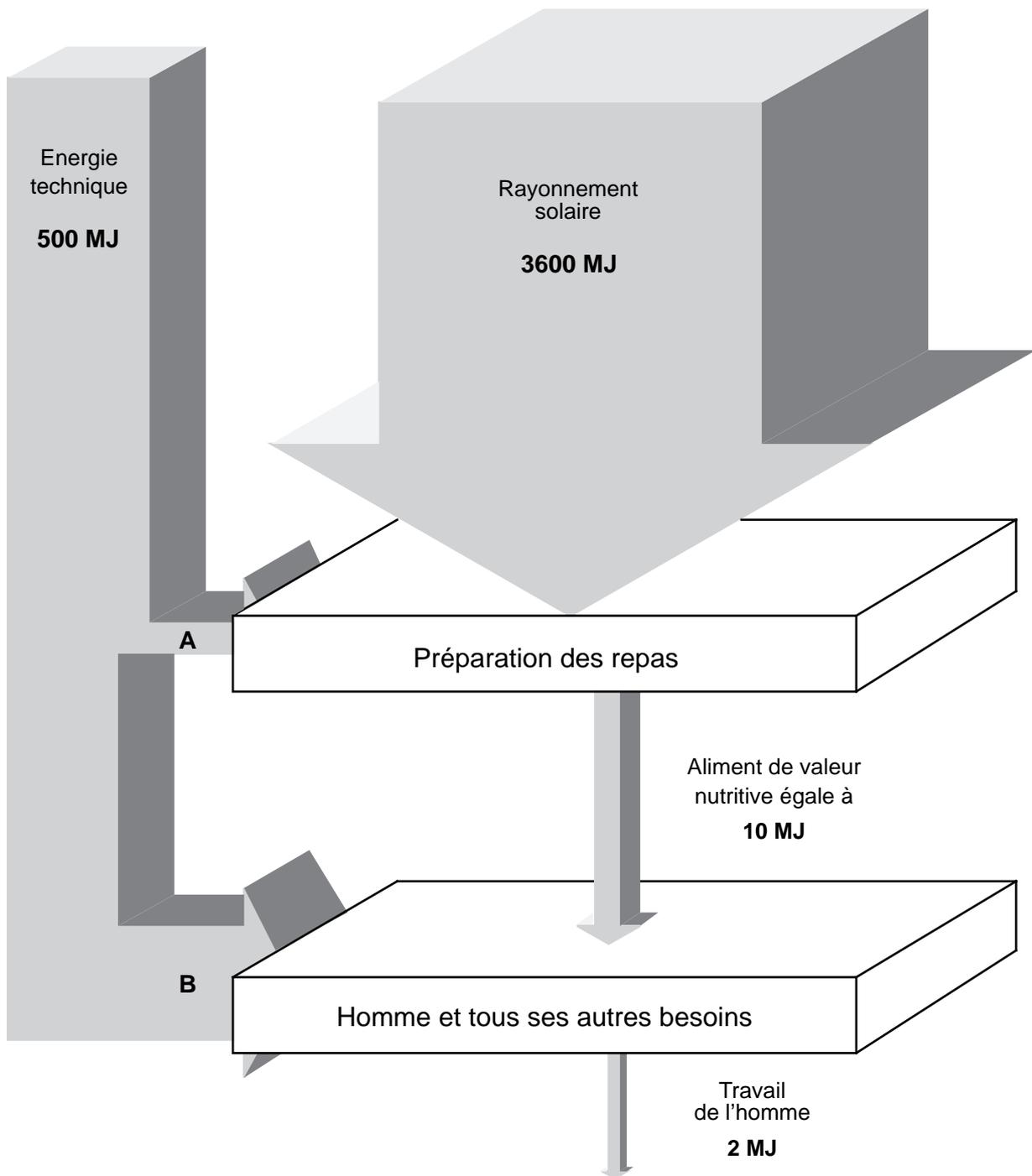
Energie technique et non technique

Etapes pour la mise à disposition de l'énergie

Energie primaire

Statistique énergétique de l'OCDE

Energie grise



Flux partiels d'énergie	
A 105 MJ	B 395 MJ
Agrochimie 7 MJ Agriculture 18 MJ Conditionnement 12 MJ Industrie de produits alimentaires 20 MJ Transport et stockage 18 MJ Cuisson et réfrigération 30 MJ	Habillements 25 MJ Logement 245 MJ Hygiène et santé 25 MJ Communication, voyages inclus 100 MJ

Figure 12: Diagramme du flux d'énergie solaire sur les surfaces cultivées et de l'énergie technique utilisée quotidiennement par un Suisse moyen.

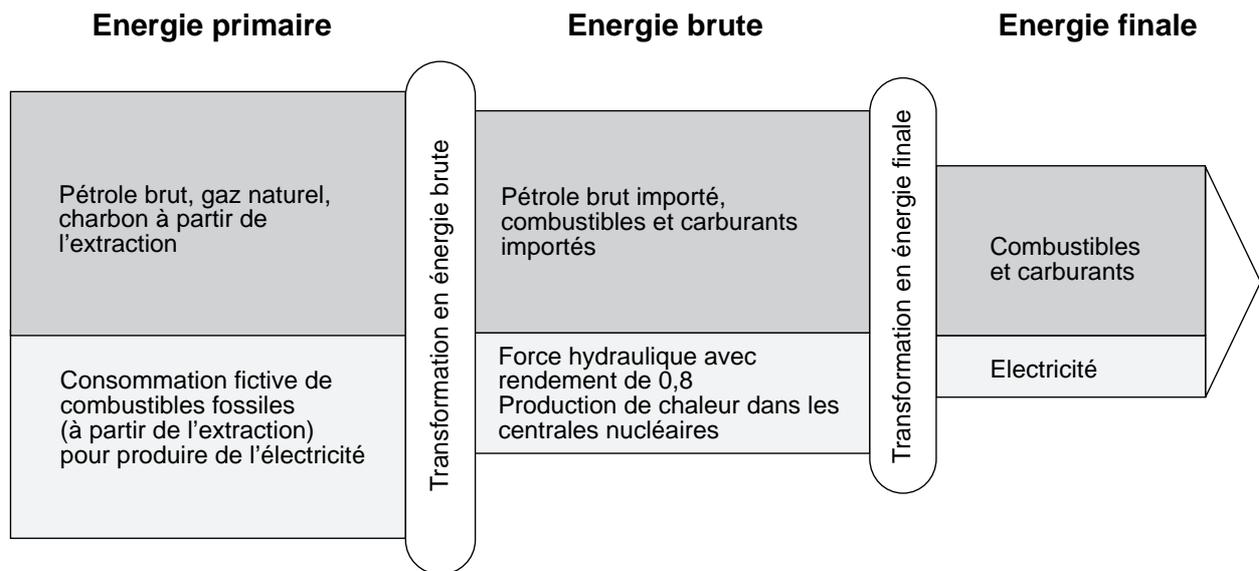


Figure 13: Etapes de transformation de l'énergie technique.

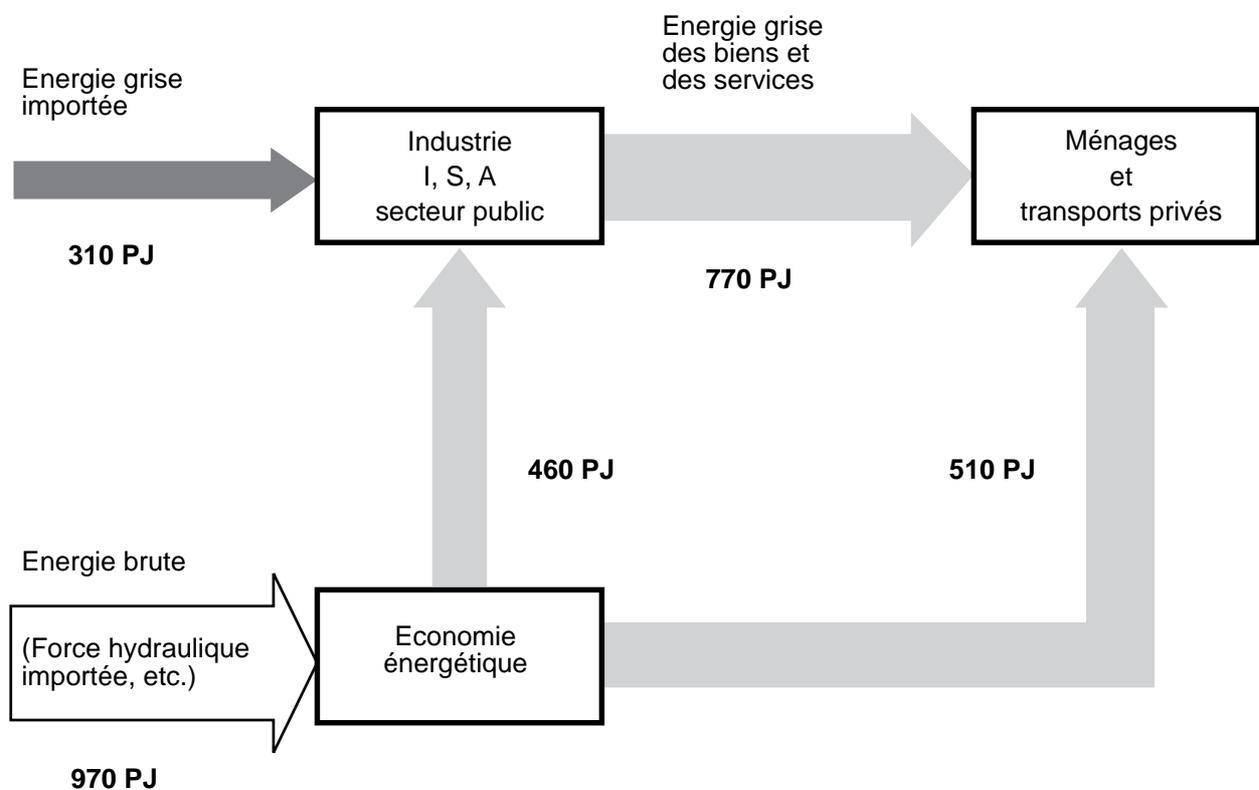


Figure 14: Energie grise des biens et services utilisés par les ménages suisses en 1988.

Les ménages ont utilisé en 1988, 510 PJ d'énergie technique. Les biens et services achetés représentaient 770 PJ d'énergie grise. Le montant d'énergie grise importée s'élevait à environ 310 PJ, c'est-à-dire, à peu près le quart de la consommation globale d'énergie primaire en Suisse.

Demande énergétique

Evolution de la consommation d'énergie

La figure 15 représente le développement de la consommation d'énergie globale en Suisse entre 1910 et 1991, ainsi que la consommation d'électricité en tant qu'énergie primaire.

L'électrification des secteurs publics et privés s'est faite très rapidement durant la première moitié du vingtième siècle. De 1945 à 1973, la consommation globale d'énergie a crû plus rapidement que celle d'électricité. La première crise du pétrole a freiné la consommation de combustibles, alors que celle d'électricité a continué d'augmenter. Durant cette période, les consommations d'énergie globale et d'électricité ont augmenté de façon exponentielle. La consommation d'électricité s'est accrue constamment et, pendant la première phase, de façon nettement plus rapide que celle d'énergie globale.

La figure 16 montre le développement de la consommation de combustibles et d'électricité dans l'industrie suisse entre 1950 et 1990.

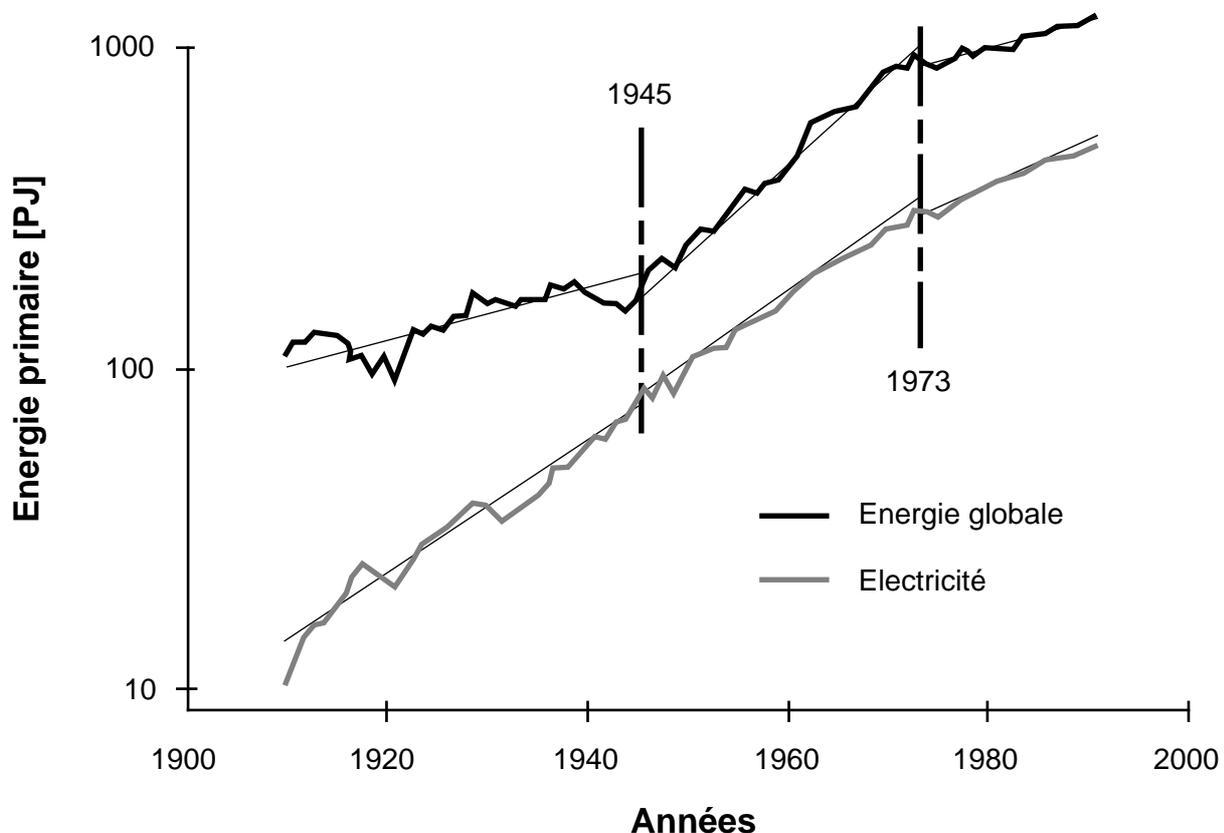


Figure 15: Consommation d'énergie primaire en Suisse. Droites de régression pour les périodes 1910 à 1945, 1945 à 1973 et 1973 à 1991.

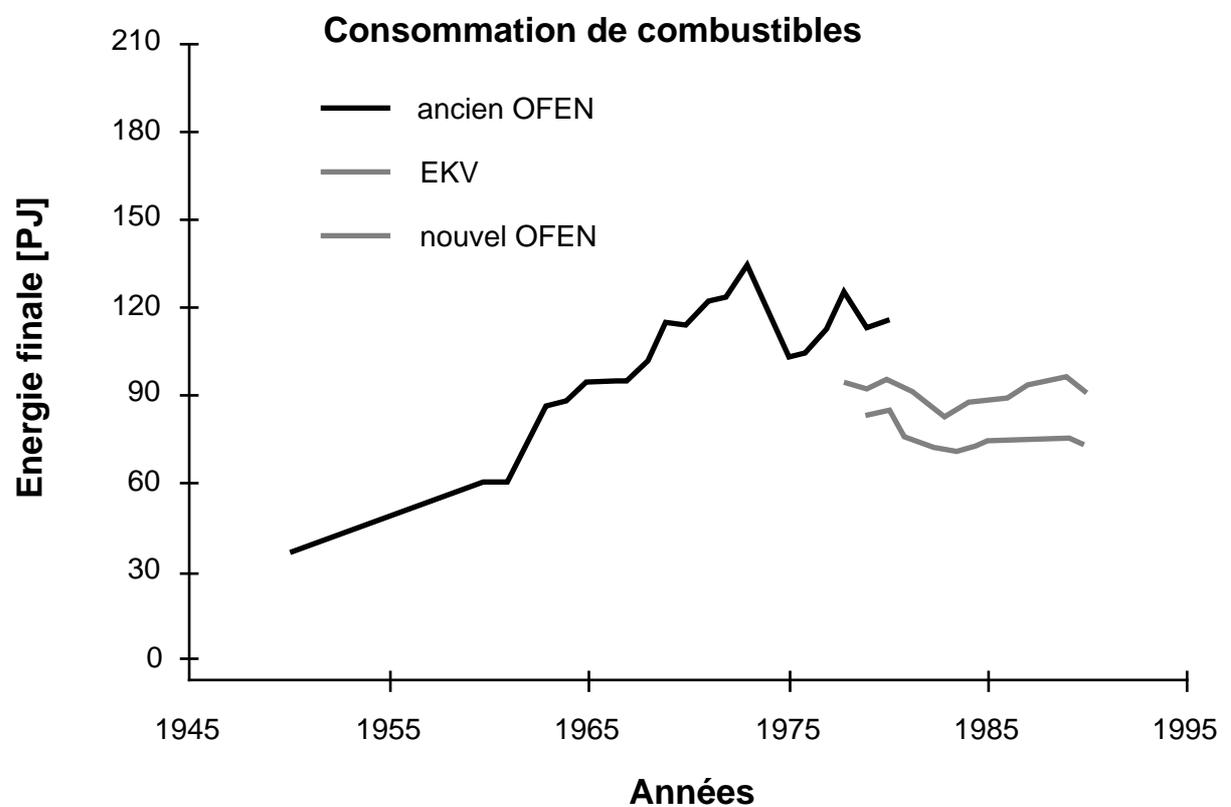
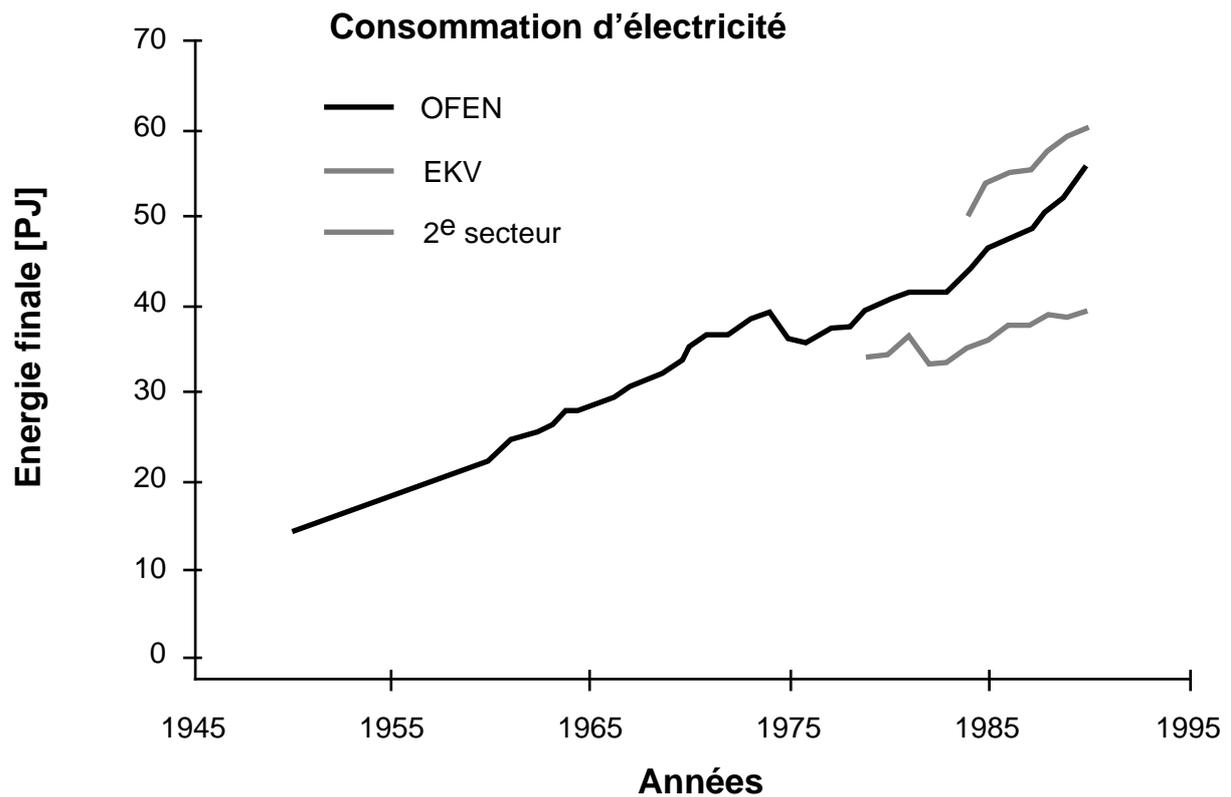


Figure 16: Consommation d'énergie finale dans l'industrie suisse. Les échelles des axes y (verticaux) sont proportionnelles à la valeur de l'électricité (environ trois fois plus élevée que les combustibles).

Le saut étonnant des courbes dû au problème du recueil des données doit être mis entre parenthèses. On remarque cependant clairement que la consommation de courant électrique augmente continuellement, alors que celle des combustibles reste plus ou moins constante depuis 1973.

Demande énergétique de l'économie

Si l'on prend les valeurs des courbes continues de la figure 16, pour le secteur économique «industrie et artisanat» et qu'on les divise par le chiffre d'affaires ou le nombre de places de travail, on obtient la figure 17 pour l'énergie globale mesurée comme énergie primaire, et la figure 18 pour l'électricité. L'électricité, mesurée comme énergie primaire, représente aujourd'hui 60% de la consommation globale d'énergie dans l'industrie. De même, les dépenses pour l'électricité correspondent à plus de la moitié des dépenses énergétiques globales de l'industrie.

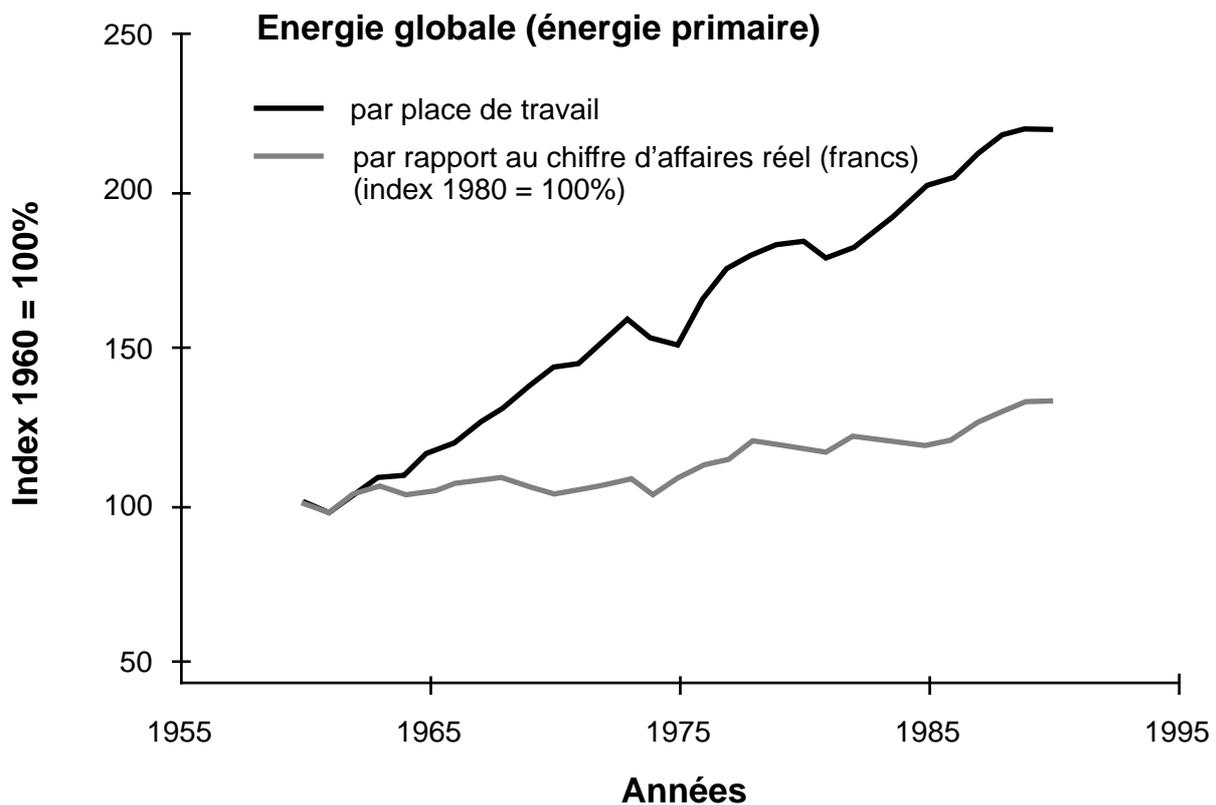


Figure 17: Consommation d'énergie globale par place de travail et par rapport au chiffre d'affaires réel (francs), pour le secteur économique «industrie et artisanat» en Suisse.

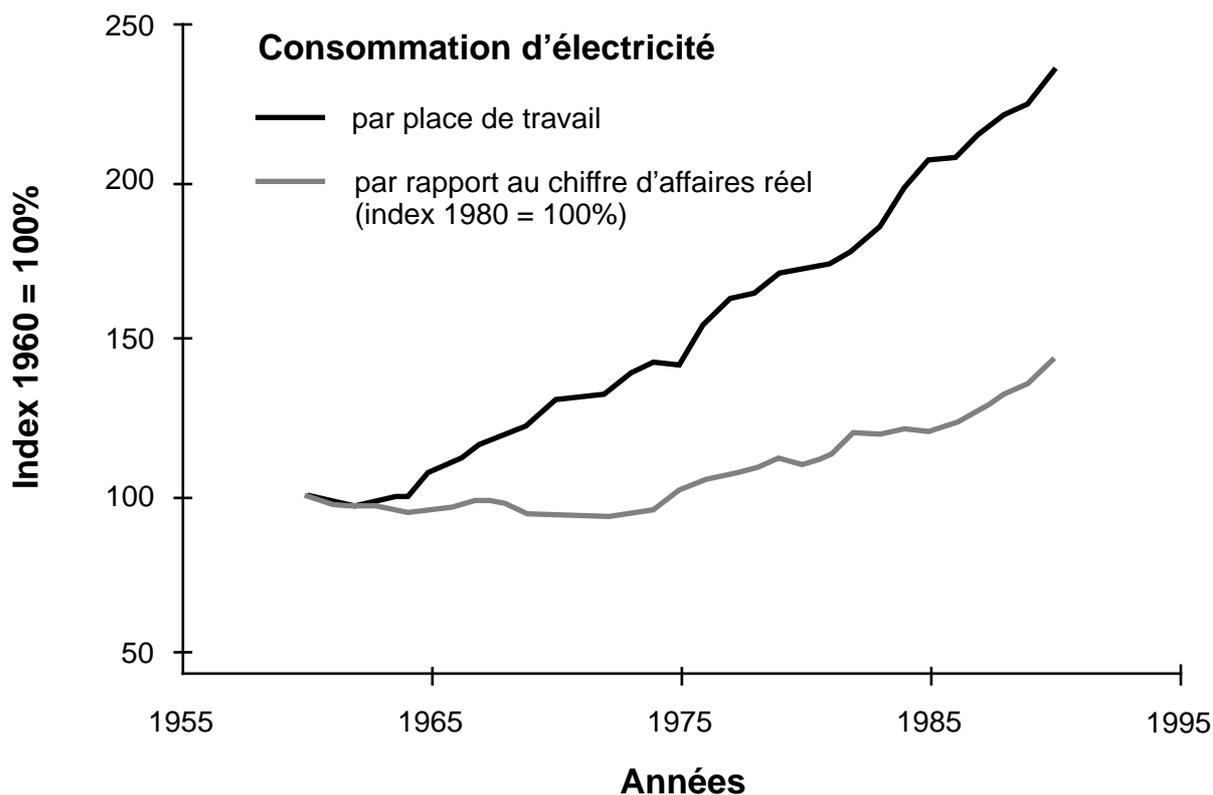


Figure 18: Consommation d'électricité par place de travail et par rapport au chiffre d'affaires réel (francs), pour le secteur économique « industrie et artisanat » en Suisse.

Malgré une croissance modérée du chiffre d'affaires depuis 1973, et malgré des économies drastiques, la consommation d'énergie dans l'industrie s'est intensifiée.

Intensification de la consommation d'énergie

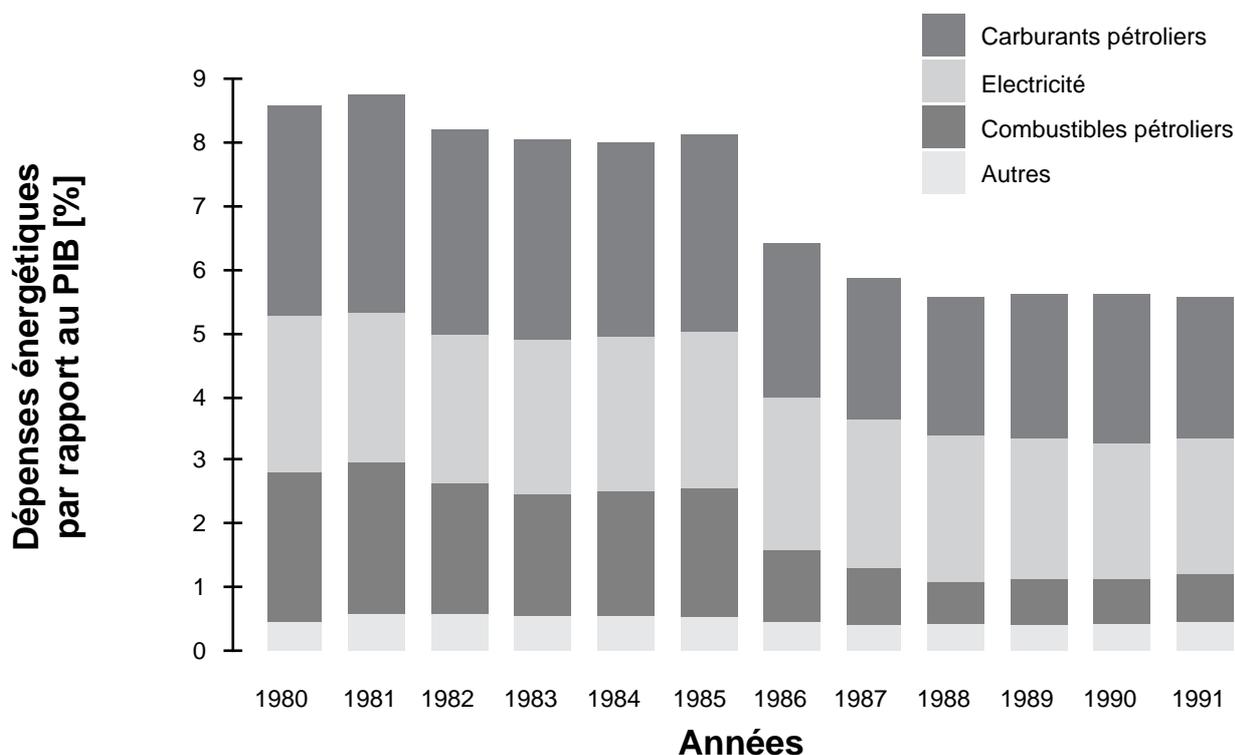
3.4 Interactions entre l'énergie et l'économie

Croissance économique et changements structurels

Consommation d'énergie

Le développement économique se répercute surtout sur la demande d'énergie finale. Les pays mesurent habituellement le niveau de développement en unités monétaires, le produit intérieur brut (PIB). Ce paramètre ne suffit pas, mais il est relativement facile à déterminer. La figure 19 montre les dépenses énergétiques de la Suisse en pour cent du PIB.

La demande énergétique à l'échelon national est souvent mesurée en tant qu'énergie primaire. La figure 20 montre qu'en Suisse le PIB est intimement lié (de façon linéaire) à la consommation d'énergie primaire.



	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Carburants pétroliers	5.7	6.8	7.3	7.5	7.9	8.8	7.6	7.6	7.9	9.4	10.9	11.8
Electricité	4.2	4.7	5.2	5.8	6.3	7.0	7.5	8.0	8.4	9.1	10.0	11.3
Combustibles pétroliers	4.0	4.7	4.7	4.7	5.1	5.8	3.6	2.9	2.5	3.1	3.5	4.2
Autres	0.8	1.2	1.3	1.3	1.5	1.5	1.6	1.7	1.5	1.6	1.9	2.5
Total	14.7	17.3	18.4	19.3	20.7	23.2	20.3	20.1	20.3	23.3	26.4	29.8

Dépenses en milliards de francs réels (index 1980 = 100%)

Figure 19: Dépenses énergétiques de la Suisse en pour cent du PIB, en francs réels.

Il est intéressant de noter que, même pendant les deux crises du pétrole, la relation entre la consommation d'énergie et le développement économique est restée pratiquement toujours aussi étroite. Ce que confirme l'ascension constante de la courbe au cours des siècles. Cette constance donne l'impression qu'il s'agit d'une loi naturelle. Mais il est difficile de dire si c'est la consommation d'énergie qui provoque la croissance économique, ou si c'est l'inverse. L'hypothèse que l'économie détermine la consommation d'énergie globale nous paraît la plus probable.

Etroite relation entre la consommation d'énergie et le développement économique

La consommation d'énergie globale de la Suisse, entre 1910 et 1991, semble être fortement déterminée par des influences extérieures. La figure 21 met remarquablement en évidence les effets des deux guerres mondiales, les années d'après guerre, la crise économique mondiale et les années de haute conjoncture.

Influences extérieures

L'économie exerce donc une influence décisive sur la consommation d'énergie.

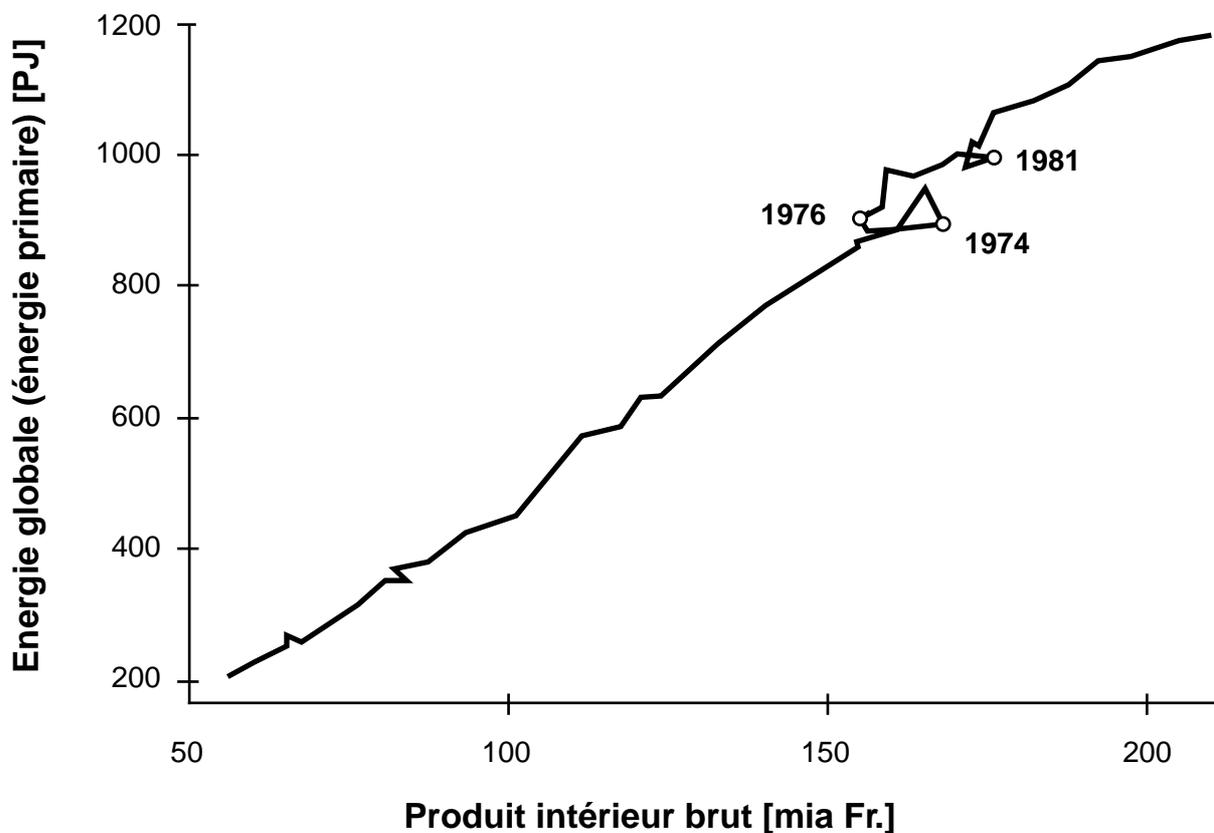


Figure 20: Relation entre la consommation d'énergie et le développement économique.

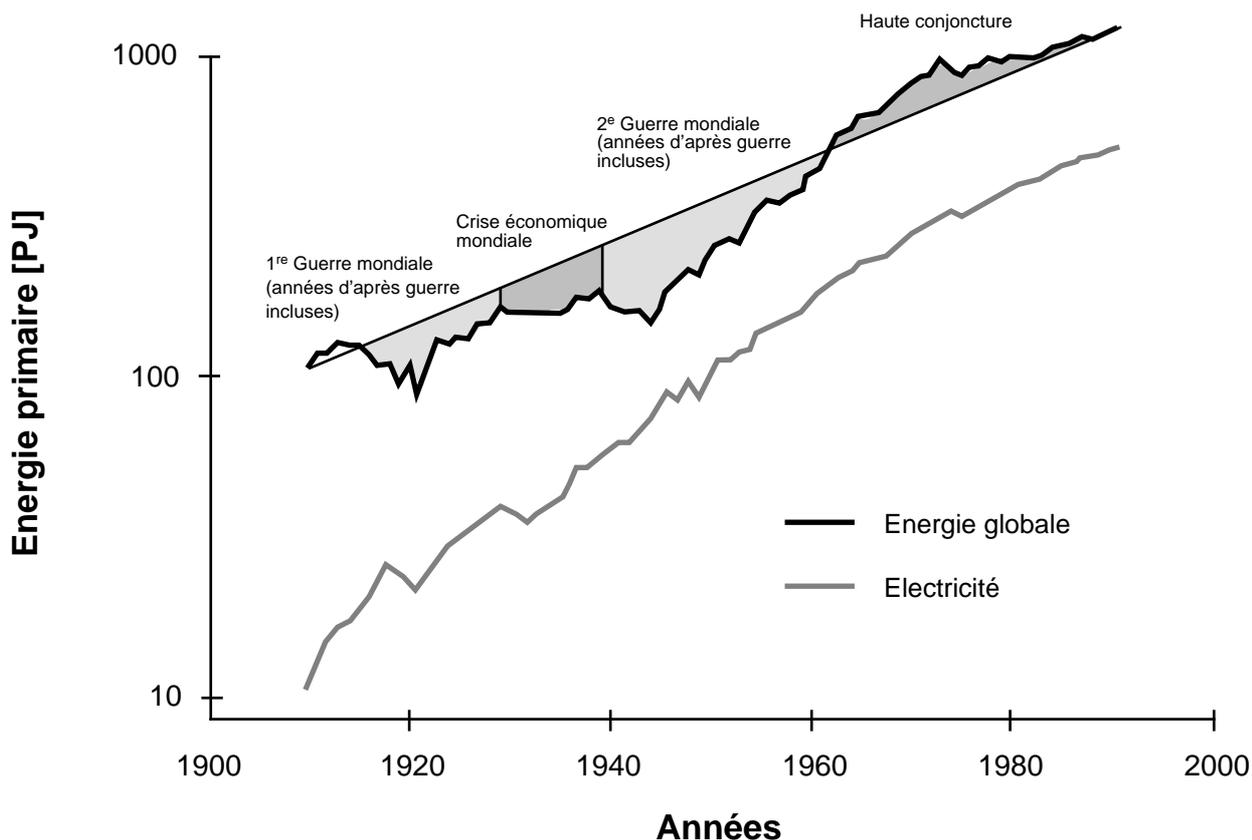


Figure 21: Consommation d'énergie globale en Suisse. La droite relie simplement le premier au dernier point.

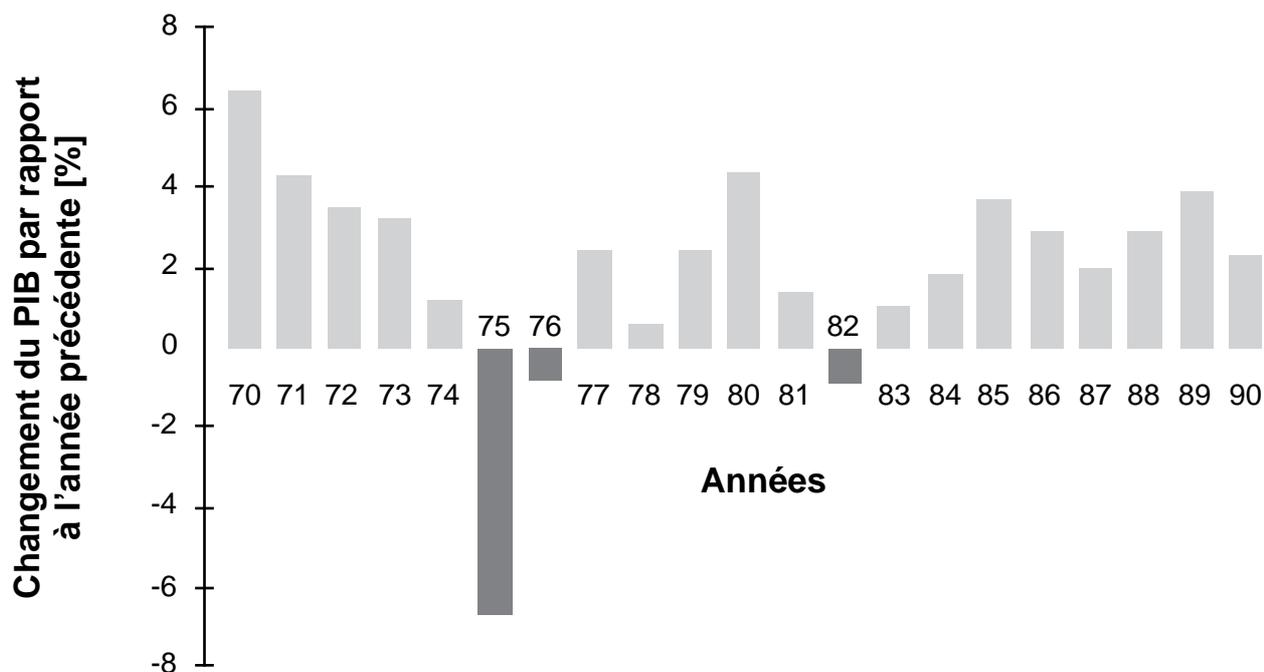


Figure 22: Changement réel du PIB par rapport à l'année précédente (index 1980 = 100%). Crise de l'énergie de 1973: croissance négative de 1975 à 1976; crise de l'énergie de 1979: croissance négative de 1982.

La croissance économique s'est arrêtée lors des périodes de récession qui ont suivi les deux crises de l'énergie de 1973 et 1979 (figure 22). Mais il est difficile d'établir des relations de cause à effet entre récessions économiques et crises de l'énergie.

Périodes de récession

Les crises du pétrole ont-elles changé la structure de l'économie ? En tout cas la relation entre la consommation d'énergie primaire et le produit intérieur brut permet des observations intéressantes. Le PIB est un indicateur fréquemment utilisé de la demande énergétique globale, car il dépend beaucoup de la structure économique.

Peu de changements de structure lors des crises du pétrole

Si l'on considère la consommation d'énergie primaire par rapport au PIB en fonction des années, on n'obtient pas une image très significative des vingt dernières années (figure 23).

La Suisse occupe une place de choix en ce qui concerne le développement de l'utilisation intensive de l'énergie. En passant du type de société industrielle à une société de services, la consommation d'énergie en Suisse n'a pas diminué (figure 24), contrairement à ce qui s'est produit en Grande-Bretagne, aux USA, en Allemagne, en France et au Japon. Cependant, récemment, un développement similaire à celui d'un pays industrialisé « normal » a commencé à se dessiner aussi en Suisse.

Cas exceptionnel de la Suisse

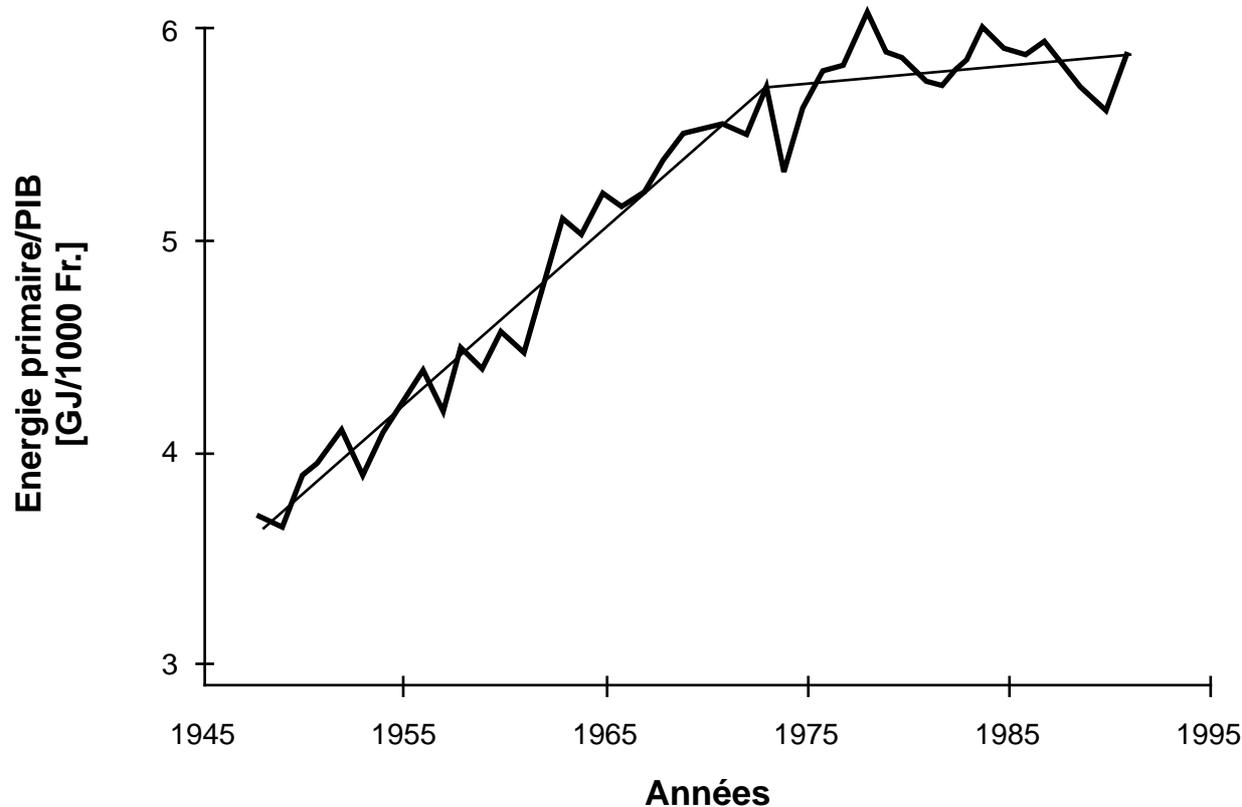


Figure 23: Utilisation de l'énergie en Suisse. Avec les droites de régression pour les deux périodes 1948-1973 et 1973-1991.

Changements de structure dans des secteurs de consommation particuliers

Si on considérait la consommation d'énergie de chaque groupe particulier de consommateurs, on noterait de grands progrès dans le domaine du chauffage, mais aussi des augmentations énormes dues aux moyens de transport. Ces changements sont-ils des changements structurels? C'est une question de définition.

La consommation d'énergie dans le secteur industriel ne semble pas avoir subi de bouleversement dramatique (figures 17 et 18).

Industrie des matières premières : diminution de leur importance

A l'étranger, le développement des industries de matières premières s'est parfois ralenti de façon notable, ce qui a provoqué une nette diminution de la consommation d'énergie des pays en question. Il n'y a pas eu de tels effets en Suisse. Ce type d'industrie n'y a jamais été importante, c'est pourquoi des changements structurels dans ce secteur n'ont pu avoir d'effets observables. Au cours des années, l'efficacité de beaucoup de procédés de production de matières premières a été améliorée, par exemple, celle de la production d'aluminium (figure 25). La consommation d'énergie étant un facteur de coûts important dans ce processus, on essaie continuellement de la diminuer. La baisse de la consommation spécifique d'énergie enregistrée dans ce secteur est due au progrès technique. Mais aujourd'hui il semble que le rendement énergétique de la production industrielle de matières premières ait atteint un plafond.

Recyclage

En plus de l'amélioration des procédés, l'économie énergétique prend aussi de l'importance en même temps que le coefficient de réutilisation des matières premières s'améliore. Le recyclage, en particulier des matières premières métalliques, est généralement bien plus favorable énergétiquement que la production à partir des matières brutes.

Ecologiquement, la diminution des dépenses énergétiques spécifiques est une lame à double tranchant: si les procédés deviennent plus efficaces, des quantités plus grandes envahissent le marché, ce qui derechef augmente la production.

Grande et petite industrie : plus d'énergie, moins de travail

Si on met les industries de matières premières entre parenthèses, on remarque que le développement de l'économie suisse (secteur industriel et artisanat) correspond nettement plus au développement d'autres pays. Le recours à l'énergie s'intensifie avec l'automatisation progressive qui substitue toujours plus l'énergie au travail manuel.

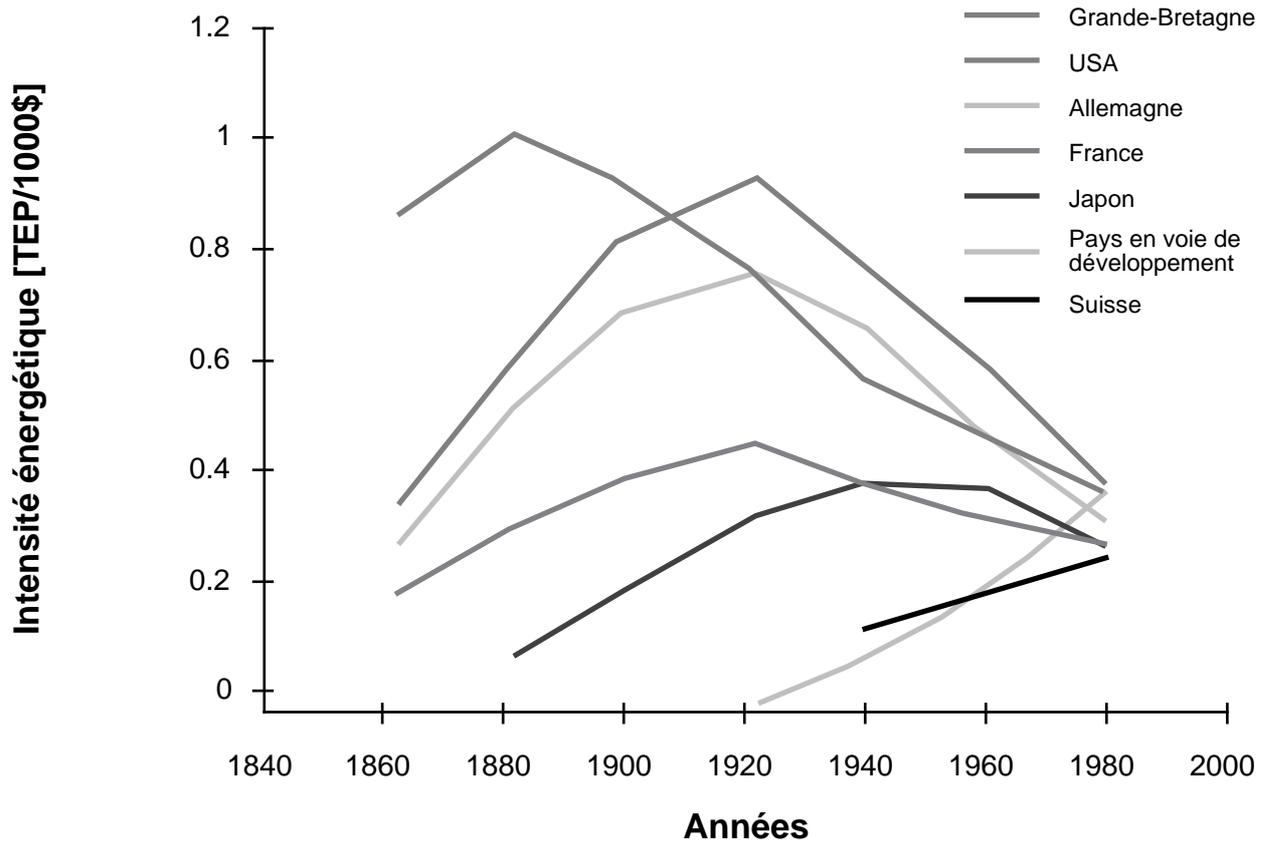


Figure 24: Intensités de la consommation énergétique dans divers pays.

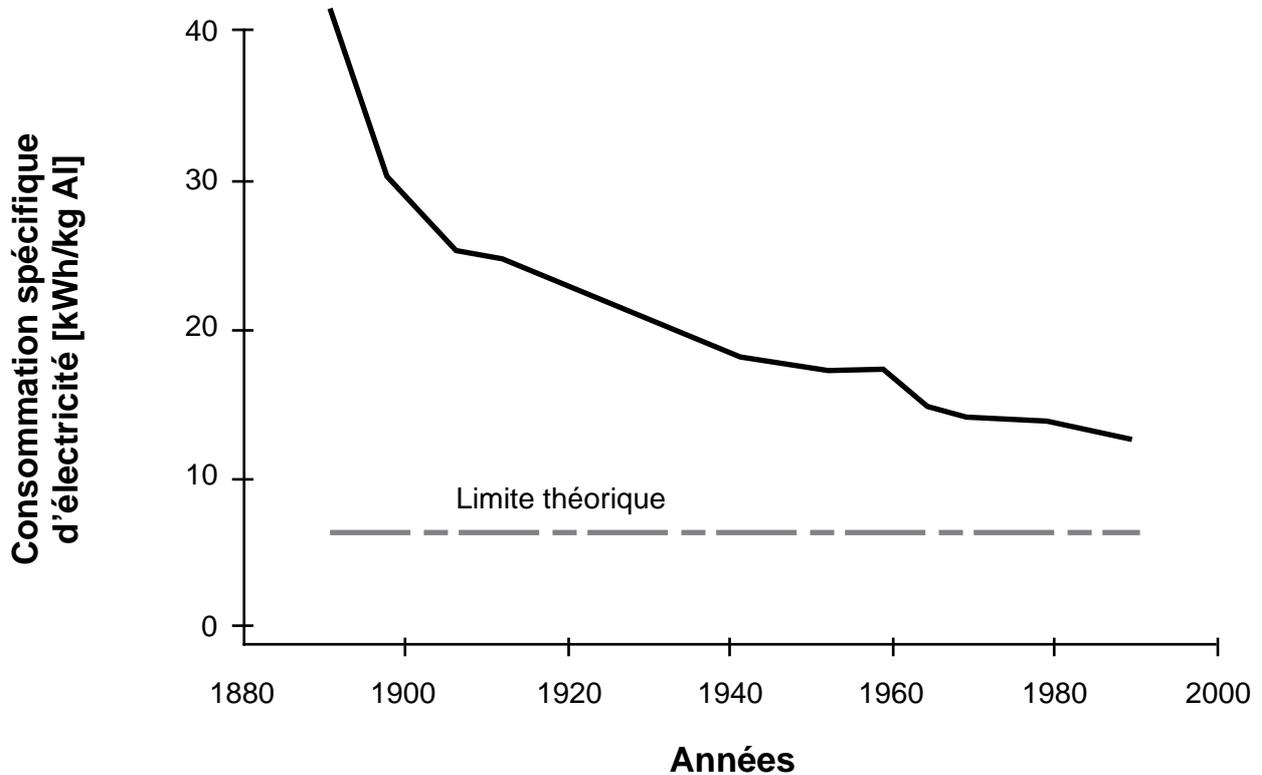


Figure 25: Consommation spécifique d'électricité pour la production électrolytique d'aluminium

Prix de l'énergie et consommation

Prix et consommation de l'énergie

La comparaison de divers pays, ainsi qu'une perspective temporelle pour certains d'entre eux, montre que le prix de l'énergie influence fortement la consommation d'énergie et son intensification. Voici les fruits d'une telle réflexion :

- l'énergie à un prix élevé a pour conséquence une intensité énergétique plus faible ;
- les changements de prix n'ont pratiquement pas d'effet à court terme ; à moyen et à long terme leurs effets vont se renforçant, avec les ajustements de l'économie et des ménages qui nécessitent plus de temps (investissements dans des technologies économiques, changements de la structure des secteurs d'activité) ;
- le prix de l'énergie s'est généralement accru lors des périodes de récession (crises du pétrole). L'effet conjugué des deux phénomènes sur la consommation d'énergie se renforce. Durant les autres périodes, la consommation d'énergie a augmenté, suite à la croissance de l'économie et de la population, reléguant l'influence du changement des prix au second plan. Mais si ces effets sont isolés à l'aide de méthodes statistiques, l'influence des prix sur la consommation d'énergie devient évident.

Les effets cachés de l'interaction entre les prix et l'intensification de la consommation énergétique sont multiples et reflètent les différents mécanismes d'adaptation d'une économie de marché.

Prix de l'énergie et taxes de l'Etat

Les prix du marché de l'énergie sont fortement et universellement influencés par des taxes et des impôts divers. Il s'y ajoute les différences « naturelles » de prix dues à la topographie (force hydraulique), à la disponibilité de matières premières (frais de transport pour les agents énergétiques fossiles) et à la structure des installations (frais de transport, distribution sur une petite ou grande échelle).

Sans aucun doute, la politique fiscale d'un Etat influence l'intensité de la consommation de l'économie. Il y a encore beaucoup de pays qui n'imposent pas les agents énergétiques, car l'énergie est y considérée comme une marchandise indispensable à la mise en place des infrastructures. Mais de plus en plus on en vient à considérer l'énergie pour ce qu'elle est, avec ses ressources limitées et les charges qu'elle fait peser sur l'environnement, en même temps qu'il se développe le souci de l'économiser et de l'employer à bon escient. Des directives allant dans ce sens seront discutées dans les milieux politiques ou, comme dans les pays scandinaves, sont déjà introduites dans les textes de loi.

Effets de la disponibilité de l'énergie sur l'économie

Que se passe-t-il dans l'hypothèse d'une réduction de la disponibilité de l'énergie. Voici deux scénarios :

- un contingentement en cas de crise ;
- une raréfaction graduelle (en même temps qu'une augmentation des prix) comme développement à long terme.

Actuellement les scénarios de contingentement ne semblent pas très vraisemblables sur la scène internationale. Lors de raréfaction graduelle, deux conséquences toucheront l'économie publique et les entreprises :

Raréfaction générale

- Si le consommateur utilise l'énergie de façon parcimonieuse, il supportera un prix de l'énergie plus élevé. Une économie suisse, économe d'énergie, est en mesure, lors de crises, de payer un prix élevé;
- Une certaine quantité d'énergie utilisée parcimonieusement, dure plus longtemps. Il est évidemment possible de réduire la consommation pendant les périodes de crise. Mais cette réduction signifierait que les particuliers devront renoncer à certaines habitudes de consommation et à quelques activités économiques. Il n'est en effet guère possible d'envisager de faire des économies d'énergie sans toucher à la consommation et à la production. Une exploitation rationnelle de l'énergie nécessite une organisation préalable, que ce soit sous forme d'investissements ou de formes nouvelles d'exploitation, à introduire et expérimenter.

Future demande énergétique

Des prédictions concernant la future demande d'énergie s'appuient sur les interactions entre les développements techniques, économiques, sociaux et politiques.

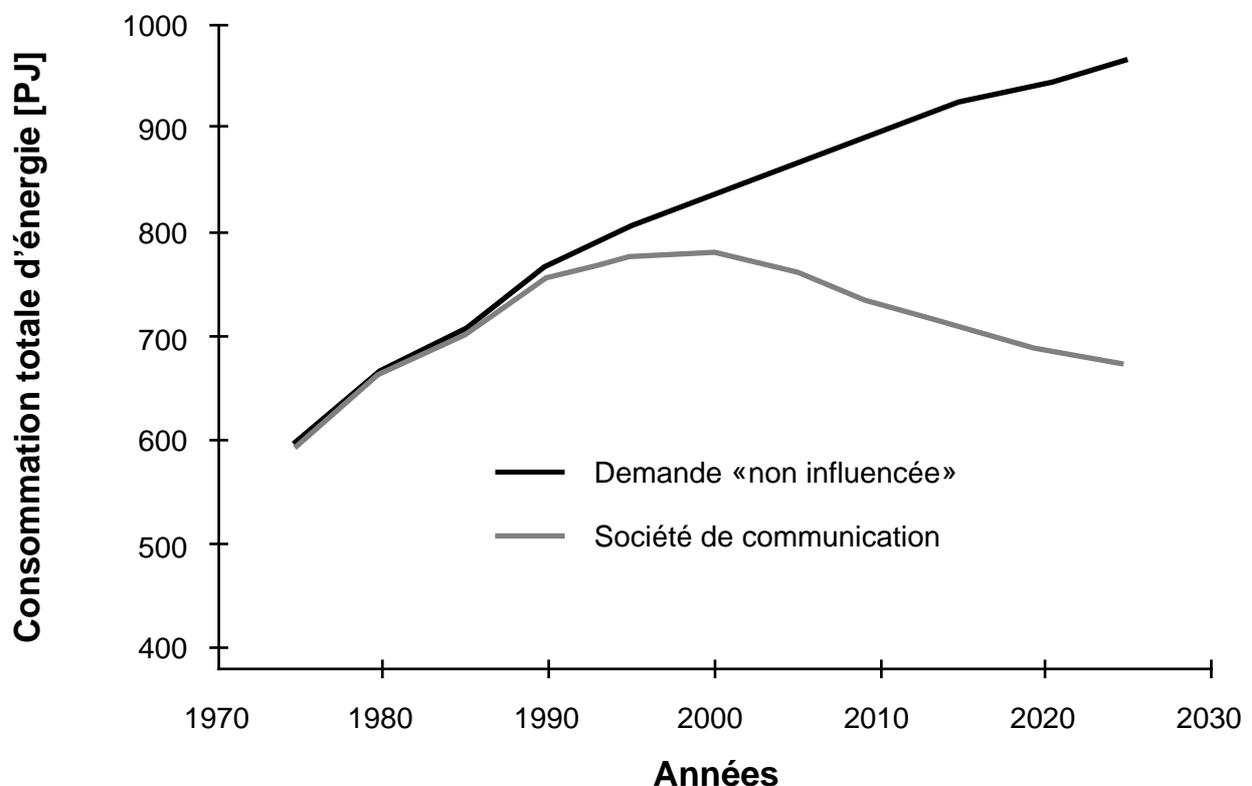


Figure 26: Demande énergétique de la Suisse selon les deux scénarios de l'EGES, «demande non influencée» et «société de communication»¹².

Notons à propos de ces analyses

- qu'elles utilisent souvent les techniques et les méthodes de l'économie publique ;
- qu'elles procèdent à partir de données passées et présentes pour projeter ces données dans le futur ;
- qu'elles sont menées au niveau des installations et appareils des entreprises (secteurs) ou au niveau de l'économie publique.

Scénarios énergétiques

Pour prévoir la demande future d'énergie, il ne faut pas seulement avoir des méthodes d'analyse, il faut aussi des scénarios de développement économique qui servent de base à des « scénarios énergétiques ». La plupart du temps c'est une évaluation quantitative qui joue le rôle de prédiction et alimente le scénario le plus vraisemblable.

Demande non influencée

Comme exemple, voici le scénario donné par l'EGES¹³ pour la demande énergétique jusqu'en l'an 2025, (cf. figure 26). L'hypothèse à la base de ce scénario de « demande non influencée » est que les dispositions légales valables aujourd'hui ainsi que leurs applications ne changeront pas et que les facteurs qui influencent la consommation à la baisse ou à la hausse resteront pareils.

Le scénario n'extrapole pas seulement le développement, mais il s'appuie sur de nombreuses hypothèses et propose des modèles, ayant pour but de tracer un développement aussi consistant que possible.

Société de communication

Un autre scénario de l'EGES, caractérisé par les concepts de « croissance qualitative » et « culture de la communication », prévoit en contrepartie une demande énergétique beaucoup plus faible (figure 26). Les buts principaux de la croissance qualitative sont : une économie qui tient compte de l'environnement et des conditions favorisant l'épanouissement personnel. Dans le même ordre d'idée il y a beaucoup d'autres développements envisageables, tels que l'utilisation rationnelle de l'énergie. Dans le scénario « société de communication », il est fait appel à un comportement nouveau vis-à-vis de la consommation¹⁴:

- Dans des conditions-cadres modifiées de l'économie productive (par exemple rendre internes les frais externes), les articles de grande série deviennent relativement chers par rapport aux produits de qualité fabriqués en petites quantités.
- La technique de l'automatisation flexible permet de fabriquer des produits finis de grande qualité à un prix abordable.
- Des revenus plus hauts augmentent la demande de produits et services qui sont plus chers, c'est-à-dire de valeur qualitative plus élevée, choisis en fonction des désirs des clients.

Idées-forces pour la politique énergétique

Même si un tel scénario n'est pas très vraisemblable, il propose malgré tout des idées-forces intéressantes pour la politique énergétique et montre dans quelle direction le développement pourrait aller ou être dirigé. Ces réflexions s'adressent avant tout au monde politique. Mais que peut entreprendre avec tout ça un responsable d'entreprise accaparé par la routine de son travail ? Une seule réponse : utilisez l'énergie à bon escient et vous en retirerez toute

une série d'avantages pour votre entreprise, de meilleurs rendements financiers, une production respectueuse de l'environnement, un niveau technique plus élevé, un meilleur esprit de collaboration. L'économie d'énergie, économiquement et écologiquement parlant, relève de stratégies de survie incontournables.

Références

- ¹ RAVEL-Manuel de l'industrie, Berne, publications RAVEL-Industrie, OCFIM, N° de cde 724.370 f
- ² Leemann, R., 1992, «Methoden der Wirtschaftlichkeitanalyse von Energiesystemen», Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne, OCFIM, N° de cde 724.397.12.51 d
- ³ «Fitness énergétique, un défi aux dirigeants de l'industrie». Formation continue. Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne, OCFIM, N° de cde 724.300.3 d/f
- ⁴ Spreng, D., 1989, «Computer als Stromverbraucher», bulletin SEV/VSE 80 (1989) 20, 21 oct., S. 1325
- ⁵ Miniwatt-Report. Rationeller Energieeinsatz in der Informationstechnik und in der Unterhaltungselektronik. Rapport de la rencontre internationale pour «Insider» du 19 mars 1993 à Zurich. Office fédéral de l'énergie, Berne
- ⁶ Journée d'information RAVEL 1992, «Davantage de bureaux, moins d'électricité», N° de cde OCFIM 724.300.2
- ⁷ Spreng, D., Hediger, W., 1987, Energiebedarf der Informationsgesellschaft, Verlag der Fachvereine an der schweizerischen Hochschulen und Techniken (vdf), Zurich
- ⁸ Wolfart, F., 1994, «Analyse de la consommation d'énergie – Saisir-Evaluer-Représenter-Agir», Berne, publication RAVEL-Industrie, OCFIM, N° de cde 724.318 f
- ⁹ Spreng, D., 1986, Energiesparpotentiale in Industriebetrieben, National Forschungsprogramm 44
- ¹⁰ Goeller, H.E. et Weinberg, A.M., 1976, «The Age of Substitutability», Science 191: 683
- ¹¹ Un survol des problèmes de pollution dans le domaine de l'alimentation énergétique est prévu dans le projet «Externalitäten der Wärme- und Stromversorgung». Un essai de quantification sera présenté dans le cadre de ce projet soutenu par le programme d'impulsion PACER (rapport final en préparation)
- ¹² Groupe d'experts des scénarios énergétiques, 1988, «Energieszenarien/Möglichkeiten, Voraussetzungen und Konsequenzen eines Ausstiegs der Schweiz aus der Kernnergie», Département fédéral des transports et de l'énergie, Berne
- ¹³ Rapport du groupe d'experts des scénarios énergétiques, 1988, «Energiepolitische Entscheidungsmöglichkeiten», Bestellnummer OCFIM 805.846 d
- ¹⁴ Groupe d'experts des scénarios énergétiques, 1988, «Neue gesellschaftliche Prioritäten und Energiepolitik», publication N° 15, Département fédéral des transports et de l'énergie, Berne

Les trois Programmes d'impulsions de l'Office fédéral des questions conjoncturelles (OFQC) 1990-1995

D'une durée de six ans, ces programmes de formation continue permettront de diffuser des connaissances nouvelles dans les trois domaines importants suivants : l'entretien et la rénovation des constructions, l'utilisation rationnelle de l'électricité et le développement des énergies renouvelables. Toutes les actions entreprises dans ce cadre se font en étroite collaboration avec l'économie, les hautes écoles, les organisations professionnelles et la Confédération par



PI BAT
Entretien et rénovation
des constructions

Dans la branche de la construction, on observe une tendance de plus en plus marquée pour la rénovation. Dans les années à venir, cette orientation ne pourra que se renforcer ; en effet, le patrimoine construit demandera des efforts de plus en plus importants. Dès lors, il est indispensable de réunir et de diffuser les connaissances nécessaires à ces futures activités. Ces connaissances font actuellement cruellement défaut. Le programme PI BAT vise donc aussi bien au maintien d'importants biens socio-économiques qu'à une stimulation réelle du secteur de la construction.



RAVEL
Utilisation rationnelle
de l'électricité

L'électricité, énergie précieuse, devrait être utilisée à bon escient. Ceci signifie aussi bien une amélioration de l'efficacité des appareils et des procédés qu'une réduction des prestations inutiles. Des projets de recherche et des études de cas ont été mis en chantier pour acquérir de nouvelles connaissances en matière d'utilisation rationnelle de l'électricité dans les bâtiments, l'industrie, les services et les ménages. Les résultats obtenus et les expériences acquises sont à la base de journées d'information et de cours. Ceux-ci doivent, à l'avenir, contribuer à assurer une solide compétence professionnelle qui permettra de satisfaire les prestations demandées par les utilisateurs, tout en réduisant leur consommation d'électricité.



PACER
Programme d'action
énergies renouvelables

Tous les experts s'accordent à reconnaître que les énergies renouvelables peuvent contribuer de manière significative à notre approvisionnement énergétique. Pour cela, il convient toutefois de surmonter les barrières actuelles qui sont d'ordre économique, politique et psychologique. Dans ce but, le programme PACER s'efforcera de développer les techniques éprouvées qui se situent actuellement au seuil de la rentabilité économique ; il s'agit en particulier de l'utilisation passive et active du solaire dans le bâtiment, de la valorisation de la biomasse et de la production d'électricité. Parallèlement, une étude économique doit fournir les éléments nécessaires à l'évaluation des coûts externes, permettant ainsi d'effectuer des choix en tenant compte de l'ensemble des facteurs liés aux différentes chaînes énergétiques.

L'énergie est un bien précieux.

Sa mise en œuvre rationnelle se révèle un bon investissement :

- **elle épargne des frais;**
- **elle élève globalement le niveau technique;**
- **elle améliore les produits;**
- **elle considère les collaborateurs comme des citoyens;**
- **elle garantit un meilleur approvisionnement pour l'avenir;**
- **elle ménage l'environnement et contribue à sa sauvegarde;**
- **elle maintient la compétitivité de l'économie suisse par rapport à ses concurrents internationaux.**