CENTRE UNIVERSITAIRE D'ÉTUDE
DES PROBLÈMES DE L'
ENERGIE

MODELES D'AIDE A LA DECISION EN MATIERE DE POLITIQUE ENERGETIQUE SUISSE

Actes de la Journée du CUEPE 1990

Fabrizio CARLEVARO, Myriam GARBELY, Franco ROMERIO

UNIVERSITE DE GENEVE

SERIE DE PUBLICATIONS DU CUEPE N° 44

Actes de la Journée du CUEPE 1990

MODELES D'AIDE A LA DECISION EN MATIERE DE POLITIQUE ENERGETIQUE SUISSE

sous le patronnage de l'Office fédéral de l'énergie

Edités par

Fabrizio CARLEVARO, Myriam GARBELY, Franco ROMERIO

Mars 1991

Adresse: Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE)
4, chemin de Conches, CH-1231 Conches-Genève

TABLE DES MATIERES

page

Avant propos v

Session I: Evaluation des besoins énergétiques 1

– *Contributions écrites*

- Modèle "globale de l'énergie" d'Informata.
  Adrian Stäger, Informata, Zürich. 3
- Energiekennzahlen.
  Bruno Wick, Widen. 9
- Méthode de décomposition des sources de changement dans l'utilisation de l'énergie.
  Gabrielle Antille, Département d'économétrie, Université de Genève. 17
- "Bottom-up" – Modell für den Stromverbrauch im Dienstleistungssektor.
  Beschreibung eines Forschungsprojekts und Diskussion von wesentlichen Fragen beim "Bottom-up" – Ansatz.
  Bernard Aebischer, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH, Zürich. 23
- Massnahmen der effizienten Energienutzung in der Industrie.
  Möglichkeiten und Grenzen von technischen Untersuchungen.
  Ivo Knöpfel, Paul Scherrer Institut, Villigen. 33
- Méthodes technico-économiques et technico-économétriques pour la modélisation de la consommation d'énergie.
  Bernard Giovannini, CUEPE, Université de Genève. 41
- Modèles de prestation énergétique.
  B. Saugy, R. Groux, J.-M. Revaz, S. Storelli, CREM, Martigny. 51
- Modélisation économétrique de la demande d'énergie en Suisse et à Genève: bilan et perspectives.
  Fabrizio Carlevaro, Jean-Luc Bertholet, Jean-Paul Chaze, Charles Spierer, CUEPE, Université de Genève. 61

– *Synthèse des contributions écrites,* Charles Spierer, CUEPE 73

– *Interventions des contributeurs* 81

Session II: Analyse et planification de l'approvisionnement en énergie 91

– *Contributions écrites*

- Modell der Elektrizitätversorgung der Schweiz.
  E. Amthauer, Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg. 93
- Multiple Energy Supply Risks and Optimal Reserves.
  Peter Zweifel, Matteo Ferrari, Institut für Empirische Wirtschaftsforschung, Universität Zürich. 101
- Energie-Modell Zürich. Konzept einer Energieversorgung für die Wirtschaft in der Stadt Zürich, mit besonderem Schwerpunkt der Elektrizitätsversorgung.
  Thomas Bürki, Basler & Partner, Zollikon. 115

- Pragmatisches Modell zur Untersuchung von energie – und umweltrelevanten Massnahmen im Verkehr, (COST 307).
  Walter Baumgartner, Basler & Hofmann, Zürich. 123
- MEGA–Suisse: Un modèle d'équilibre général appliqué pour l'évaluation des impacts économiques des politiques énergétiques.
  Fabrizio Carlevaro, CUEPE, Université de Genève. 133
- The Combined Energy Demand and Supply Models SMEDE and MARKAL. Socrates Kypreos, Paul Scherrer Institut, Villigen. 145
- Programmation mathématique et analyse des choix énergétiques et environnementaux.
  Alain Haurie, Jean–Philippe Vial, Département des sciences commerciales et industrielles, Université de Genève.
  Richard Loulou, GERAD et Université McGill, Montréal. 155

– *Synthèse des contributions écrites*, Gonzague Pillet, PSI, Villigen. 167

– *Interventions des contributeurs* 175

Session III: Besoins et problèmes en matière d'outils d'aide à la décision pour la politique énergétique suisse. 187

- Wünsche und Vorstellungen von Modellbauern und Modellbenutzern.
  Daniel Spreng, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH, Zürich. 189
- Methodische Probleme / Ansätze bei Energieprognosen.
  Beat Schmid, Hochschule St. Gallen. 193

Session IV: Rôle et portée des méthodes scientifiques dans la planification énergétique suisse. 195

Exposés introductifs

- Energie électrique dans le bâtiment, Projet SIA 380/4.
  Charles Weinmann, Miklos Kiss, Communauté d'ingénieurs EEB, Weinmann–Energies et Elektrowatt, Echallens. 197
- Evaluation comparative des divers moyens de production de l'électricité: réflexion sur les possibilités et les limites d'une analyse multicritère.
  Jean–François Dupont, S.A. L'Energie de l'Ouest–Suisse, Lausanne. 209
- Analyse des mécanismes de prise de décision: L'exemple de l'article sur l'énergie.
  René Longet, conseiller national, Genève. 219

Débat général 225

Programme de la journée 237

Liste des participants 241

AVANT PROPOS

Dans le cadre de la mission d'interdisciplinarité qu'il s'est donné, le CUEPE s'est toujours efforcé d'adapter ses objectifs aux besoins des gestionnaires de l'énergie et des responsables de la politique énergétique. C'est notamment pour révéler ces besoins qu'une **Journée du CUEPE** a été organisée en 1989 avec la volonté de la renouveler chaque année.

Cette publication réunit l'ensemble des communications et discussions de la seconde Journée du CUEPE qui a eu lieu le 19 octobre 1990 sur le thème des "Modèles d'aide à la décision en matière de politique énergétique suisse". Conçue comme une occasion d'échange entre les auteurs et les utilisateurs de modèles nationaux et régionaux d'aide à la décision en matière de politique énergétique suisse, la rencontre avait pour but:

- de cataloguer les modèles actuellement disponibles ou en cours d'élaboration;
- de les comparer pour mettre en évidence leur utilité, leur complémentarité, leur fiabilité et leurs limites d'utilisation;
- de repérer les besoins non satisfaits;
- de dégager des principes méthodologiques pour une amélioration des modèles existants et pour couvrir des besoins non satisfaits.

La consultation des milieux intéressés à laquelle nous avons procédé nous a permis de recueillir de nombreuses contributions de qualité. Leur nombre étant trop grand pour permettre une présentation par les auteurs concentrée sur un seul jour, nous avons été amenés à envisager des exposés de synthèse, réalisés à partir de communications écrites, complétées par un débat critique auxquels participaient les auteurs des communications. Pour faciliter cette synthèse, nous avons soumis aux contributeurs des directives pour leurs communications écrites, dans lesquelles nous demandions de présenter la méthode ou le modèle développé en abordant successivement les huit problématiques suivantes:

1. **Buts**
   Problèmes de politique ou de planification énergétiques que la méthode/le modèle permet d'analyser.
2. **Logique**
   Présentation de la méthode/du modèle mettant en évidence les hypothèses, les variables expliquées et les facteurs explicatifs.
3. **Quantification**
   Données statistiques ou expérimentales nécessaires à la mise en oeuvre de la méthode/du modèle. Procédures et techniques utilisées pour intégrer ces données à la méthode/au modèle.
4. **Validation**
   Critères utilisés pour juger le degré d'adéquation de la méthode/du modèle à la réalité étudiée.
5. **Mise en oeuvre**
   Problèmes méthodologiques ou techniques posés par l'utilisation pratique de la méthode/du modèle tels que algorithmes de résolution, logiciels, etc.
6. **Applications**
   Applications exemplaires réalisées à l'aide de la méthode/du modèle, en particulier dans le contexte suisse, national ou régional.
7. **Limites**
   Discussion des hypothèses restrictives et de l'imprécision des données pouvant affecter la validité des résultats fournis par la méthode/le modèle.
8. **Bibliographie**
   Liste commentée des principales publications ayant trait aux aspects méthodologiques et aux applications de la méthode/du modèle.

Ces directives n'étaient pas contraignantes car toutes les communications ne pouvaient être établies d'après ce moule. Néanmoins, plusieurs contributeurs se sont astreints à cette discipline rédactionnelle, qui a facilité grandement le travail de synthèse des deux critiques chargés de présenter le synthèse des communications et d'organiser le débat, à savoir les Dr. Charles Spierer et Gonzague Pillet.

Ceci nous a permis de structurer la journée en quatre sessions dont les deux premières, consacrées à l'"Evaluation des besoins énergétiques" et à l'"Analyse et planification de l'approvisionnement en énergie", ont été des sessions comportant un exposé de synthèse suivi d'un débat avec les contributeurs. Les deux autres sessions ont abordé, suivant une formule d'exposés plus conventionnelle, les thèmes des "Besoins et problèmes en matière d'outils d'aide à la décision pour la politique énergétique suisse" et des "Rôle et portée des méthodes scientifiques dans la planification énergétique suisse". La journée s'est terminée par un débat général introduit et animé par le vice-directeur de l'Office fédéral de l'énergie, Dr. Hans-Luzius Schmid.

Cette publication réunit l'ensemble des présentations dans l'ordre où elles ont été inscrites au programme de la journée. Les présentations des sessions de synthèse ainsi que les débats ont été transcrits à partir d'un enregistrement. Les textes transcrits ont été ensuite soumis, pour correction, aux orateurs respectifs.

Je tiens à remercier l'Office fédéral de l'énergie qui a accepté de patronner cette manifestation et d'assumer une partie du financement. Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué au vif succès de cette seconde journée du CUEPE: les contributeurs, les modérateurs ainsi que tous les collaborateurs qui ont pris en charge l'organisation matérielle de la manifestation.

Ces actes n'auraient sans doute jamais vu le jour sans le patient travail de transcription réalisé par le Dr. Myriam Garbely et M. Franco Romerio, chercheurs au CUEPE. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

Fabrizio Carlevaro
Directeur du CUEPE

SESSION I

EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES

MODELE "GLOBAL DE L'ENERGIE" D'INFORMATA

Adrian Stäger

INFORMATA, Zürich

1. But

Le modèle est conçu pour les applications suivantes dans le domaine de l'énergie:

a) réunir les différentes données (d'une région) afin d'établir des statistiques cohérentes:
   - identifier les données incohérentes
   - déduire les données non ou mal connues à partir de données bien établies.

b) faire des simulations:
   - pour répondre à des questions du type: "Que se passe-t-il, si..."
   - donner des objectifs; le modèle déduit les conséquences pour les variables instrumentales, c'est-à-dire, que le modèle vérifie si les objectifs peuvent être atteints et, si c'est le cas, quels scénarios doivent être spécifiés afin d'atteindre ces objectifs.

2. Logique

Le modèle est capable de dériver les formules automatiquement en fonction des relations entre les termes et en fonction de l'information donnée et cherchée.

Les valeurs des données, ainsi que les valeurs des résultats, sont des valeurs stochastiques. Elles ont une distribution normale avec une espérance et un écart type. Une donnée bien connue a une petite dispersion, une donnée mal connue à une grande dispersion. Donc, dans ce concept, les données sont également des variables, et vice-versa: les données qui ne sont pas ou mal connues sont précisées pendant le calcul par les autres données (mieux connues) du modèle. Le résultat est un bilan cohérent du système de l'énergie en Suisse (ou d'une seule région).

La construction principale du modèle n'est pas complexe. Les deux possibilités de relation entre des termes différents sont:

- la combinaison linéaire (par exemple: population totale = population des femmes + population des hommes),
- et/ou la relation du type quotient (habitants par ménage = habitants / ménages).

Pour cette raison, il est facile de calculer et valider des résultats pour les espérances mathématiques. Evidemment il n'est pas facile de calculer les écarts-types des résultats, surtout lorsqu'il s'agit des données non indépendantes.

Nous présentons en annexe une brève description en allemand du modèle ("Kurzberschreibung Energiemodell").

3. Quantification

La communication avec le modèle se fait par des menus, dans lesquels l'utilisateur peut choisir entre les différents calculs possibles. L'information sur les données est représentée sous forme de tableau (tableaux de Microsoft Excel).

Les données statistiques nécessaires ne concernent pas seulement le secteur de l'énergie, mais aussi des statistiques de base qui sont liées à ce secteur (par exemple des statistiques sur les habitants, les ménages, l'habitat, etc.).

4. Validation

La validation du modèle se fait à partir du calcul de différentes statistiques des années précédentes.

5. Mise en oeuvre

Comme le modèle réunit des données statistiques d'origines diverses, la classification de la consommation de l'énergie devait être agrégée en quelques branches afin d'être compatible avec l'ensemble des données.

Pour le modèle, nous recommandons un ordinateur avec les spécifications suivantes: Processeur 80386 avec Coprocesseur arithmétique 80387, 8 MB RAM, 25 ou 33 MHz, disque dur de 40 MB.

6. Applications

La méthode QUANTOR a été utilisée dans le cadre de différentes thèses de doctorat à l'institut ORL de l'EPFZ (modèles d'énergie, modèles pour la planification régionale). INFORMATA a élaboré plusieurs modèles avec la méthode QUANTOR:

- Analyse Input/Output pour le KOF de l'EPFZ.
- Modèle pour l'analyse des données dans le secteur des transports (Projet COST, Office fédéral de l'énergie et CUEPE).
- Différents modèles de planification d'entreprise dans le secteur industriel.

Le modèle va être installé à l'Office fédéral de l'énergie (statistique, simulations).

7. Limites

Dans le modèle il n'y a pas d'hypothèses implicites. Les hypothèses ne sont introduites dans le modèle que par le biais des données.

8. Bibliographie

Huber J., Schmid B., Zängerle R., Perspektiven des Energiewesens in der Schweiz und räumliche Konsequenzen, ORL, Zürich, 1984.

IFU, Energieversorgungssysteme der Endverbraucher, St. Gallen, 1986.

INFORMATA, Handbuch zum Modell Gesamtenergie, Zürich, 1990.

Schmid B., Bilanzmodelle, ETH, Zürich, 1978.

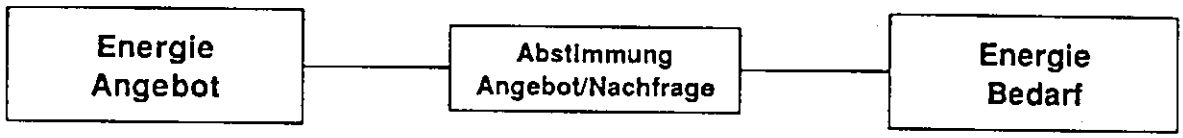
Schmid B., Oekologische und ökonomische Chancen der schweizerischen Energiepolitik, ORL, Zürich, 1985.

ANNEXE

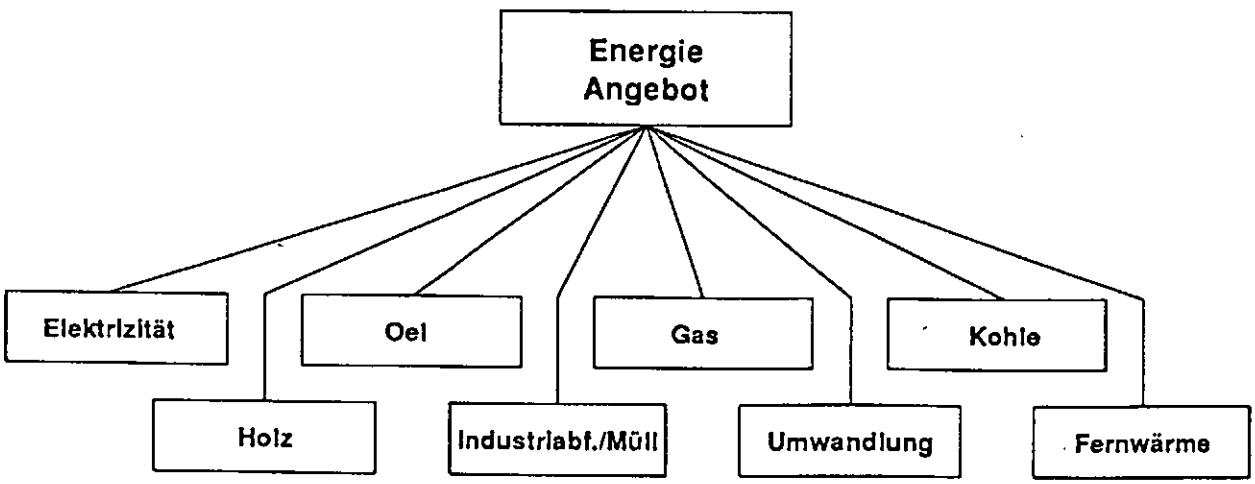
Kurzbeschreibung Energiemodell

Einleitung:
Ein Problem bei der Energiebewirtschaftung oder beim Erstellen der Energiestatistik ist oft das Fehlen detaillierter Ausgangsdaten. Während das Energieangebot meist ziemlich gut bekannt ist, sind aufgeschlüsselte Zahlen auf der Verbraucherseite oft kaum erhältlich oder relativ ungenau. Ziel dieses Energiemodells ist es, aus unvollkommenem Zahlenmaterial verlässliche Aussagen zu erhalten.

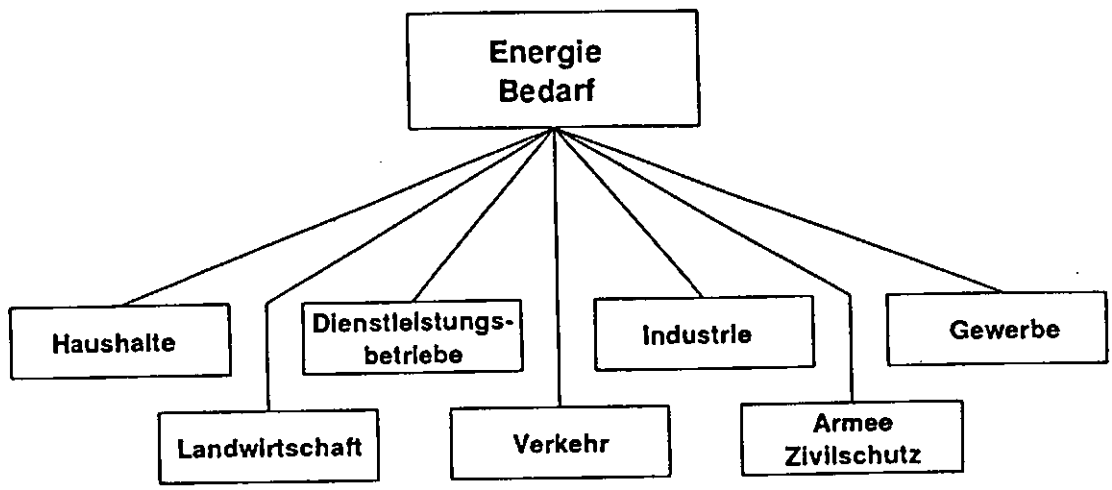
Aufbau:
Das Modell ist als Bilanzrechnung aufgebaut. Auf der einen Seite steht das Energieangebot, auf der anderen der Energiebedarf. Beide Seiten müssen unabhängig voneinander denselben Wert ergeben.
Falls Differenzen zwischen den beiden Seiten bestehen, kann zwischen Angebot und Nachfrage abgestimmt werden, wobei die Genauigkeit der Eingabedaten berücksichtigt wird.



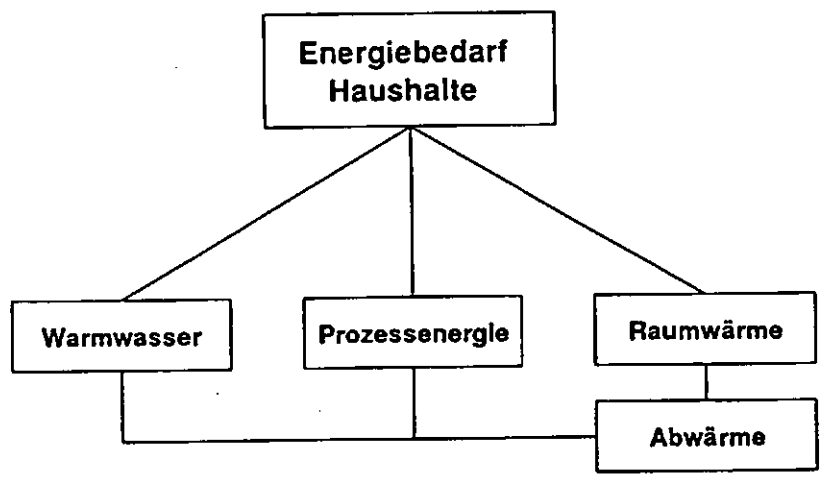
Energieangebot:
Das Modell für die Berechnung des Energieangebots ist aufgeteilt nach Art der Energieträger. Aus Zahlen über Import, Export, Produktion, etc., die von den Importeuren oder Herstellern stammen, wird das tatsächliche Angebot an Energie durch den jeweiligen Energieträger berechnet.



Energiebedarf:
Das Modell für die Berechnung des Energiebedarfs ist zuerst grob aufgeteilt nach Verbrauchergruppen.



Der Energiebedarf innerhalb der Verbrauchergruppen ist weiter unterteilt nach dem Energieverwendungszweck (z.B. Heizenergie, Prozessenergie, etc.) und nach Art des Energieträgers.

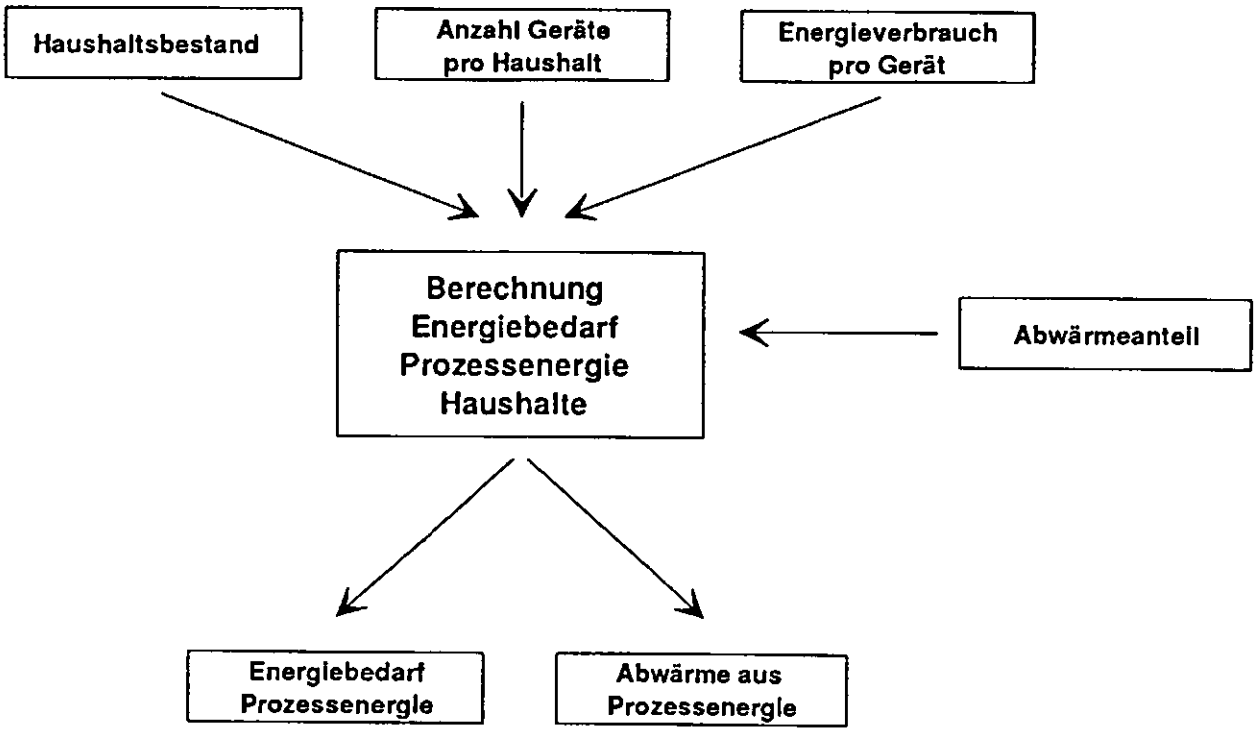


Wir erhalten somit für jede Verbrauchergruppe und für jeden Verwendungszweck eine Nachfrageschätzung für den Energiebedarf nach einzelnen Energieträgern.

Beispiel:
Aus Daten über die Anzahl der Haushalte, die durchschnittliche Zahl an Geräten pro Haushalt und deren durchschnittliche Leistung kann so der Bedarf an Prozessenergie in Haushalten abgeschätzt werden.

Prozessenergie Haushalte (Kochen, Waschen, etc.):

Elektrizität	... TJ
Gas	... TJ
Holz	... TJ



Abstimmung:
Die Summe des Energiebedarfs über alle Teilbereiche wird in der Abstimmung dem Angebot an Energie gleichgesetzt. Die ungenaueren Eingabewerte werden dann durch die genaueren beeinflusst und verändert.

Beispiel: Elektrizität

Bedarf durch	=	**Angebot berechnet aus**
Haushalte		Produktion
Industrie		Exportüberschuss
Dienstleistung		Verlusten
Gewerbe		
Landwirtschaft		
Verkehr		
Armee/Zivilschutz		

ENERGIEKENNZAHLEN

Bruno Wick

Dipl. Ing. ETH/SIA, Wilden

Zusammenfassung

Die Energiekennzahl als Messgrösse für die energetische Qualität eines Gebäudes ist heute unbestritten. Es liegen von grossen Liegenschaftsbeständen Auswertungen über 10 Jahre vor. Soll-Werte für sanierte Altbauten und Zielwerte für Neubauten sind über die SIA-Empfehlung 380.1 "Energie im Hochbau" zu allgemein gültigen Planungswerten geworden.

"Ausreisser" nach oben, d.h. Energiekennzahl-Werte von über 800 MJ/m2a, können heute klar als Folge mangelhafter Regelung oder undichter Hülle definiert werden. Für tiefliegende Verbraucher liegen bereits sehr detaillierte Analysen über den Splitt des Verbrauches von Wärme und Elektrizität in die wichtigsten Verbraucherkategorien vor.

Résumé

Pour évaluer les consommations énergétiques des bâtiments, la méthode désormais bien connue de l'indice énergétique est utilisée en Suisse depuis plus de 10 ans. Cette méthode a fait ses preuves pour caractériser rapidement et simplement les consommations de bâtiments anciens ou rénovés, ainsi que pour servir de valeur cible lors d'une planification ou de l'assainissement de constructions.

Il n'est pas rare de mesurer encore des indices dépassant 800 MJ/m2. Si les pertes par transmission ont été réduites par l'effet de la réglementation, les pertes par renouvellement d'air ou ventilation et par déficience ou disfonctionnement de la régulation sont encore souvent trop importants.

1. Ziel der Verbrauchserhebungen

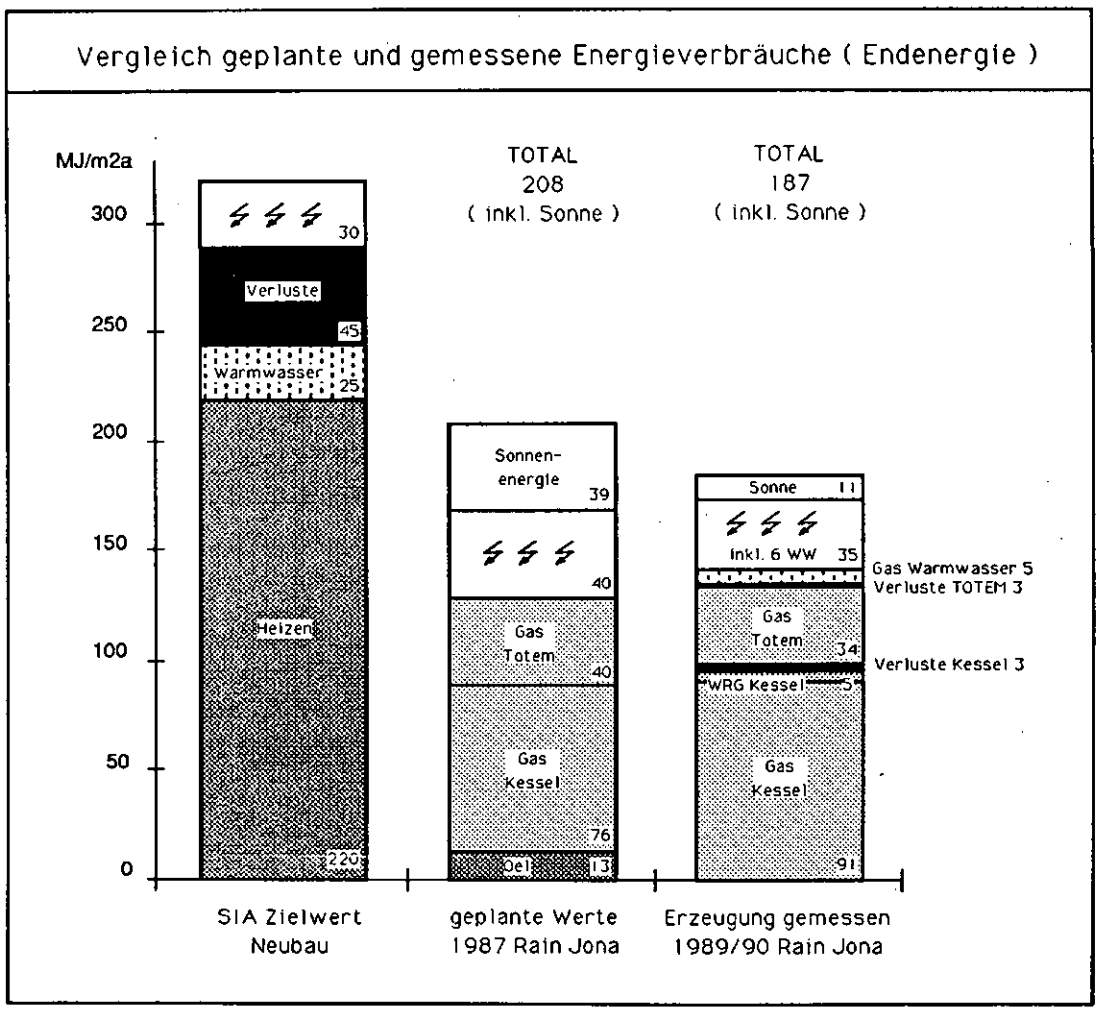
Mit der Erhebung des Jahres-Energieverbrauchs (Wärme und Elektrizität) ganzer Gebäudebestände gleicher Nutzung wollte man anfänglich nur bessere statistische Grundlagen erzielen. In den mehr als 10 Jahren der Anwendung des Instrumentes Energiekennzahl konnten wesentliche Verfeinerungen erarbeitet und Sanierungserfolge messbar gemacht werden.

Es ist heute oft auch möglich, aus wenigen Einzelwerten einer Nutzungsart Mittelwerte sowie Soll-Werte für Sanierungen und Zielwerte für Neubauten herzuleiten. Dies ist notwendig zur Schliessung von Lücken im Normenwerk des SIA. Aber auch die als Kompromisswerte in SIA 380.1 vorgegebenen Soll- und Zielwerte können durch Verbrauchserhebungen bestätigt oder notfalls einer Anpassung zugeführt werden.

2. Vorgehen

In der ersten Phase waren vor allem breite statistische Erhebungen über ganze Nutzungsgruppen und Regionen notwendig. Diese Phase ist an sich immer noch nicht abgeschlossen, weil wichtige Nutzerbestände wie Hotels, Altersheime, Restaurants usw. noch nie sauber erfasst wurden.

In einer zweiten Phase erfolgten vor allem Detailanalysen. Diese werden vermehrt möglich, dank der Berechnung von Energiebilanzen nach SIA 380.1 und verschiedenen Messprojekten zur Erfolgskontrolle.

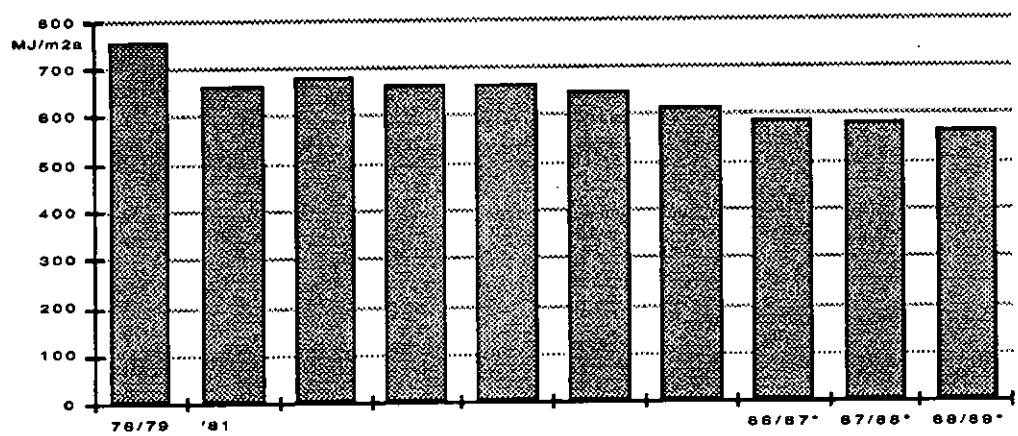


Parallel zur zweiten Phase ist auch die Erfolgskontrolle im Gange. Im Forschungsprojekt "Effens" (Effiziente Energienutzung in Schulen) wurde eine 10-jährige Erfolgskontrolle für die Schulen der Kantone Aargau und Basellandschaft durchgeführt. Der am besten öffentlich dokumentierte Sparerfolg stellt die Intrag-Verbrauchsstatistik dar. Die Intrag AG, Tochter der Schweizerischen Bankgesellschaft, verwaltet die zwei Immobilienfonds SIMA und SWISS-REAL mit über 1200 Objekten und insgesamt ca. 13'000 Wohnungen.

Die Intrag AG führt nun seit 10 Jahren in vorbildlicher Weise Statistik über den Energieverbrauch des Immobilienbestandes (ohne Altbauten vor dem 2. Weltkrieg und komplexe "Gemischt-Nutzungs-Gebäude"), welcher fast ausschliesslich aus Mehrfamilienhäusern besteht. Vereinzelte Gebäude haben eine gemischte Nutzung Wohnen/Dienstleistung.

Seit Beginn der Statistik im Jahre 1979 hat der Verbrauch kontinuierlich abgenommen. Die Haustechnik wird sorgfältig unterhalten und die Verbrauchsentwicklung ständig überprüft. Systematische Sanierungen an der Hülle hingegen wurden nicht vorgenommen. Nur fallweise wurden Dächer oder Fassaden energetisch verbessert, wenn gleichzeitig ein Unterhalt fällig war. Verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnungen sind bisher nur unter Zwang (Kt. BL) eingeführt worden. Aus dem bisherigen Erfolg lassen sich wesentliche Erkenntnisse über mögliche Ziele der Verbrauchsreduktion im schweizerischen Mehrfamilienhausbestand herleiten.

Energiekennzahl Wärme



*Energiekennzahl gewichtet nach Fläche

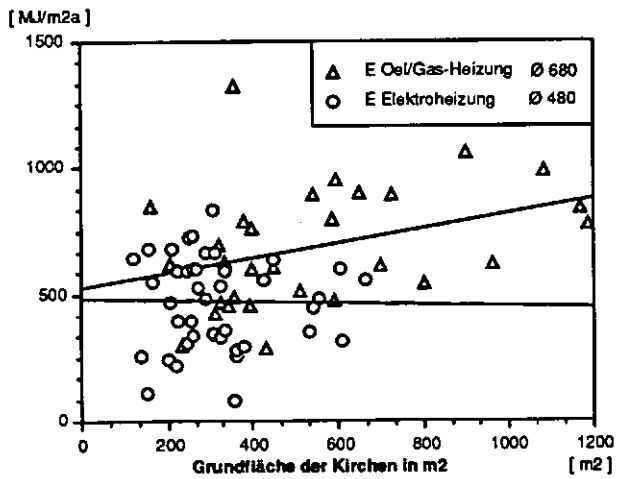
Die Graphik zeigt die Verbrauchsentwicklung. Der Bestand ist zwar nicht immer genau der gleiche, die Mutationen sind aber eher gering. Die Verbrauchswerte sind bezüglich Heizgradtagen normalisiert. Die Reduktion beträgt innert 10 Jahren 25%.

3. Neuere Auswertungen

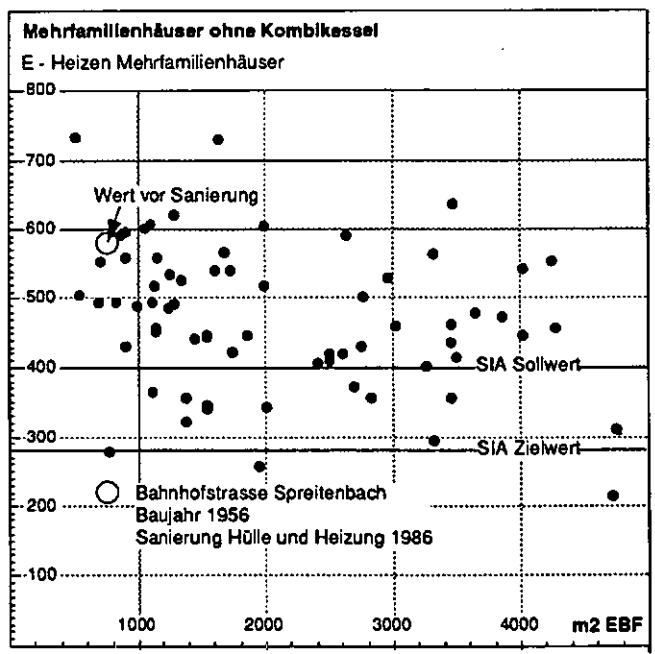
Leider sind nicht alle guten und umfangreichen Verbrauchsstatistiken gepflegt worden. So sind auch die Daten der SBB und PTT noch immer nicht in Form von Energiekennzahlen nach SIA 180.4 zugänglich.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang auch die neueste Erhebung "UNIKATZ". Dort werden 62 Hochschulobjekte der UNI Zürich analysiert.

Als wichtige, neuere Arbeit kann nebst der bereits erwähnten Erhebungen im Schulbereich (Effens) die Statistik der Energiekennzahlen von Kirchen erwähnt werden. Diese Erhebung deckt echte Lücken. Die Veröffentlichung der Werte löste eine rege Sanierungstätigkeit aus.

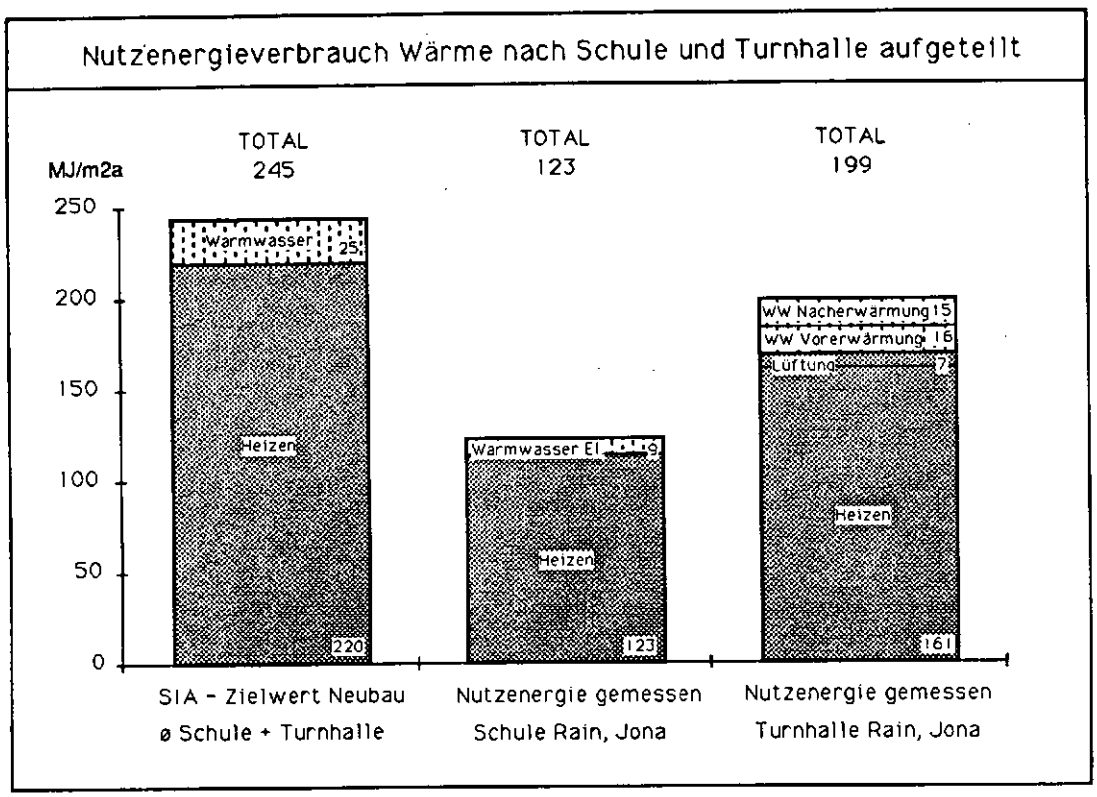


Zunehmend Bedeutung erhalten gemessene Verbrauchswerte für Einzelgebäude (Schulhaus und Turnhalle getrennt) sowie Detailnutzungen (Transmission, Konvektion, Warmwasser oder Beleuchtung, Lüftung, Haustechnik usw.). Wichtig ist auch die Darstellung von Einzelergebnissen von Sanierungen im Umfeld bestehender Bauten gleicher Nutzung.



4. Messprojekte

Generell werden sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen Energiekennzahlen erzielt, die weit unter den SIA-Vorgaben liegen. Zwar liegt das Nullenergiehaus ohne Extremaufwand noch nicht im Bereich des Möglichen. Werte von E-Wärme kleiner als 150 MJ/m2a und von 10 - 20 MJ/m2a für die Beleuchtung von Gebäuden oder für eine mechanische Lüftung (Ersatzluftanlagen) lassen jedoch aufhorchen.



Im Bild ist die gemessene Nutzenergie Wärme (Heizen, Lüftung und Warmwasser) aufgezeichnet und nach den Verbrauchern Schule und Turnhalle aufgeteilt. Auffallend ist der noch geringe Verbrauch der Schule allein. Er beträgt noch lediglich 123 MJ/m2a. Die Turnhalle benötigt trotz tieferen Temperaturen, jedoch grösserem Volumen, auf die Energiebezugsfläche bezogen, mehr Energie.

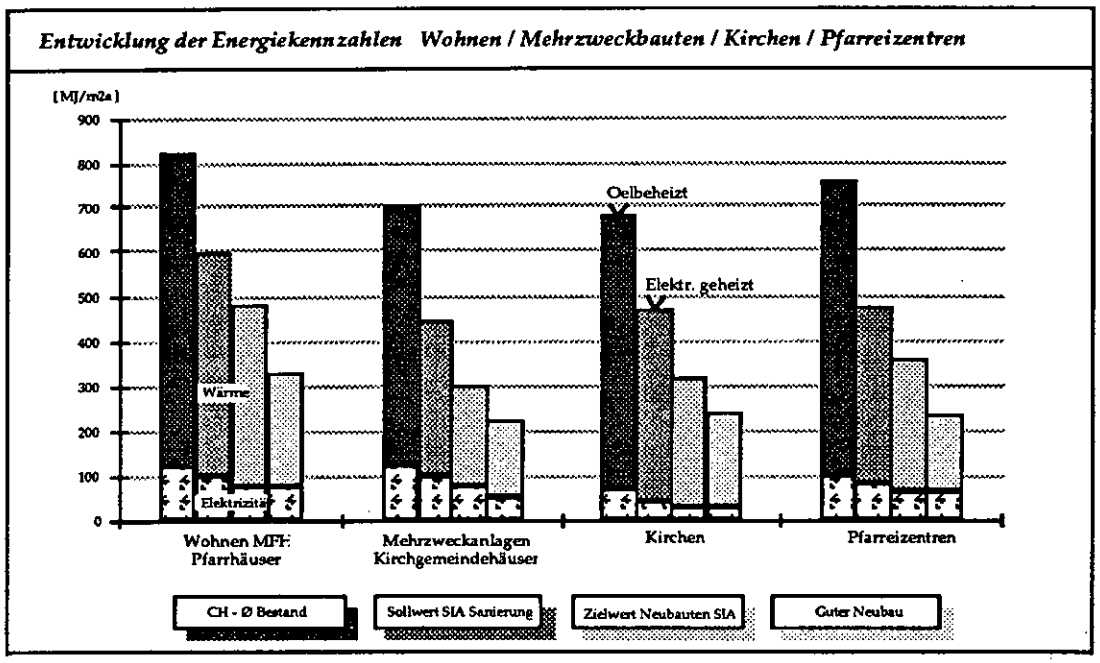
Nur mit Messprojekten, welche schon während der Planung des Gebäudes in Auftrag gegeben werden und ohne Verzug, d.h. unmittelbar bei Bezug des Gebäudes einsetzen, können solche Detailzahlen für den Einzelfall nachgewiesen und als künftige Planungswerte vorgegeben werden. Messprojekte sind zudem immer Garanten für eine sorgfältigere Ausführung, bessere Einregulierung und die rasche Behebung von Mängeln. Aus Messprojekten können auch Daten für andere Nutzungen hergeleitet werden.

Die für den EGES-Bericht "Nachfrage Elektrizität Dienstleistungssektor" angewandte additive Methode zur Berechnung des Elektrizitätsverbrauchs von Nutzergruppen, wird heute oft angewandt und findet in neueren Erhebungen eine Bestätigung.

5. Abgeleitete Werte und Lücken

Leider sind für viele bedeutende Nutzergruppen noch keine systematischen Erhebungen durchgeführt worden. Hier zeigt sich heute der umgekehrte Weg. Statt über Gross-Statistiken können, dank einiger Einzelanalysen und vereinzelter Messprojekte, die in der SIA-Empfehlung 180.4 und 380.1 aufgelisteten Werte verdichtet werden.

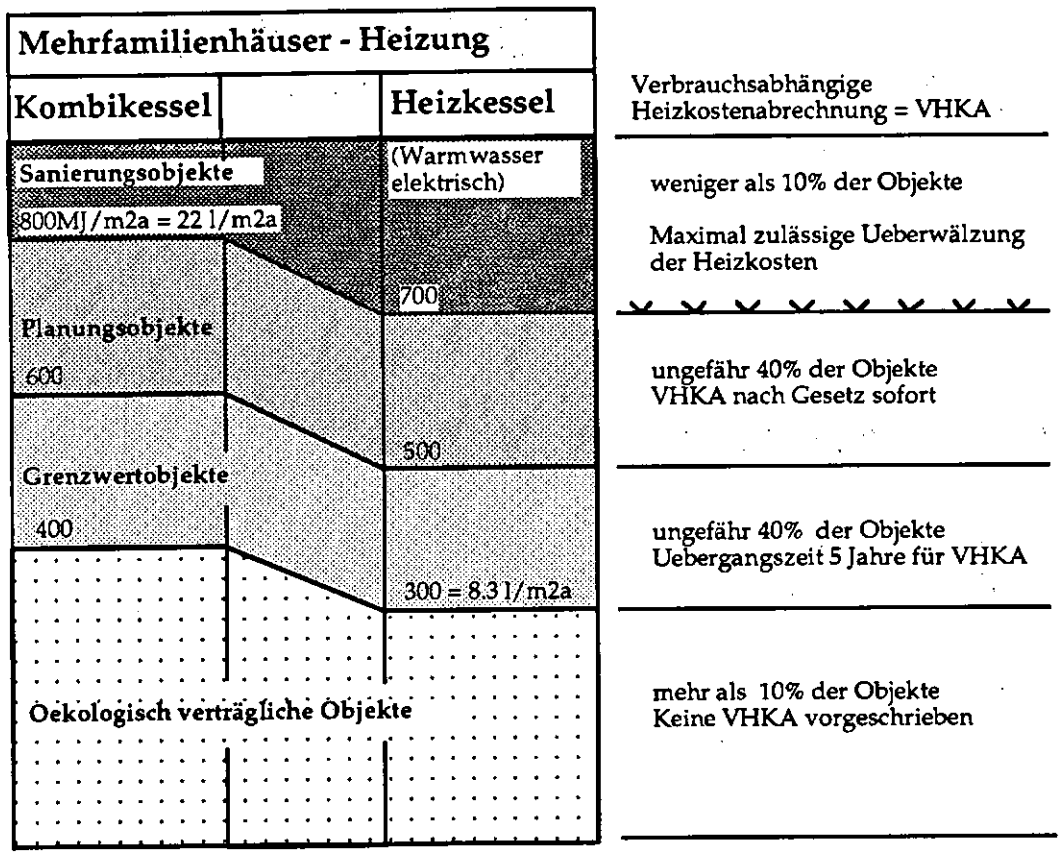
Wichtig wäre dies bei Grossverbrauchern wie Einkaufszentren, Hotels, Restaurants, Altersheimen, Sporthallen usw. Tiefe Energiepreise und die Hochkonjunktur sind keine günstigen Randbedingungen für die Gewinnung neuer Erkenntnisse. Als Beispiel eines abgeleiteten Wertes für Sondernutzung sind in der folgenden Graphik Werte von Kirchen und Pfarreihäusern dargestellt.



6. Ausblick

Die grösste Aufmerksamkeit galt bisher den k-Wert-Vorschriften. Neu wurde mit der SIA 380.1 auch der Sollwert und der Zielwert als Verbrauchsstandard eingeführt. Parallel dazu fallen nun auch die Emissionsgrenzwerte in den Kontrollbereich.

Alle Energiekennzahlen zeigen aber, dass zu viele Extremverbraucher existieren, welche lediglich die Emissionsgrenzwerte einhalten. Im Hinblick auf die CO_2-Problematik muss jedoch zwingend eine Begrenzung des spezifischen Verbrauchs eingeführt werden. Die allgemeine Einführung der verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung zeitigt erst eine gute Wirkung, wenn tiefliegende Verbraucher, die den Nachweis erbringen können, verschont bleiben, und wenn Extremverbraucher nur bis zu einer Limite auf die Mieter überwälzen dürfen. Auf diese Weise würde die Verbrauchsstatistik in kurzer Zeit allgemein eingeführt und die Sanierungstätigkeit könnte volkswirtschaftlich und ökologisch rascher und sinnvoller ablaufen.



Katalogisierung der Mehrfamilienhäuser nach Energiekennzahlen

Aus der Analyse des Wärmeverbrauchs über 10 Jahre sind einige wesentliche Erkenntnisse gesichert:

- Bei den Altliegenschaften wurde bisher im Mittel 20% bei der Heizung eingespart.
- Wenige sparen viel, viele sparen wenig und etwa ein Drittel aller Hausbesitzer ist handlungsunfähig oder -unwillig (geriatrischer Besitz, zerstrittene Erben oder Stockwerkeigentümer, nicht motivierte Verwalter).
- Der mittlere Verzug, bis Erkenntnisse und Vorschriften allgemein greifen, beträgt etwa 10 Jahre.

Energiekennzahl Wärme		Führende Ingenieure	Durchschnittsplaner
Sanierung	früher*	550 MJ/m2a	700 MJ/m2a
	heute*	< 350 MJ/m2a	550 MJ/m2a
	morgen*	< 200 MJ/m2a	< 300 MJ/m2a
* Zwischen früher, heute und morgen liegen 10 Jahre			

Es ist wichtig, dass bei der Aktion Elektrizitätsparen nicht wieder der gleiche Verzug eintritt. Volkswirtschaftlich ist es völlig unbefriedigend, wenn nur die Willigen Sparanstrengungen unternehmen und erhebliche Sparpotentiale nicht ergreifen. Ohne Besteuerung oder Mengenbegrenzung - siehe hierzu Beispiel Heizkostenabrechnung - wird die Zeit des Moratoriums nicht richtig genutzt werden.

7. Literatur

B. Wick
"Energiekennzahlen der häufigsten Gebäudetypen"
SAGES, im Auftrag des BEW, Widen Sept. 1983

K. Meier und B. Wick
"Energiekennzahlen von Gebäudegruppen"
SIA Dokumentation Nr. 024, Zürich Juni 1988 (vergriffen)

B. Wick et al
"Nachfrage Elektrizität Dienstleistungssektor"
BEW EGES Dokument Nr. 11
EDMZ Bern 1988

E. Baumann
"Förderung von Energiesparmassnahmen"
"Groberhebung kirchliche Gebäude"
Evang. Kirche St. Gallen Mai 1989 (vergriffen)

"Effiziente Energienutzung in Schulen", Tagungsband
Tagung im Rahmen des Forschungsprojektes EFFENS des BEW
EMPA-KWH, 8600 Dübendorf Mai 1990

C.U. Brunner et al
"Grobanalyse Energie UNIKATZ"
ATAL Zürich Juni 1990

Widen, 27. September 1990 BW/sg

METHODE DE DECOMPOSITION DES SOURCES DE CHANGEMENT DANS L'UTILISATION DE L'ENERGIE

Gabrielle Antille

Département d'économétrie, Université de Genève

1. Buts

La méthode de décomposition structurelle des sources de changement dans l'utilisation de l'énergie permet de déterminer l'importance relative des différents facteurs qui ont contribué à ces variations et ceci de façon mutuellement exclusive et exhaustive. Cette méthode est en fait un exercice très détaillé de statique comparative dans lequel les différents coefficients et/ou variables du modèle envisagé sont successivement modifiés et les consommations finales des divers agents énergétiques qui en résultent comparées. Cette décomposition se fait dans le cadre d'un modèle entrées-sorties.

En termes de politique ou de planification énergétique, cette méthode permet d'avoir une connaissance détaillée de l'impact, sur la consommation finale des divers agents énergétiques, de modifications intervenant isolément ou simultanément à diverses étapes du processus allant de la demande finale pour des biens et services, y compris la demande d'agents énergétiques, à la production de ces biens et services et aux facteurs nécessaires à cette production, facteurs incluant les agents énergétiques. Ces impacts ayant pu être isolés et mesurés dans le passé, des simulations peuvent alors être envisagées pour évaluer l'effet de nouvelles modifications de la demande finale, des coefficients techniques et des coefficients d'utilisation des agents énergétiques sur les besoins en énergie. Cette méthode doit être vue, non pas comme une méthode concurrente à des approches par la théorie de la production et par des modèles semi-agrégés de demande d'énergie, mais comme un apport complémentaire à ces analyses. Ce sont en effet ce type d'études qui fournissent les indications relatives aux modifications de la demande des ménages, de même que les informations ayant trait aux substitutions entre inputs dans la production. La méthode de décomposition structurelle permet simplement d'intégrer ces modifications dans un système de relations et de mesurer leurs effets directs et indirects en fin de processus, c'est-à-dire au niveau des besoins totaux en agents énergétiques.

2. Présentation de la méthode

L'énergie totale utilisée dans une économie au cours d'une année t peut être exprimée par :

$$ET^t = C^t(I - A^t)^{-1}y^t$$

où ET est le vecteur de la consommation totale d'énergie ventilée par agent énergétique, en unités physiques;

C est une matrice de coefficients d'utilisation des divers agents énergétiques par les branches d'activités, ces coefficients s'expriment en unité physique par unité monétaire;

$(I-A)^{-1}$ est la matrice inverse du modèle de Leontief;

y est le vecteur de la demande finale en unités monétaires.

Le changement de la consommation totale d'énergie entre l'année t et une année de référence 0 s'écrit alors :

$$\Delta ET = ET^t - ET^0 \quad .$$

Posons $(I-A)^{-1} = H$, on obtient :

$$\Delta ET = C^t H^t y^t - C^0 H^0 y^0 \quad .$$

Une première décomposition permet d'isoler trois causes des changements intervenus dans la consommation totale d'énergie. En effet, on peut notamment écrire :

$\Delta ET = C^0 H^0 (y^t - y^0)$	effets de modifications de la demande finale
$+C^0 (H^t - H^0) y^t$	effets de modifications des besoins directs et indirects en inputs,
$+(C^t - C^0) H^t y^t$	effects de modifications dans les coefficients d'utilisation des divers agents énergétiques par les branches d'activité.

On remarque que ces trois catégories de modifications sont pondérées respectivement par des éléments se référant à l'année de référence, à l'année de référence et à l'année t, et finalement à l'année t. En fait, six décompositions de ΔET sont possibles; elles conduisent à des résultats qui diffèrent en fonction des poids affectés aux trois types de modifications. Une manière de résoudre ce problème consiste à pondérer ces modifications par des éléments relatifs à une même année, l'année t ou l'année 0, ce qui permet de mieux comparer les effets relatifs des trois sources de changement identifiées sur l'utilisation totale d'agents énergétiques. Des termes correctifs doivent alors être ajoutés, qui traduisent les effets croisés des sources de changement. Ainsi, si l'on choisit les pondérations de l'année de référence 0 on obtient :

$$\begin{aligned}\Delta ET = {} & C^0 H^0 (y^t - y^0) + C^0 (H^t - H^0) y^0 + (C^t - C^0) H^0 y^0 \\ & + C^0 (H^t - H^0)\,(y^t - y^0) + (C^t - C^0) H^0 (y^t - y^0) \\ & + (C^t - C^0)\,(H^t - H^0) y^0 + (C^t - C^0)\,(H^t - H^0)\,(y^t - y^0) \quad .\end{aligned}$$

A partir de cette première décomposition, différents auteurs ont travaillé pour l'affiner afin d'encore mieux cerner et désagréger les causes de changement de l'utilisation totale des agents énergétiques. Sans entrer dans le détail des formules nous nous limiterons à énumérer ci-dessous les diverses désagrégations possibles.

Une première amélioration consiste à distinguer dans les causes de changement les effets de niveau et les effets de structure. Ainsi, par exemple, si l'on isole les effets de modifications de la demande finale :

$$\Delta ET_y = C^0 H^0 (y^t - y^0)$$

on peut les décomposer plus finement comme suit :

$$\Delta \mathrm{ET}_y = C^0 H^0 y^{(0)t} - C^0 H^0 y^0 \qquad \text{effet de niveau}$$

$$+C^0 H^0 y^t - C^0 H^0 y^{(0)t} \qquad \text{effet de structure}$$

$$\text{où} \quad y^{(0)t} = y^0 \frac{i' y^t}{i' y^0}$$

Cette désagrégation mettant en évidence l'effet de niveau et l'effet de structure peut également s'appliquer aux matrices C et H.

Un deuxième approfondissement est obtenu en ventilant le vecteur de la demande finale y^t en ses diverses composantes, ou de façon plus détaillée encore, en travaillant avec des demandes finales qui s'expriment par fonction et qui sont traduites en demande s'adressant aux branches par l'intermédiaire de convertisseur de classification. Ainsi, par exemple, la consommation privée y^t_{CP} qui est une composante de la demande finale de l'année t peut s'exprimer comme :

$$y^t_{CP} = B^t f^t$$

où f^t est la consommation privée par fonction et B^t est un convertisseur de classification, tel que $i' B^t = i'$.

Un changement du vecteur y_{CP} est donc imputable à la fois à une modification de B et à une modification de f, cette dernière résultant elle-même d'un changement de niveau et d'un changement de structure.

Une troisième décomposition envisageable consiste à séparer dans la matrice H, les inputs de matériel des inputs énergétiques. En travaillant avec un modèle fermé de Leontief, la matrice H contient également le facteur travail et le facteur capital dont les effets de modifications peuvent aussi être appréhendés séparément. Cette décomposition basée sur le modèle fermé de Leontief permet d'isoler les différentes causes de modifications de la consommation totale d'énergie selon les composantes d'une fonction de production *KLEM*.

Mentionnons encore deux améliorations possibles : l'une consiste à séparer, tant dans la demande finale que dans les divers coefficients, les besoins satisfaits par la production intérieure des besoins satisfaits par des importations, l'autre s'attache à compléter les décompositions basées sur des données en flux physiques ou à prix constants par des décompositions basées sur des flux en valeur afin de mettre en évidence le rôle des prix.

3. Quantification

La quantification de ces décompositions successives des sources de changement dans la consommation totale d'agents énergétiques ne peut se faire de manière idéale que si l'on dispose pour deux époques de données suffisamment désagrégées qui portent sur :

- les matrices de coefficients techniques, ceux-ci devant pouvoir être séparés en coefficients d'utilisation de biens et services produits dans le pays et coefficients d'utilisation de biens importés et évalués à prix constants et à prix courants;
- les vecteurs des éléments de la demande finale s'adressant à la production intérieure ou aux importations, à prix constants et à prix courants;
- les convertisseurs de classification à prix constants et à prix courants, si la demande finale est donnée par fonction;
- les données relatives à l'utilisation des divers agents énergétiques par les branches d'activité, en unités physiques;
- la production des branches à prix constants et à prix courants.

4. Validation

Cette méthode, qui vise à analyser et à décomposer en ses diverses sources les changements intervenus dans la consommation totale des divers agents énergétiques, fournit des résultats adéquats pour autant que l'on puisse admettre que le modèle de Leontief traduit bien la réalité et que les données utilisées sont suffisamment fiables.

5. Mise en oeuvre

L'utilisation pratique de la méthode ne soulève pas de problèmes particuliers.

6. Application

Aucune application de cette méthode n'a été réalisée au niveau suisse, essentiellement par manque d'informations statistiques. Les principales applications connues et qui incluent différents niveaux de décomposition concernent l'Autriche (1970-1980), la Hongrie

(1976-1981) et (1981-1986), les Etats-Unis (1972-1982). Remarquons que de nombreuses applications de la méthode de décomposition structurelle ont eu lieu depuis les travaux de Leontief et plus spécifiquement dans cette direction depuis les travaux de Carter (1960) et Chenery et al. (1963). Cette méthode s'appliquait dans ces travaux à une décomposition des changements intervenus dans le vecteur de production. Un pas de plus a été franchi ces dernières années, il a ajouté à ces comparaisons de production des comparaisons d'inputs nécessaires à ces productions, dans le cas qui nous intéresse : les agents énergétiques. Une décomposition analogue pourrait s'appliquer à d'autres inputs.

7. Limites

Les limites de cette méthode sont en partie contenues dans les critiques que l'on peut adresser au modèle de Leontief notamment quant à la fonction de production à coefficients constants qui lui est associée et quant au caractère automatique et quasi-immédiat de transmission des effets de modifications de certaines variables ou coefficients dans l'ensemble du modèle. Une autre limite de cette méthode de décomposition des sources de changement dans l'utilisation des divers agents énergétiques tient au fait qu'elle relève de la statique comparative et privilégie ainsi l'aspect descriptif par rapport à l'aspect explicatif.

8. Bibliographie

8.1 Travaux importants et de pionniers présentant les techniques d'analyse des changements structurels d'une économie :

Leontief, W. (1941) The Structure of the American Economy, New-York, Oxford University Press

Carter, A. (1960) Structural Change in the American Economy, Cambridge, Harvard University Press

Chenery, H.B., Shishido, S., et Watanabe, T. (1963) The Pattern of Japanese Growth, 1914-1954, Econometrica 30(1)

8.2 Travaux récents développant les méthodes de décomposition de sources de changement structurel d'une économie :

Feldman, S., McClain, D. et Palmer, K. (1987) Sources of Structural Change in the United States, 1963-1978 : An Input-Output Perspective, dans the Review of Economics and Statistics Vol. 69. (introduction des convertisseurs de classification)

Kanemitsu, H. et Ohnishi, H. (1989) An Input-Output Analysis of Technological Changes in the Japanese Economy 1970-1980, dans Frontiers of Input-Output Analysis (prise en considération de la distinction entre demande s'adressant à la production intérieure et demande s'adressant aux importations : introduction des modifications de prix)

Fujimagari, D. (1989) The Sources of Change in Canadian Industry Output, dans Economic Systems Research, Volume 1, Number 2. (traitement amélioré de la prise en considération des convertisseurs de classification)

Skolka, J. (1989) Input-Output Structural Decomposition Analysis for Austria, dans Journal of Policy Modeling, Volume 11, Number 1. (Synthèse de la méthode)

8.3 Travaux utilisant la méthode de décomposition structurelle pour déterminer les sources de changement dans l'utilisation de l'énergie :

Richter, J. et Teufelsbauer, K. (1985) Energiekosten und Anpassungsverhalten der Wirtschaft, Institut für Angewandte Sozial- und Wirkschaftsforschung, Wien, Signum Verlag. (Etude pour l'Autriche 1970-80; étude des modifications en unités physiques et en valeur; étude du contenu en énergie des importations)

Boda, G. et Révész, T. (1989) Energy and material intensity, together the two bottlenecks, Ninth International Conference on Input-Output techniques, Keszthely, Hungary, 4-9 September (Etude pour la Hongrie 1976-1981, 1981-1986; décomposition en valeur et en unité physique; différentiation entre effets de niveau et de structure.)

Rose, A. et Chen, C.Y. (1989) Sources of change in energy use in the U.S. Economy : 1972-1982. A structural decomposition analysis, Ninth International Conference on Input-Output techniques, Keszthely, Hungary, 4-9 September (Etude pour les Etats-Unis 1972-1982; lien avec la fonction KLEM; différentiation entre effets de niveau et de structure).

"BOTTOM-UP" - MODELL FÜR DEN STROMVERBRAUCH IM DIENSTLEISTUNGSSEKTOR

Beschreibung eines Forschungsprojekts und Diskussion von wesentlichen Fragen beim "Bottom-up"-Ansatz

Bernard Aebischer

Forschungsgruppe Energieanalysen, ETHZ

1. Einleitung

Der vorliegende Beitrag gliedert sich in zwei Teile. Zuerst wird über ein laufendes Forschungsprojekt berichtet, das die historische Entwicklung des Stromverbrauchs in der Stadt Zürich zu verstehen versucht. Nach einer allgemeinen Beschreibung, wo der Rahmen, der Ausgangspunkt, die Fragestellung, der Zweck und das Ziel dieser Untersuchung dargestellt wird, soll auf das bisherige Vorgehen und auf erste Erkenntnisse eingegangen werden.

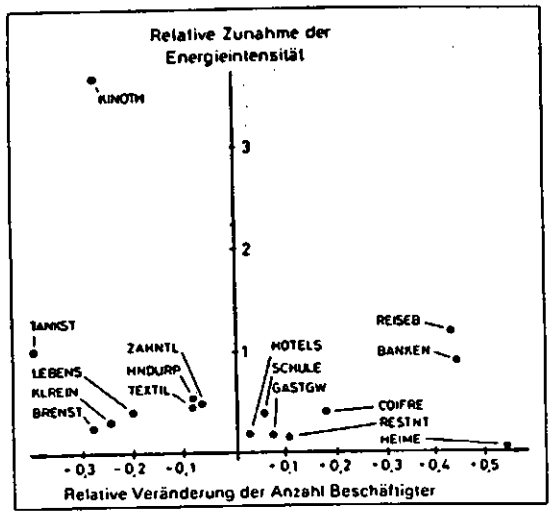
Im zweiten Teil werden daraus einige Folgerungen für einen "Bottom-up"-Ansatz gezogen und Überlegungen betreffend der zukünftigen Elektrizitätsnachfrage im Dienstleistungssektor angestellt. Zur Konkretisierung der wesentlichen Problemen werden auch Fragen diskutiert, die sich bei der Verwendung des technisch-ökonometrischen Modells des CUEPE ergeben.

2. Das laufende Forschungsprojekt

2.1 Rahmen, Ausgangspunkt, Fragestellung, Zweck und Ziel

Das Forschungsprojekt "'Bottom-up'-Modell für den Stromverbrauch im Dienstleistungssektor einer Stadt" wurde initiiert von Daniel Spreng, Leiter der Forschungsgruppe Energieanalysen, die dem Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnikt an der ETH in Zürich angegliedert ist. Finanziert und unterstützt wird das Projekt gemeinsam vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), vom Verein Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) und vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ). Es ist mit zwei Mann-Jahren dotiert, wovon heute etwa die Hälfte abgelaufen ist. Die Projektleitung liegt beim Autoren dieses Beitrags. Ein erster interner Zwischenbericht ist im April 1990 erschienen [1].

Der Ausgangspunkt ist eine Arbeit von Spreng, Hediger und Reutlinger [2], aus der die folgende Figur 1 entnommen ist. Sie zeigt für die Periode 1976-1985 die Veränderungen der Anzahl Beschäftigten



Figur 1 Relative Veränderung der Energieintensität[1] gegenüber der relativen Veränderung der Anzahl Beschäftigter[2] in verschiedenen Branchen

1 (Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs pro Beschäftigten 1976–1985)/(Elektrizitätsverbrauch pro Beschäftigten 1976)

2 (Differenz der Anzahl Beschäftigte 1985–1975)/(Anzahl Beschäftigte 1975)

und des Elektrizitätsverbrauchs pro Beschäftigtem in verschiedenen Dienstleistungsbranchen in der Stadt Zürich.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wird versucht diese Veränderungen im Detail zu erklären. Dazu soll einerseits die Kenntnis über eingesetzte Apparate, Geräte und Installationen sowie deren Betrieb erweitert und vertieft werden und andrerseits wesentliche Zusammenhänge mit wirtschaftlichen und technischen Faktoren erarbeitet werden. Spezielle Beachtung soll dabei die Entkoppelung dieser zwei Faktorgruppen erfahren.

Wir hoffen mit diesen Untersuchungen und Überlegungen einen Beitrag leisten zu können den heute üblichen "Bottom-up"-Ansatz methodisch zu verbessern. Damit sollen langfristig vollständigere und zuverlässigere Aussagen über die (möglichen) zukünftige(n) Entwicklung(en) der Energienachfrage unterstützt werden.

2.2 Vorgehen und erste Resultate und Erkenntnisse

Wir fassen hier diese zwei Punkte nur stichwortartig zusammen. Erste detaillierte Informationen finden sich im erwähnten Zwischenbericht [1]. Eine vollständige Aufstellung wird im Schlussbericht publiziert werden, der für das Frühjahr 1992 vorgesehen ist.

In einem ersten Schritt wurde die Existenz, Qualität und Verfügbarkeit von energierelevanten Daten in der Stadt Zürich im Detail untersucht. Es zeigte sich, dass die Verwendung der sehr detaillierten und auch qualitativ hochstehenden Daten des EWZ (Elektrizitätsbezugsstatistiken) durch den dazu notwendigen grossen Zeitaufwand beschränkt ist. Für komplementäre Daten (z.B. Wirtschaftsstatistiken) erwies sich die Stadt (Gemeinde!) als nicht optimale Einheit. Die Resultate anderer (abgeschlossener und laufender) Forschungsprojekte beziehen sich meistens auf den "Istzustand" und auf "Einsparmöglichkeiten" und machen kaum Aussagen zur historischen Entwicklung.

In der Folge wurden die EWZ-Statistiken in erster Linie zur Beschreibung der Rahmenentwicklung und zur Identifikation von wichtigen und/oder typischen Strombezügern verwendet. Die höchste Priorität wurde der Analyse der Stromverbrauchsentwicklung bei diesen identifizierten Bezügern gegeben. Dabei soll nicht in erster Linie eine vollständige Erklärung dieser Entwicklung erarbeitet wer-

den, sondern vielmehr die wesentlichen Faktoren, die dazu führen, erkannt werden. Diese sollen wenn möglich nicht betriebsspezifisch, sondern möglichst "typisch" auch für andere Objekte, aus derselben Branche aber auch aus andern Branchen, sein. Bis heute wurden vorallem die Sektoren "Schulen" und "Banken" behandelt; erste Abklärungen erfolgten für die "Spitäler und Heime" sowie im "Detailhandel"; weiter ist vorgesehen die "Reisebüros" als einen Aspekt der Informations-/Kommunikationsgesellschaft unter die Lupe zu nehmen.

Die ersten Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen sind im folgenden unter den für einen "Bottom-up"-Ansatz wichtigen Stichwörtern: "homogene Gruppen" und "Elektrizitätskennzahlen" zusammengefasst.

Homogene Gruppen

Die Aufteilung des Energieverbrauchs eines Sektors sollte nach möglichst energierelevanten Kriterien vorgenommen werden, um die Wirkung auf den Energiebezug von strukturellen Änderungen direkt erfassen zu können. In der Praxis muss dabei immer ein Kompromis eingegangen werden, da die benötigten Daten und Statistiken meistens mit wirtschaftlichen oder technischen Zielsetzungen erhoben werden.

Für die Banken erwies sich die Aufteilung nach Filialen und Haupsitz als ganz wesentlich: der spezifische Elektrizitätsverbrauch ist im Haupsitz wegen den angegliederten Grossrechenanlagen zwar im Durchschnitt um rund einen Faktor drei höher, aber der spezifische Strombezug steigt viel stärker in den Filialen; diese Unterschiede sind wesentlich, wenn aus den Untersuchungen in der Stadt Zürich etwas über die Entwicklung in der Schweiz ausgesagt werden soll.

Die sehr grossen Unterschiede im Elektrizitätsverbrauch pro Schüler/Studierenden in den verschiedenen Schultypen, die hier relativ zu den städtischen Schulen (= 1) angegeben sind: Kantonsschulen (= 3), Universität (= 4-5), ETH (=20) erklären sich durch den unterschiedlichen Flächenbedarf und die energieintensiven Praktikums- und eventuel Forschungsaktivitäten in den naturwissenschaftlichen Fachrichtungen. Die Labor- und Forschungstätigkeit ist auch ein wichtiger Erklärungsfaktor für den unterschiedlichen spezifischen Stromverbrauch in den verschiedenen Spitälern der Stadt Zürich.

Im Detailhandel muss zwischen Lebensmitteln und anderen Sortimenten unterschieden werden. "Infrastruktureinrichtungen", wie Restaurants oder Tiefgaragen, müssen berücksichtigt werden.

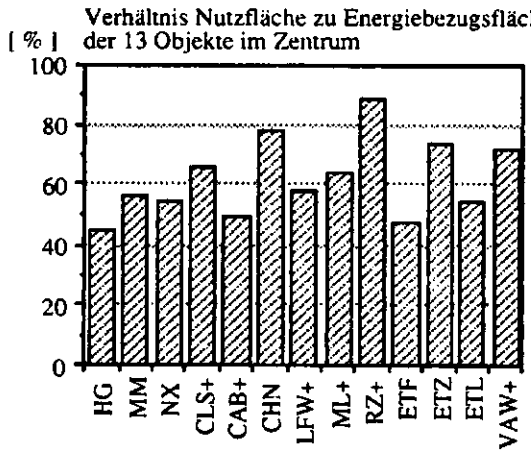
Elektrizitätskennzahlen

Die Unterschiede zwischen der im Heizsektor bewährten Energiekennzahl und einer Elektrizitätskennzahl (Stromverbrauch bezogen auf eine Fläche) können in zwei Slogans zusammengefasst werden: "Für ein

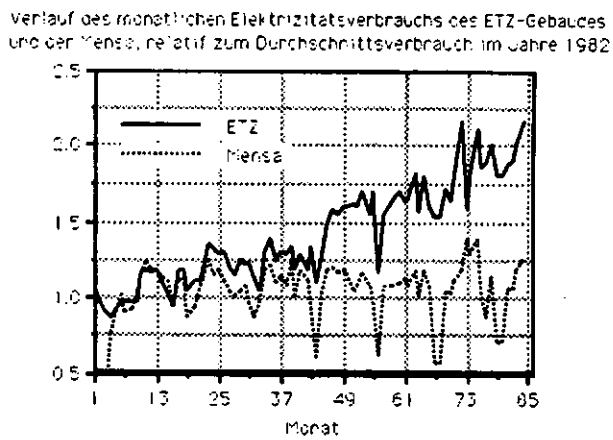
Gebäude gibt es nicht *eine* Elektrizitätskennzahl" und "Der Elektrizitätsbezug pro FLächeneinheit ist eine dynamische Grösse".

Die Schwierigkeiten eine sinnvolle Elektrizitätskennzahl für ein Gebäude zu definieren ergeben sich einerseits aus der vielfältigen Gebäudestruktur, die in der folgenden Figur 2 anhand des Verhältnisses Nutzfläche zu Energiebezugsfläche des Gebäudeparks im ETH-Zentrum illustriert wird, und andrerseits aus den vielen verschiedenen Dienstleistungen, die durch die Elektrizitätsanwendung erbracht werden. Eine einfache Korrektur, wie sie bei der Wärmekennzahl für nicht oder schwach beheizte Flächen verwendet wird, ist hier nicht möglich. Die Definition eines typischen "Nutzungs-Mix" führt auf die Problematik der homogenen Gruppen zurück. In den Arbeiten der SIA-Kommission 380/4 wird denn auch nicht mehr von einer Elektrizitätskennzahl, sondern von einer Elektrizitätskenn*matrix* gesprochen (siehe dazu den Beitrag von Weinmann).

Diese Matrix ist in Wirklichkeit eine dynamische Grösse. Die Figur 3 zeigt dies am Beispiel eines Gebäudes der ETH, wo ein "Matrixelement", der jährliche Elektrizitätsverbrauch des Restaurants, über Jahre hinweg konstant bleibt, die Summe aller Elemente aber durch verstärkte Nutzung anderer Anwendungen in sieben Jahren eine Verdoppelung erfährt.



Figur 2 [1]



Figur 3 [1]

Für aktuelle energiewirtschaftliche Betrachtungen muss auch auf die zeitliche Variation der Leistungsaufnahme eingegangen werden. Die folgende Tabelle 1 zeigt für drei Gebäudegruppen im Bankensektor die durchschnittliche relative Leistungsaufnahme im Sommer und Winter, am Tag und in der Nacht. Der beobachtete Trend weist klar in Richtung der zweiten Gruppe mit einem durchschnittlich höheren Sommer- und Nachtbezug als die traditionellen Gebäude der Gruppe 1.

Tabelle 1: Durchschnittliche relative Leistungsaufnahme in drei Gebäudegruppen

	WINTER		SOMMER	
	TAG	NACHT	TAG	NACHT
GRUPPE 1	45%	9%	37%	8%
GRUPPE 2	31%	15%	36%	17%
GRUPPE 3	23%	22%	28%	25%

3. Vorläufige Folgerungen für Modellkonzeption

3.1 Allgemeines zum "Bottom-up"-Ansatz

Die vielleicht schwierigste Frage beim "Bottom-up"-Ansatz betrifft den "bottom": wieweit und nach welchen Grössen soll und kann der Energieverbrauch aufgeteilt werden. Das "soll" ist im allgemeinen durch die Fragestellung vorgegeben; das "kann" hängt wesentlich vom Verständnis und von den Daten ab. Die meisten "Bottom-up"-Modelle lassen sich aus der Sicht des "bottom" in eine der folgenden drei Klassen einteilen:

1. Aufteilung nach Geräten/Installationen von der Form

$$q(t) \approx \sum N_i \, h_i \, a_i \qquad , i = 1, n$$

wobei i = Geräte "i"
N = Anzahl
h = technische Charakteristiken
a = Nutzungsintensität

2. Aufteilung nach (anderen) homogenen Verbrauchergruppen

$$q(t) \approx \sum S_i \, IE_i \qquad , i = 1, n$$

wobei i = homogen Gruppe "i"
S = Indikator für "Grösse" der Gruppe, z.B.: Flächen, Haushalt, Personen, Beschäftigte, Aktivität, Wertschöpfung
IE = Energieintensität (event. IE ≈ h a, u.ä.)

3. Aufteilung nach Energiedienstleistungen

$$q(t) \approx \sum DL_i \, (EN/DL)_i \qquad , i = 1, n$$

wobei i = Energiedienstleistung "i"
DL = Mass für die erbrachte Energiedienstleistung,
EN/DL = Energiebedarf pro Dienstleistungseinheit

Dieser dritte Ansatz nach Energiedienstleistungen ist speziell interessant, aber auch schwierig, weil die "Finalität" des Energieeinsatzes angesprochen wird. Das Problem liegt in der Definition, respektive im Messen der erbrachten Dienstleistung. Wie ist die Qualität und der Komfort zu handhaben? Bis heute sind diese Fragen nur im Raumwärmesektor allgemein akzeptabel gelöst. Bei wichtigen Elektrizitätsanwendungen, wie der Beleuchtung und der Raumklimatisierung, darf längerfristig auch mit einem Konsens gerechnet werden, der kompatibel ist mit einer rationnellen Verwendung der Energie.

3.2 Zum "Bottom-up"-Ansatz im Dienstleistungssektor

Ein Ansatz nach Apparaten, Geräten, Installationen, wie er weiter oben skizziert wurde, scheint hier kaum angebracht. Die Vielfalt der Geräte und Installationen ist dabei nicht das wesentliche Hindernis; schwieriger ist es die vielfältige Nutzung dieser Geräte und speziell der (Haus-) Installationen zu behandeln. Und gerade diese Installationen (Beleuchtung, Ventillation, Klimatisation, ...) tragen etwa 70% zum Stromverbrauch des Dienstleistungssektors bei. Bei einer Aufteilung nach Geräten dürfte es auch ausgesprochen schwierig sein, offensichtliche Zusammenhänge, z.B. zwischen der Abwärme von Geräten und dem Energieverbrauch zur Wärmeabfuhr oder zwischen der Gebäudestruktur und dem Energieverbrauch für Beleuchtung und Belüftung, in den Modellansatz einzubauen.

Auf den Ansatz nach homogenen Verbrauchergruppen wird im folgenden am Beispiel des technisch-ökonometrischen Modells des CUEPE [3, S. 115] eingegangen. Als homogene Gruppen werden in diesem Modell die traditionellen Wirtschaftsbranchen betrachtet; diese Wahl ist sicher nicht optimal; für eine Aufteilung nach energierelevanten Aspekten fehlen jedoch auch heute noch die notwendigen Kenntnisse und Daten. Als Leitindikator wird die Geschossfläche der jährlich neu erstellten (und erneuerten und abgebrochenen) Bauten verwendet. Diese dynamische Betrachtungsweise ist speziell für die Wirkungsanalyse von energiepolitischen Massnahmen (technische Normen) interessant, verbessert aber auch die Homogeneität der Gruppen beträchtlich (die neu erstellten Verwaltungsgebäude z.B. sind sich ähnlicher als alle existierenden Verwaltungsgebäude zusammen).

Der in diesem Modell verwendete "Bootom-up"-Ansatz lautet:

$$q(t) \approx \sum IE_i(t')\ Z_i(t, t') \qquad ; i = 1, n;\ t' = 0, t$$

wobei:
- i = Wirtschaftsbranche "i"
- q = Elektrizitätsverbrauch,
- Z = Fläche, die in t' gebaut oder renoviert und in t noch existiert,
- IE = durchschnittliche Elektrizitätskennzahl der im Jahre t' neuen/erneuerten Gebäude
- t = laufendes Jahr,
- t' = Bau-/Renovationsjahr.

Dieser Ansatz wiederspiegelt die traditionelle Ansicht, dass die Veränderung in der Elektrizitätsnachfrage des Dienstleistungssektors durch die neuen Gebäude (und die Erneuerung und den Ersatz der alten Gebäude) bestimmt ist. Interpretiert man in diesem Sinn die Entwicklung 1960-1985 des Stromverbrauchs im Dienstleistungssektor der Schweiz, führt das zu sehr hohen Elektrizitätskennzahlen für die zwischen 1975 und 1985 erbauten Gebäude, wie in der Figur 4 aufgezeigt ist.

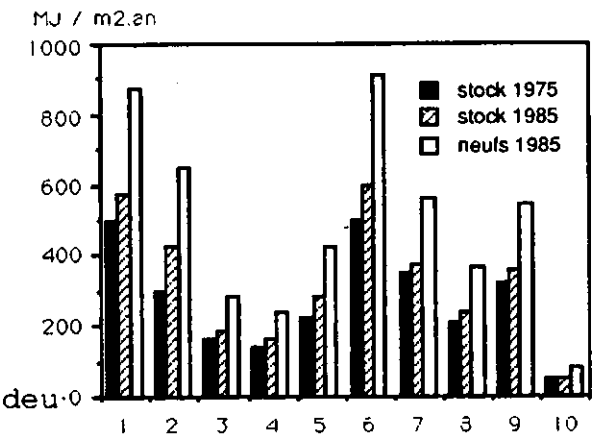
Alternativ wurde ein Modellansatz vorgeschlagen, der die Entwicklung des Stromverbrauchs in den "alten" Gebäuden mitberücksichtigt [3, S. 139]:

$$q(t) \approx \sum w_i(t)\ IE_i(t')\ Z_i(t, t');\ i = 1, n;\ t' = 0, t$$

wobei mit w(t) der Anteil an der Verbrauchszunahme berücksichtigt wird, der unabhängig von der "Geschichte" des Gebäudes erfolgt: durch neue oder zusätzliche Geräte und durch Änderungen in der Nutzungsart oder in der Nutzungsintensität des Gebäudes oder der Installationen und Geräte.

Das Problem liegt in der Quantifizierung von w(t). Für die Stadt Zürich haben wir aus den Statistiken des EWZ folgende provisorischen Mittelwerte (4 Branchen) für den Anteil der spezifischen Verbrauchszunahme abgeschätzt, die vom Mehrverbrauch in den "alten" Gebäuden kommt:

30% (1974/75-1979/80) und
50% (1980/81-1985/86.



Figur 4: Elektrizitätskennzahlen. in 10 Dienstleistungsbranchen für den Gebäudepark in den Jahren 1975 und 1985, und für die neuen Gebäude im Jahre 1985 [5]

Diese Werte sind mit einer recht grossen Unsicherheit behaftet; eine Quantifizierung dieser Unsicherheit ist noch nicht möglich.Auf die Schweiz übertragen würde das für die durchschnittlichen neuen Gebäude der Periode 1975-1985 eine Reduktion der in Figur 4 gezeigten Werte um etwa 20% beten. Die Zunahme des spezifischen Strombezugs in den neuen Gebäuden gegenüber dem gesamten Gebäudepark würde damit um rund die Hälfte reduziert.

Für die Abschätzung der langfristigen Energiesparpotentiale hat dieser neue Ansatz keine direkten Konsequenzen. In den EGES-Arbeiten, zum Beispiel, ergeben sich die grossen Einsparungen im Referenzszenario (S1) gegenüber der ökonometrisch bestimmten Trendentwicklung (S0) aus der Annahme, dass in diesem "Trend" keine Verbesserung des rationellen Einsatzes der Elektrizität (die in der EGES-Studie [3, S. 125] verwendete Bezeichnung "... le rendement des installations ne s'améliore pas..." darf nicht auf einen technischen Wirkungsgrad reduziert werden) "enthalten" ist. Unter dieser Voraussetzung sind die hohen Einsparmöglichkeiten bei jeder Energieanwendung, auch bei neuen Elektrizitätsanwendungen, gegeben.

3.3 Zur Trendentwicklung der Elektrizitätsnachfrage im Dienstleistungssektor

Die oben erwähnte Interpretation, dass in der ökonometrisch bestimmten Trendentwicklung des CUEPE-Modells keine Verbesserung des rationellen Einsatzes der Energie enthalten sei, ist kein Widerspruch zur Beobachtung, dass sich gewisse technische Wirkungsgrade, z.B. beim Licht (Lumen/Watt) aber auch bei Klima-/Lüftungsinstallationen (insb. durch verbesserte Regeltechnik) in der Vergangenheit substantiell verbessert haben. Viele Fallbeispiele haben in den letzten Jahren bestätigt, dass diese technischen Verbesserungen in der Praxis durch den nicht-optimalen Betrieb und einen Einsatz, der nicht den Prinzipien der rationellen Energieverwendung entspricht, oft ausgeglichen werden: Einsparungen von 20% durch "korrekte" Regelung oder durch Abschalten einer Anlage (ohne Verlust an Komfort) sind keine Seltenheit; 20% entsprechen aber einer jährlichen Verbesserung des Wirkungsgrades von 1% über eine Periode von 18 Jahren.

Falls dem Trendszenario aber tatsächlich eine Verbesserung der rationnellen Nutzung von z.B. 1% unterstellt wird, bedeutet dies für das Jahr 2025 eine rund 50% stärkere Zunahme (gegenüber der Annahme, dass keine Wirkungsgradverbesserung eintrifft) der Dienstleistungen, die durch den Elektrizitätseinsatz geleistet werden; bezogen auf heute, würde das mehr als einer Verdreifachung der Dienstleistungen pro Beschäftigten entsprechen. Wenn dies auch für einige Sektoren plausibel erscheint, speziell da, wo eine substantielle Automatisierung erwartet werden kann, bereitet die Interpretation einer solchen Entwicklung dem Analytiker doch einige Mühe.

Nicht auszuschliessen ist, dass die ökonometrische Trendentwicklung langfristig ganz einfach zu hoch ist. Diese Möglichkeit stützt sich jedoch auf keine Beobachtung. Im Gegenteil, die jährlichen Zuwachsraten des Elektrizitätsverbrauchs im Dienstleistungssektor der letzten Jahre deuten eher auf ein noch stärkeres Wachstum hin!

Kurz- und mittelfristig erscheint eine wesentliche Verbrauchszunahme auch vom "Bottom-up"-Ansatz aus gesehen als durchaus möglich. Falls zum Beispiel der heutige Rythmus der Stromverbrauchszunahme, der durch die Diffusion und die vermehrte Nutzung elektronischer Geräte und Installationen bewirkt wird, über die nächsten zwanzig Jahre anhält, bedeutet das allein eine Zunahme von 50% des totalen Elektrizitätsverbrauchs im Dienstleistungssektor; betrachtet man dazu den Stromverbrauch für die Klimatisierung, die direkt mit dem Einsatz dieser elektronischen Geräte zusammenhängt, so ist bis ins Jahr 2010 eine Verdoppelung der Elektrizitätsnachfrage im Dienstleistungssektor allein durch den vermehrten Einsatz von EDV- und Kommunikationsanlagen nicht auszuschliessen. Andrerseits ist auch offensichtlich, dass die Möglichkeiten eines rationnellen Energieeinsatzes gerade in diesem Anwendungsbereich sehr gross sind [5].

Eine andere mögliche Ursache für eine starke Zunahme des Stromverbrauchs ist die Vergrösserung der Geschossfläche pro Beschäftigtem. Die Schweiz liegt heute etwa im europäischen Durchschnitt von (40-50) m2/Beschäftigtem; in den USA beträgt der mittlere Flächenbedarf pro Beschäftigtem jedoch 65 m2. Die zukünftige Entwicklung hängt von vielen Faktoren ab: Raumplanung, Gebäudestruktur, Dimensionierung der Neben- und Infrastrukturräume, relative Entwicklung der verschiedenen Branchen, Automatisierung, u.s.w.

Der Stromverbrauchs pro Beschäftigtem in andern Ländern (USA, Kanada, Norwegen) kann auch ein Hinweis für eine starke zukünftige Zunahme in der Schweiz sein. Dabei müssen neben strukturellen Unterschieden und einem unterschiedlichen Flächenbedarf aber auch andere wichtige Faktoren berücksichtigt werden: z.B. der Anteil der klimatisierten Fläche und der Anteil der elektrisch beheizten Geschossfläche.

4. Einsatzmöglichkeiten von "Bottom-up"-Modellen

Die Anwendung von "Bottom-up"-Modellen und die Verwendung von "Bottom-up"-ähnlichen Ansätzen in technisch-ökonometrischen Modellen haben sich in der Vergangenheit für die Wirkungsanalyse von energiepolitischen Massnahmen (speziell von technischen Normen) bewährt und dürften auch in Zukunft in den meisten Verbrauchssektoren gute Dienste leisten. Auch zur Exploration langfristiger möglicher Entwicklungen ist ihre Funktion unbestritten.

Problematisch bleibt jedoch der Einsatz von traditionellen "Bottom-up"-Modellen zur Evaluation einer Trend- oder Referenzentwicklung. Besonders im Dienstleistungssektor, wo die potentiellen Energiedienstleistungen kaum absehbar und deren wahrscheinlicher Einsatz und Konsum völlig offen sind, können Aussagen nur im Rahmen von umfassenden und detaillierten Szenarien gemacht werden.

Mit unseren Untersuchungen über die historische Entwicklung des Stromverbrauchs in der Stadt Zürich werden wir an diesen Feststellungen kaum etwas ändern; wir hoffen jedoch einen Beitrag leisten zu können, den "Bottom-up"-Ansatz methodisch zu verbessern und die Qualität der Aussagen zu erhöhen.

Literaturverzeichnis

[1] "Bottom-up"-Modell für den Stromverbrauch des Dienstleistungssektors einer Stadt; B. Aebischer und D. Spreng; Forschungsgruppe Energieanalysen, Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH Zürich; Interner Bericht, April 1990.

[2] Zur Dynamik des Elektrizitätsverbrauchs im Dienstleistungssektor; D. Spreng, W. Hediger und I. Reutlinger; Forschungsgruppe Energieanalysen, Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH Zürich (D.S.,W.H.) und NOK AG, Baden(I.R.) Bulletin SEV/VSE 78(1987)20, 24. Oktober.

[3] Perspectives de la demande d'énergie en Suisse, 1985-2025; B. Aebischer, R. Kanala, D. Pain, B. Giovannini; CUEPE; Groupe d'experts scénarios énergétiques; Série de publications no 18; 1988.

[4] Perspectives de la demande d'énergie en Suisse, 1985-2025; Annexe 2: Arguments scientifiques et techniques pour l'utilisation optimale de l'énergie; B. Aebischer, D. Pain, B. Giovannini; CUEPE; Groupe d'experts scénarios énergétiques; Série de publications no 18/2; 1989.

[5] Computer als Stromverbraucher; D. Spreng und B. Aebischer; Forschungsgruppe Energieanalysen, Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH Zürich; wird erscheinen im Oktober 1990 in "Schweizer Ingenieur und Architekt".

MASSNAHMEN DER EFFIZIENTEN ENERGIENUTZUNG IN DER INDUSTRIE

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN VON TECHNISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Ivo Knoepfel

Paul Scherrer Institut, Sektion für Umweltökonomie, Villigen

Zusammenfassung

Anhand konkreter Beispiele für den Industriesektor in der Schweiz werden in diesem Bericht Möglichkeiten und Grenzen von technischen Untersuchungen auf der Ebene der Prozesse und ihrer Hochrechnung auf die Ebene der Volkswirtschaft diskutiert. Das Schwergewicht liegt auf der Analyse von Technologien, die in den nächsten 20 Jahren einen wesentlichen Beitrag zur effizienten Energienutzung in der Industrie leisten könnten.

Es werden u.a. methodische Probleme der Technologieidentifikation/-beschreibung und der Hochrechnung von Daten diskutiert. Die Güte der Hochrechnung von der Ebene der Technologien auf die Ebene der Volkswirtschaft hängt im wesentlichen von der Verfügbarkeit repräsentativer Daten ab. Diese sind für den Industriesektor äusserst spärlich. Darin liegt vielleicht die wichtigste Schwierigkeit bei der Anwendung der beschriebenen Methode.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung und Zielsetzung
2. Methodischer Ansatz
3. Anwendung auf die Industrie in der Schweiz
    3.1. Allgemein anwendbare Massnahmen
    3.2. Branchenspezifische Massnahmen
4. Diskussion der Resultate und der Methode
5. Literaturverzeichnis

1. Einführung und Zielsetzung

Die Prognose des industriellen Energieverbrauchs ist durch die ausgeprägte Heterogenität des Industriesektors erschwert. Eine Extrapolation des Energieverbrauchs aus dem Verlauf der Vergangenheit kann zu erheblichen Fehleinschätzungen führen. Eine Analyse auf der Ebene der Prozesse und der Technologien ist daher in den meisten Fällen unumgänglich. Die anschliessende Hochrechnung auf die Ebene der Volkswirtschaft ist aber mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden.

In der vorliegenden Arbeit möchte man anhand konkreter Beispiele die Möglichkeiten und Grenzen von technischen Analysen und ihrer Hochrechnung auf die volkswirtschaftliche Ebene zeigen. Das Schwergewicht liegt auf der Beschreibung des methodischen Ansatzes. Im Kapitel 3 werden einige Beispiele vorgestellt, die sich ausdrücklich auf Technologien der effizienten Energienutzung in der Industrie beziehen.

Der wichtigste Vorteil von technischen Analysen ist ihre "Benutzernähe". Die Analyse findet auf der Ebene der Anwendung statt und liefert konkrete Hinweise für den Techniker und den Manager. Dementsprechend ist die Akzeptanz der Industrie gegenüber technischen Untersuchungen meistens besser als gegenüber rein ökonometrischen Untersuchungen. Die Identifikation von Technologien ist zudem ein wichtiges Instrument der Innovationsförderung.

Der Hauptnachteil von technischen Analysen ist, dass sie in den meisten Fällen die Wechselwirkungen zwischen dem technischen Fortschritt und der Energienachfrage nicht erfassen. Gemeint sind u.a. Strukturverschiebungen auf der Ebene der Volkswirtschaft oder auf der Ebene des Industriesektors, veränderte Ansprüche oder Gewohnheiten auf der Angebots- oder Nachfrageseite und folglich Aenderungen in der Produktezusammensetzung.

Ein weiterer Nachteil ist, dass die Analyse immer auf eine Auswahl von Technologien beschränkt ist. Die Kriterien für diese Auswahl sind oft nicht eindeutig. Eine weitere Ungenauigkeit entsteht, wenn man die Sparpotentiale für jede Technologie separat berechnet und dann zu einem Gesamtpotential aufaddiert unter Vernachlässigung der teilweise gegenseitigen Beeinflussung der verschiedenen Massnahmen.

2. Methodischer Ansatz

Zuerst müssen Kriterien aufgestellt werden für die Auswahl der Technologien und der Prozesse, die zu untersuchen sind. Es ist wichtig, bereits auf dem Niveau der Technologiebeschreibung ein geeignetes Mass an Aggregation zu wählen. Oft fasst man mehrere technische Anwendungen zu einer Technologiegruppe zusammen, die eine gewisse Streuung um eine "mittlere Technologie" aufweist. Die techno-ökonomische Beschreibung geschieht dann auf der Ebene der Technologiegruppen und kann auf verschiedene Industriebranchen übertragen werden.

Bei der Auswahl von Technologien, die zu untersuchen sind, können verschiedene Kriterien eingehalten werden. Die Anwendungsbeispiele im Kap. 3 z.B. beziehen sich auf Technologien, die in den nächsten 20 Jahren einen wesentlichen Beitrag zur effizienten Energienutzung in der Schweiz leisten könnten. Eine weitere Bedingung ist, dass sie sich bereits in einer Pilotanlage oder in der Produktion technisch bewährt haben. Für jede Technologie werden dann die spezifischen Energieverbrauchsdaten und die Investitionskosten zusammengestellt. Wo möglich wird auch der zeitliche Verlauf dieser Grössen erfasst.

Es folgt der schwierige Schritt der Hochrechnung spezifischer Energieverbrauchswerte von der Ebene der Prozesse auf die Ebene der Volkswirtschaft. Die Güte der Hochrechnung hängt im wesentlichen von der Verfügbarkeit statistischer Daten ab. Hier liegt ein wesentliches Problem dieser Untersuchungsmethode. Es existieren in der Schweiz nur wenige statistische Daten über die Industrie. In vielen Fällen müssen wichtige Grössen abgeschätzt werden. Wie dieses Problem im Einzelfall gelöst wird, wird anhand von Beispielen im Kap. 3 gezeigt.

Die Hochrechnung liefert die aus der Anwendung einer Technologie unmittelbar entstehenden Energieeinsparungen. In den meisten Fällen wird eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt, d.h. die Sparpotentiale werden in Abhängigkeit ihrer Energiegestehungskosten aufgetragen. Das Resultat ist abhängig von den Annahmen bezüglich der Entwicklung der spezifischen Energieverbrauchswerte und der Investitionskosten. Diese Entwicklung wiederum wird beeinflusst vom gesamtwirtschaftlichen Verlauf.

In vielen Fällen ist eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse nicht möglich. Trotzdem kann der potentielle Anwendungsgrad einer Technologie abgeschätzt werden. Man behilft sich oft mit Prognosen von Industriefachleuten. Da sich einerseits Techniker intensiv Gedanken über die Entwicklung der angewandten Prozesse machen und anderseits die Betriebswissenschafter sich ein Gefühl für die mögliche Entwicklung der wirtschaftlichen Grössen aneignen, können solche Prognosen eine komplexe Realität oft erstaunlich gut erfassen.

3. Anwendung auf die Industrie in der Schweiz

3.1. Allgemein anwendbare Massnahmen

In der technischen Literatur findet man wichtige Hinweise auf allgemein anwendbare Technologien, die in den nächsten 20 Jahren einen bedeutenden Beitrag zur effizienten Energienutzung in der Industrie leisten können. Es sind dies:

- die Wärme-Kraft-Kopplung
- die vermehrte Nutzung von Abwärme
- Sparmassnahmen im Bereich der Heizung und Lüftung
- Massnahmen der Prozessautomation und der optimalen Regelung
- neue Lampentypen und Konzepte für die Beleuchtung
- etc.

Da hier von Technologien die Rede ist, werden Massnahmen des guten Energiemanagements nicht erwähnt, obwohl sie einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch haben können.

Ein konkretes Beispiel für eine technische Analyse wird im folgenden Unterkapitel vorgestellt. Es werden Massnahmen im Bereich der elektrischen Antriebe untersucht. Der Elektromotor ist die verbreitetste Arbeitsmaschine in der Industrie und ein fast ideales Beispiel für eine branchenübergreifende Technologie.

Regelungstechnik und neue Konzepte für die elektrischen Antriebe

Elektromotoren liefern rund 90 % der benötigten mechanischen Arbeit und beanspruchen etwa 54 % des Stromverbrauchs der Industrie [1]. Fast ausschliesslich kommen dabei Drehstromantriebe zum Einsatz, insbesondere Asynchronmotoren.

In Fachkreisen wird auf zwei technische Entwicklungen hingewiesen, die einen wesentlichen Beitrag zur effizienten Energienutzung leisten könnten. Es sind dies:

- die Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichtern und
- die vermehrte Anwendung von Motoren mit hohen Wirkungsgraden.

Als Grundlage für die ganze Berechnung dient eine Abschätzung des Anteils verschiedener Leistungsklassen am gesamten Stromverbrauch der elektrischen Antriebe (Tab. 1). Offizielle statistische Daten für die Schweiz sind nicht vorhanden. Eine provisorische Zusammenstellung für die ganze Schweiz wurde in [2] vorgenommen. Ausserdem existieren exakte Angaben für die BRD [3] und für die USA [4]. In erster Näherung werden die relativen Anteile verschiedener Leistungsklassen und durchschnittliche Betriebsstunden aus Angaben für die BRD [3] übernommen, unter Berücksichtigung von Gesprächen mit Fachleuten in der Schweiz. Der totale Stromverbrauch der Elektromotoren in der Industrie kann aus der EKV-Statistik entnommen werden [1].

Die Einführung von Frequenzumrichtern erlaubt die Anpassung der Motorendrehzahl an veränderte Arbeitsbedingungen. Die dabei entstehenden Stromeinsparungen sind abhängig vom Verhältnis der im Mittel geförderten Menge zur Nennfördermenge. Im Mittel über alle Arbeitsmaschinen liegt die geförderte Menge bei etwa 75 % der Nennfördermenge. Dabei entstehen Stromeinsparungen der Antriebsmaschine durch die Drehzahlregelung von etwa 25 % [3]. Diese Zahl deckt sich gut mit den Angaben anderer Quellen.

Der zukünftige Verlauf der Marktdurchdringung der Umrichtertechnik wird entscheidend durch den Preis der Umrichter beeinflusst. Nach Einschätzung von Herstellern werden die Preise in den nächsten Jahren rapide abnehmen, im Durchschnitt um real 5 % pro Jahr. Ausgehend von detaillierten Preisangaben für das Jahr 1985 kann man also eine Reduktion von mindestens 50 % bis zum Jahr 2000 annehmen. In Tab. 1 werden die durchschnittlichen Gestehungskosten der Stromeinsparung für die Jahre 1985 und 2000 angegeben. Daraus lässt sich das wirtschaftliche Sparpotential in Abhängigkeit der Stromgestehungskosten darstellen (Fig. 1).

Annahmen *(Literaturhinweis: [3]):*

- *Einsatzpotential der Frequenzumrichter = 45 % des Stromverbrauchs für elektrische Antriebe*
- *Spezifische Stromeinsparung durch die Anwendung der Frequenzumrichter = 25 %*
- *Annuität der Investition = 0,23 a^{-1} (Abschreibungszeit = 5 Jahre)*
- *Preisregression der Umrichter (real) = 5 % a^{-1} (1985-2000)*

		Leistungsklassen [kW]						
		< 10	10 ... 50	50 ... 100	100 .. 1000	> 1000	Total	
Anteil am Elektrizitaetsverbrauch der elektrischen Antriebe	1)	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3	1	
Elektrizitaetsverbrauch, 1985 [GWh/a]		650	1300	650	1950	1950	6500	2)
Max. Sparpotential durch Anwendung der Umrichter [GWh/a]		**73,1**	**146,3**	**73,1**	**219,4**	**219,4**	**731,25**	
Preis der Umrichter, 1985 [Fr/kW]	3)	1100	750	550	300	200		
Durchschnittliche Betriebsstunden [h/a]	4)	2500	2500	2000	2000	2000		
Stromgestehungskosten, 1985 [Fr/kWh]		**0,40**	**0,28**	**0,25**	**0,14**	**0,09**		
Stromgestehungskosten, 2000 [Fr/kWh]		**0,20**	**0,14**	**0,13**	0,07	**0,05**		

Quellen:
1) PNL-5665-Rev.1, [4]
2) EKV-Statistik, CH 1985, [1]. Da diese Statistik rund 88 % des industriellen Energieverbrauchs deckt, werden die Daten mit einem Faktor 1,12 multipliziert
3) Maier/Angerer, [3]
4) Schaetzung, [3]

Tab. 1 - *Stromeinsparungen durch die verlustarme Drehzahlregelung von Drehstrommotoren (Anwendung von Frequenzumrichtern). Technische und wirtschaftliche Daten für die Schweiz.*

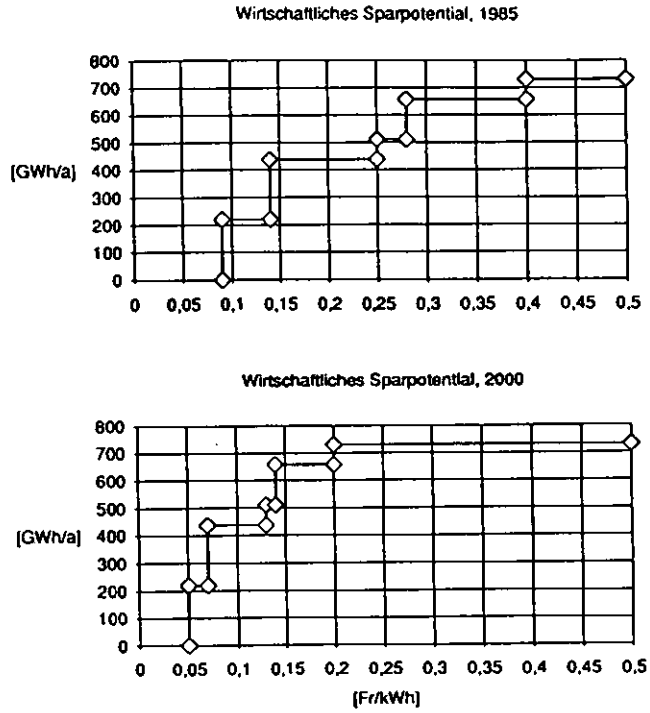


Fig. 1 - *Wirtschaftliches Sparpotential in Abhängigkeit der Gestehungskosten der eingesparten Elektrizität (Anwendung von Frequenzumrichtern).*

Durch technische Massnahmen lässt sich der Wirkungsgrad von Drehstrommotoren in den unteren Leistungsklassen um einige Prozente verbessern. Seit mehreren Jahren werden von verschiedenen Herstellern sogenannte "Hochwirkungsgrad-Motoren" (high-efficiency-motors) angeboten. Durch Anwendung spezieller Materialien und durch Aenderungen in der Bauweise werden die inneren Widerstände der Motoren auf ein Minimum reduziert. Allerdings sind diese Motoren etwas teurer und schwerer als konventionelle Asynchronmotoren. Stromeinsparungen können entsprechend einer ausführlichen Studie des Pacific Northwest Laboratory [4] berechnet werden. Für die Schweiz sind diese in Tab. 2 zusammengefasst.

		Leistungsklassen [kW]					Total	
		< 10	10 ... 50	50 ... 100	100 .. 1000	> 1000		
Elektrizitaetsverbrauch, 1985 [GWh/a]	2)	650	1300	650	1950	1950	6500	2)
Einsparung durch neue Motoren [%]	1)	10	7	3,5	0,9	0,9		
Max. Einsparung durch neue Motoren [GWh/a]		65,0	91,0	22,8	17,6	17,6	213,9	
Mehrkosten der effizienten Motoren 1985 [Fr/kW]	1)	50	25	20	15	15		
Durchschnittliche Betriebsstundenzahl [h/a]	2)	2500	2500	2000	2000	2000		
Stromgestehungskosten, 1985 [Fr/kWh]		0,05	0,03	0,07	0,19	0,19		

Quellen:
1) PNL-5665-Rev.1, [4]
2) Tab. 1

Tab. 2 - *Stromeinsparungen durch die Einführung von Motoren mit erhöhtem Wirkungsgrad. Technische und wirtschaftliche Daten für die Schweiz.*

3.2. Branchenspezifische Massnahmen

In diesem Kapitel werden Technologien untersucht, die nur für bestimmte Prozesse in energieintensiven Branchen anwendbar sind. In diesen Branchen kommen relativ wenige, gut identifizierbare Prozesse zur Anwendung.

In Tab. 3 sind die Resultate der technischen Analyse zusammengefasst. Die Angaben beziehen sich auf Technologien, die bereits Stand der Technik sind, die aber bei heutigen Energiepreisen z.T. noch nicht wirtschaftlich sind. Folgende Technologien werden berücksichtigt:

Für die Zementindustrie: Vermehrter Einsatz kurzer Drehrohröfen, vermehrte Abwärmenutzung, Einsatz von Walzmühlen beim Zementmahlen.

Für die Aluminiumindustrie (Primärproduktion): Verwendung von Kathoden aus Titandiborit.

Für die Papierindustrie: Massnahmen im Bereich der Stoffmahlung, Erhöhung des Trockengehaltes am Ende der Nasspartie, Abluftfeuchteregelung an Trockenhauben.

Tab. 3 - Prozessenergieeinsparung durch technische Massnahmen in energieintensiven Branchen (CH, 1988).

Industriebranche	Quelle	Max. Energieeinsparung bezogen auf den gesamten Energieverbrauch der Branche			Durchschn. Anwendungsgrad Basisentwicklung [1]		
		Fossile Energie	Elektrizität	Total	1988	2000	Maximal
Zementindustrie	[5]	15 %	11 %	11 %	0.1	0.4	0.8
Primäraluminiumindustrie	[5]	-	16 %	14 %	0.0	0.2	1.0
Papierindustrie	[5]	18 %	4 %	14 %	0.1	0.6	1.0

Die errechneten Sparpotentiale können mit dem historischen Verlauf des Energieverbrauchs verglichen werden. Fig. 2 zeigt den historischen Verlauf der Energieintensität für den Klinker-Brennprozess in der Zementindustrie. Der Verlauf nähert sich fast asymptotisch dem heutigen Stand der Technik (BAT-Wert), ist aber noch weit entfernt von Schätzungen für "futuristische" Technologien (IT-Wert) oder vom theoretischen Mindestenergieinhalt des Zements (TL).

[1] Nach Gesprächen mit Industriefachleuten. Angabe für heutige gesamtwirtschaftliche Entwicklungstendenzen.

Legende:

BAT: *Entspricht der energieeffizientesten Technologie, die heute zur Verfügung steht. Hier: moderne kurze Drehrohröfen in Verbindung mit einer besseren Nutzung der Abwärme und dem Einsatz von Walzmühlen für die Zementmahlung.*

IT: *Entspricht einer Technologie, die heute noch Gegenstand von Forschungsarbeiten ist und in entfernter Zukunft in die Produktion einfliessen könnte. Hier: die "kalte Zementherstellung", d.h. die chemische Umsetzung bei niedrigeren Temperaturen durch Zugabe von Zusatz- und Füllstoffen.*

TL: *Summe der freien Enthalpie der wichtigsten an der Herstellung beteiligten chemischen Umwandlungen.*

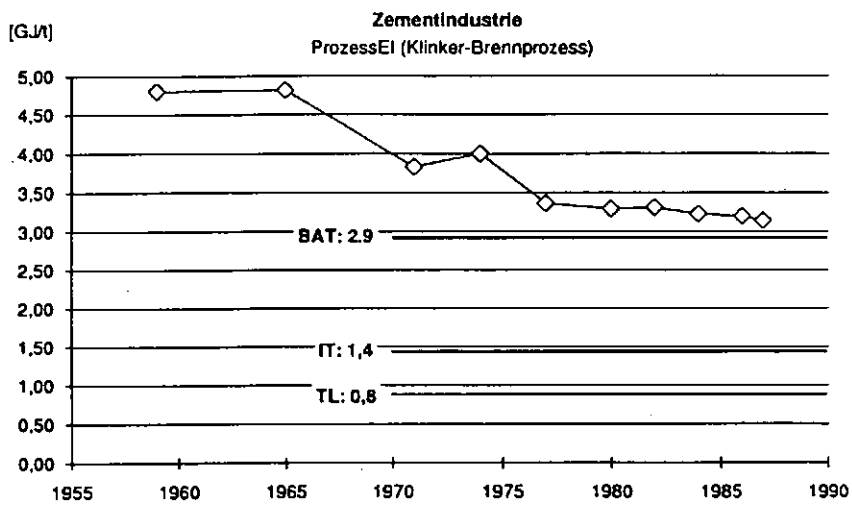


Fig. 2 - *Energieintensität des Klinker-Brennprozesses in der Zementindustrie: Verlauf 1959 - 1987 in der Schweiz.*

4. Diskussion der Resultate und der Methode

Die vorgeschlagene Methode der technischen Analyse erfasst nicht den gesamten Effekt des technischen Fortschritts auf die Energienachfrage der Industrie. Trotzdem wird ein wichtiger Bestandteil erfasst (die Energieeinsparung, die unmittelbar durch Anwendung der Technologie entsteht). Strukturelle Verschiebungen auf der Angebots- und Nachfrageseite müssen getrennt beschrieben werden.

Technische Analysen sind in den meisten Fällen unvollständig, weil sie nur eine Auswahl von Technologien berücksichtigen. Eine geeignete Aggregation erlaubt es, eine grössere Anzahl von Technologien zu erfassen und erleichtert die Anwendung von statistischen Daten. Eine Methode für die Aggregation der Technologien und für ihre statistische Beschreibung (z.B. mit geeigneten Streuungsparametern um eine "mittlere" Technologie) muss aber noch weitgehend entwickelt werden.

Die Güte der Hochrechnung spezifischer Energieverbrauchszahlen von der Ebene der Prozesse auf die Ebene der Volkswirtschaft hängt im wesentlichen von der Verfügbarkeit representativer Daten ab. Die wenigen verfügbaren Statistiken über den Industriesektor in der Schweiz leiden oft an "Representativitätsproblemen". Der Wunsch des Energieanalytikers nach mehr und besseren Statistiken leuchtet ein.

5. Literaturverzeichnis

1 Energieverbrauch in der schweizerischen Industrie im Jahre 1985, Schweizerischer Energie-Konsumenten-Verband von Industrie und Wirtschaft, Basel, 1990.

2 J. Nipkow, Elektrizität sparen bei Motoren, Schweizer Ingenieur und Architekt, 1989, Heft 18, S.469.

3 Maier, Angerer et al., Rationelle Energieverwendung durch neue Technologien, Bd. 1 + 2, Verlag TUV Rheinland, Köln, 1986.

4 R.J. Moe et al., The Electric Energy Savings from new Technologies, PNL--5665-Rev.1, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, 1986.

5 I. Knoepfel, Energie- und CO_2-Reduktionspotentiale ausgewählter Industriebranchen in der Schweiz, Technische Mitteilung TM-52-90-02, Paul Scherrer Institut, Villigen, 1990.

METHODES

TECHNICO-ECONOMIQUES ET TECHNICO-ECONOMETRIQUES POUR LA MODELISATION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Bernard Giovannini

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie

Université de Genève

Les méthodes technico-économiques et technico-économétriques pour la modélisation de la consommation d'énergie servent à compléter les modèles économétriques pour la préparation de perspectives de consommation d'énergie en Suisse.

Pour formuler une politique de l'énergie efficace, il faut savoir comment est utilisée l'énergie, à quelles fins, avec quel rendement et avec quel agent. Il faudrait aussi posséder cette information pour une longue période du passé - au moins quinze ans - afin de pouvoir juger des effets de substitution et d'économie d'énergie et de pouvoir juger également de l'influence des prix et des décisions politiques sur les évolutions passées.

Tous ces éléments sont également nécessaires pour la formulation de perspectives sérieuses de demandes pour l'avenir. Que l'on suive des méthodes purement positives ou purement normatives, ou que l'on essaie de tirer profit des avantages des deux méthodes, il est essentiel de connaître les éléments importants de la consommation d'énergie ainsi que l'évolution historique de ces éléments. Mais comment choisir le niveau de détail "suffisant", et comment regrouper ensuite les consommations pour former des ensembles cohérents ?

Formuler des perspectives n'est pas uniquement une préoccupation des gouvernements; le secteur énergétique doit décider longtemps à l'avance d'énormes investissements sur la base d'une estimation de la demande, que ce soit dans le secteur pétrolier (supertankers), gazier (gazoducs, contrats d'achat à long terme) ou électrique (centrales de production, réseaux de distribution).

L'analyse technico-économique et l'analyse technico-économétrique partent de l'établissement d'une équation de consommation d'énergie.

Cette équation décrit en termes algébriques le fait que la consommation est liée à l'existence d'un équipement consommateur d'énergie et que cet équipement fonctionne avec un certain rendement et selon une certaine intensité d'utilisation. Par ailleurs, l'équipement est le résultat d'achats d'équipement neuf, de déclassements, de changements d'affectation et éventuellement de rénovation, etc...

Nous écrivons pour toutes ces grandeurs une équation explicite, ce qui présente l'avantage de les clarifier et qui permet en outre de pousser aussi loin que nécessaire les manipulations formelles.

L'équation de consommation d'énergie s'écrit de façon générale :

$$q(j,n,t) = \sum_{j'=1}^{I} \sum_{n=1}^{N} \sum_{t'=1}^{t} e(j, n, t; j', n', t'; \{b\})\, z(j', n', t') \qquad (I\text{-}1)$$

Dans cette équation:

- z (j',n',t') est l'équipement acquis neuf en l'an t' pour le service ou l'affectation n' et l'agent énergétique j',

- e (j,n,t ; j',n',t' ; {b}) est une consommation spécifique généralisée, associée à z (j',n',t') pour le service n, l'agent j au temps t. Cette consommation dépend d'un ensemble de paramètres que nous notons symboliquement {b}.

Parmi ces paramètres {b}, on trouve notamment l'intensité d'utilisation α, la consommation spécifique η, le taux de substitution σ, le taux de rénovation ρ, le taux de survie β, le taux de déclassement λ, etc...

Ainsi formulée, l'équation est évidemment très générale; seules les applications concrètes permettront de se faire une idée plus précise de son utilisation.

En écrivant cette équation, nous avons trois objectifs:

- la clarté et la rigueur

Ecrire explicitement une équation de ce type oblige à définir exactement et dans chaque cas, la signification de chaque paramètre utilisé; on est aussi contraint à ne retenir que les plus importants;

- établir une relation avec l'économétrie

Les équations économétriques utilisées par le CUEPE sont basées sur une version simplifiée de l'équation de consommation d'énergie présentée précédemment; notre étude cherche à créer un langage commun entre les études économétriques et technico-économiques afin de favoriser la collaboration entre ces deux points de vue des mêmes problèmes. Ainsi, l'équation de consommation d'énergie est une proposition faite aux économètres: c'est l'équation qu'il faudrait estimer économétriquement, soit en une fois, comme dans le modèle à génération d'équipements, soit facteur par facteur.

- *utiliser des calculs formels*

Nous avons démontré dans des travaux ultérieurs, qu'il était possible de faire des manipulations formelles permettant de passer d'un type de données à un autre par des inversions très utiles, notamment pour faire le joint avec les modèles à équipement désiré.

Deux modèles sont utilisés

Le modèle technico-économétrique

Dans ce modèle, nous explicitons la variable S du modèle économétrique en termes de caractéristiques techniques de l'équipement consommateur d'énergie. Ces caractéristiques sont exprimées explicitement dans l'équation de consommation d'énergie, décrite pour chaque secteur et chaque agent énergétique et exposée précédemment (eq. I-1).

Deux cas peuvent se présenter:

a) la description technique de la consommation est suffisamment fiable et les paramètres sont déterminés de manière satisfaisante dans l'avenir par les variables macro-économiques. Dans ce cas, l'identification de la grandeur S apparaissant dans le modèle économétrique et la description technique, se ramène à la détermination du paramètre le moins bien connu (par exemple l'intensité d'utilisation pour le transport automobile ou encore le chauffage résidentiel ou une catégorie d'appareils mal connue comme celle des "autres appareils", dans l'électricité des ménages),

b) la description technique de la consommation d'énergie est loin d'être satisfaisante ou complète. Nous interprétons alors S en terme d'un modèle technique simplifié, mais dont les paramètres sont des grandeurs générales, représentant les caractéristiques techniques présumées du secteur considéré. Cette démarche est notamment appliquée dans l'industrie.

Nous analysons ces deux cas de façon plus détaillée, dans une application particulièrement simple, où l'on peut caractériser l'équipement technique par un seul type d'appareil, z(t), avec une consommation spécifique η, une fonction de survie β et une intensité d'utilisation α.

L'équation de consommation s'écrit alors:

$$q(t) = \alpha(t) \sum_{t'} \beta(t-t') \eta(t') z(t') \qquad \text{(I-14)}$$

Le cas a) se présente si la description ci-dessus parait techniquement satisfaisante et si tous les paramètres de cette équation sauf un sont, ou raisonnablement connus ou déterminés par les scénarios macro-économiques choisis. On opère dans ce cas l'identification avec les perspectives économétriques en déterminant le paramètre le moins bien connu, par exemple α.

Le cas b) s'analyse schématiquement comme suit. Introduisons une écriture matricielle, par exemple:

$$(\eta\, z) = \begin{pmatrix} \eta(t_1)\, z(t_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta(t)\, z(t) \end{pmatrix}$$

L'équation I-14 s'écrit alors:

$$(q / \alpha) = B\,(\eta\, z)$$

où **B** est la matrice des β (t,t').

On peut montrer que:

$$(\eta\, z) = B^{-1}(q / \alpha)$$

$$= (1 + \Lambda + \Lambda^{2} + \ldots + \Lambda^{t-1})\,(\Delta q / \alpha)$$

$$= A\,(\Delta q / \alpha)$$

$$\text{avec} \quad A = \begin{pmatrix} \lambda(t_1,t_1)\,\lambda(t_1,t_2) & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ & & \lambda(t,t) \end{pmatrix}$$

$$\lambda(t_1,t_2) = \beta(t_1\text{-}1,t_2) - \beta(t_1,t_2)$$

$$(\Delta q / \alpha) = \begin{pmatrix} q(t_1)/\alpha(t_1) \\ q(t_2)/\alpha(t_2) - q(t_1)/\alpha(t_1) \\ \cdots \\ q(t)/\alpha(t) - q(t-1)/\alpha(t-1) \end{pmatrix}$$

En se référant à l'équation I-11, on voit que l'on peut identifier le terme s_t des perspectives économétriques avec le quotient q / α de l'analyse ci-dessus.

La méthode technico-économétrique revient, dans ce cas, à:

- tirer des perspectives économétriques les valeurs futures du paramètre $s_t = q / \alpha$,
- interpréter ces valeurs en terme d'équipement, de loi de déclassement et de consommation spécifique (voir les équations I-14 ou I-16),
- construire des perspectives influencées en modifiant ces paramètres de façon appropriée.

En termes algébriques, un scénario de perspective influencée dans lequel on veut tenir compte d'une amélioration des consommations spécifiques, s'écrit:

$$q(t) = \alpha(t) \sum_{t'} \beta(t,t') \frac{\eta_{mes}(t')}{\eta(t')} A_{t,t'} (\Delta q / \alpha)_{t,t'} \quad \text{(I-22)}$$

Si l'on pose $\eta_{mes} = \eta$ dans l'équation I-22, on retrouve exactement les résultats de l'économétrie.

Cette méthode, comme on le verra ultérieurement, est notamment utilisée pour les secteurs tertiaire et industrie.

Le modèle technico-économique ou bottom-up

Ce modèle consiste à utiliser directement l'équation de consommation d'énergie en extrapolant les grandeurs concernées soit sur la base de paramètres macro-économiques explicitées dans les scénarios, soit sur la base d'hypothèses de nature technique qui doivent alors être justifiées explicitement.

Les perspectives de consommation d'énergie sont notamment préparées en choisissant entre les résultats des différents modèles, et cela selon la ligne directrice suivante :

- dans les cas où les paramètres constitutifs d'un modèle bottom-up sont suffisamment bien connus et fiables, c'est à ce modèle qu'ils ont donnés la préférence (comme par exemple dans les cas de l'électricité dans les ménages ou du transport automobile privé). Les résultats des modèles économétriques sont alors simplement discutés en termes des paramètres les moins bien connus du modèle bottom-up (voir 3.2): Les perspectives influencées sont calculées en modifiant les paramètres du modèle bottom-up en conséquence.

- dans les cas où les paramètres constitutifs d'un modèle bottom-up sont par trop incertains, les perspectives sont alors basées sur les résultats économétriques. Les perspectives influencées sont alors calculées en utilisant un modèle technico-econométrique.

Ces modèles ont été appliqués aux différents secteurs de la demande d'énergie en Suisse.

A titre d'exemple, nous citons le cas de l'industrie.

On appelle souvent "modèle bottom-up du secteur industriel" des modèles qui en fait se contentent d'estimer la variation de l'intensité énergétique dans l'avenir, en utilisant une équation du type:

$$q = \sum q_i = \sum \frac{q_i}{PIB_i} PIB_i \qquad (II.4\text{-}11)$$

où $\frac{q_i}{PIB_i}$ = intensité énergétique de la branche i,

PIB_i = valeur ajoutée de la branche i.

Or l'intensité énergétique est une grandeur difficile à saisir, à comprendre et encore plus à prévoir pour l'avenir; elle est sensible en effet à la fois à des effets techniques, à des changements structurels (changements de types et des proportions de production dans la branche) et enfin à des variations de prix.

Idéalement, un modèle bottom-up de la demande d'énergie du secteur secondaire serait régi par une équation du type:

$$q(t) = q_0(t) + \sum q_i(t) \qquad (II.4\text{-}12)$$

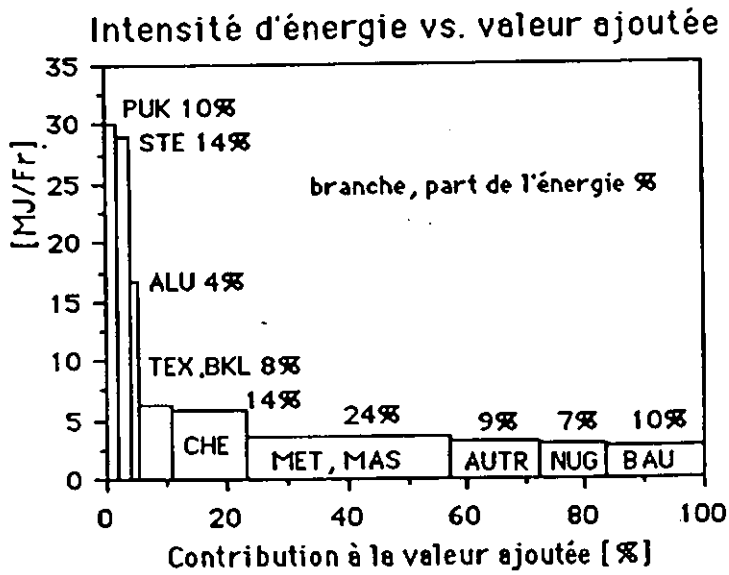
avec :

$q_0(t)$= demande d'énergie de "confort" (climatisation, éclairage...), qui serait donc une fonction du nombre d'employés et des caractéristiques du bâtiment qui abrite les activités,

$q_i(t)$= demande d'énergie pour la fabrication du produit considéré, i, déterminée par la quantité produite en termes physiques et par la consommation spécifique technique du procédé de production.

Cette approche, détaillant la demande d'énergie par *produit* , est concevable dans le cas d'une économie présentant essentiellement des sous-secteurs utilisant des procédés intensifs en énergie, ou dans des économies à marché planifié, ou encore dans des pays en développement où la demande d'énergie peut être fortement influencée par l'implantation d'industries intensives en énergie, telles celles du ciment ou de l'aluminium.

En Suisse, une telle approche est difficilement envisageable, sauf peut-être pour un nombre très limité de sous-secteurs, caractérisés par un produit dont la production nécessite la majeure partie de l'énergie de ce sous-secteur, comme par exemple l'industrie du papier, l'industrie de la "pierre et terre" ou encore de l'aluminium. Comme le montre la figure 461-1, environ 30% de l'énergie est actuellement consommée par ces 3 sous-secteurs:



PUK = papier et carton
STE = pierre et terre
ALU = aluminium (production et transformation)
TEX, BKL = textiles et habillement
CHE = chimie
MET, MAS = métallurgie (sans alu.), machines et appareils
NUG = alimentation, boisson, tabac
BAU = construction
AUT = autres

Ces remarques amènent à considérer non plus un *produit i* et la consommation spécifique de son procédé de fabrication, mais un *groupe i de produits*, le plus homogène possible quant aux consommations spécifiques de leur fabrication et aux évolutions temporelles de ce même paramètre.

En pratique, on est en général amené à se baser sur les *branches industrielles traditionnelles*, pour lesquelles existent un minimum de statistiques et de données. La difficulté de définition de tels groupes et de leurs indicateurs de quantité et d'intensité énergétique, explique en partie la multiplicité et la subséquente difficulté de comparaison des modèles de ce type.

Si l'on définit ainsi un modèle bottom-up en utilisant une désagrégation selon les branches traditionnelles, on est amené à l'écrire, par exemple, de la manière suivante:

$$q(t) = \sum_i \frac{q_i(t)}{y_i(t)} \frac{y_i(0)}{P_i(0)} \left[\frac{P_i(0)}{y_i(0)} \Big/ \frac{P_i(t)}{y_i(t)} \right] \frac{P_i(t)}{PIB_i(t)} \frac{PIB_i(t)}{PIB(t)} PIB(t) \qquad (II.4\text{-}13)$$

où:

$q_i(t)$ = demande d'energie de la branche i

$y_i(t)$ = production en termes techniques

$\frac{q_i(t)}{y_i(t)}$ = consommation spécifique technique

$P_i(t)$ = production en termes monétaires

$\frac{y_i(0)}{P_i(0)}$ = facteur de normalisation

$\left[\frac{P_i(0)}{y_i(0)} \Big/ \frac{P_i(t)}{y_i(t)} \right]$ = indice relatif des prix

$\frac{P_i(t)}{PIB_i(t)}$ = relation entre la production et la valeur ajoutée de la branche i

$PIB(t)$ = valeur ajoutée du secteur

Chacun de ces termes est difficile à évaluer et montre toute la complexité de l'utilisation de tels modèles pour ce secteur [18].

Les limites des modèles utilisés par le GESE sont essentiellement données par la qualité et la disponibilité des données.

Bibliographie et annexes :

- No 18 de la série de publications du GESE, 1988:
  Perspectives de la demande d'énergie en Suisse, 1985-2025.
- No 18 de la série de publications du GESE, 1988:
  Perspectives de la demande d'énergie en Suisse, 1985-2025.
  pp. 145-151.
- Article présenté au symposium "Energy demand analysis", Paris, octobre 1987, organisé par l'AIE.

Genève, le 29 janvier 1991/BG/dm

MODELE DE PRESTATION ENERGETIQUE

B. Saugy, R. Groux, J.-M. Revaz, S. Storelli

CREM, Martigny

1. BUT DU MODELE DE PRESTATION ENERGETIQUE

Ce modèle a été développé pour expliquer la structure de la consommation d'énergie et son évolution à long terme, à l'échelle d'une ville ou d'un ensemble de consommateurs. En outre, il permet à chaque usager de comparer sa consommation à celle de la ville ou de son voisin.

Ce modèle quantifie la demande en terme de prestation par personne et permet ainsi d'envisager des variantes d'évolution technique des procédés énergétiques à long terme.

Pour la prestation de conditionnement des locaux, il est possible d'évaluer l'effet d'un changement d'agent énergétique, comme le passage au chauffage à distance ou l'influence d'une architecture solaire par rapport aux bâtiments actuels ou à une architecture climatisée. Enfin, ce modèle permet d'évaluer l'impact de règlements sur les appareils et les constructions ou la rentabilité énergétique d'une nouvelle infrastructure énergétique urbaine.

2. LOGIQUE DU MODELE DE PRESTATION ENERGETIQUE

Chacun, dans une ville, attend de l'énergie un certain nombre de prestations fondamentales regroupées en:

- Conditionnement des locaux
- Equipement personnel et de production
- Mobilité.

Il attend ces prestations **au domicile** et **en emploi**.

Pour l'équipement personnel, on retrouvera, par exemple, les prestations suivantes:

- Cuisson
- Eclairage
- Conservation des aliments.

Chaque prestation peut être satisfaite de différentes manières, depuis le feu de bois jusqu'au micro-ondes en passant par le grill.

L'éclairage diurne, par exemple, peut être satisfait aussi bien par l'éclairage naturel des locaux que par des ampoules électriques de divers types ou même le rayonnement lumineux d'un chauffage électrique. La conservation des aliments peut, elle, se faire par des garde-manger au frais, des réfrigérateurs, des emballages sous vide ou atmosphère contrôlée.

Les prestations peuvent être quantifiées à l'aide d'un abaque qui prend en compte deux types de grandeur, l'une **extensive** et l'autre **intensive** *(fig. 1 et 2)*.

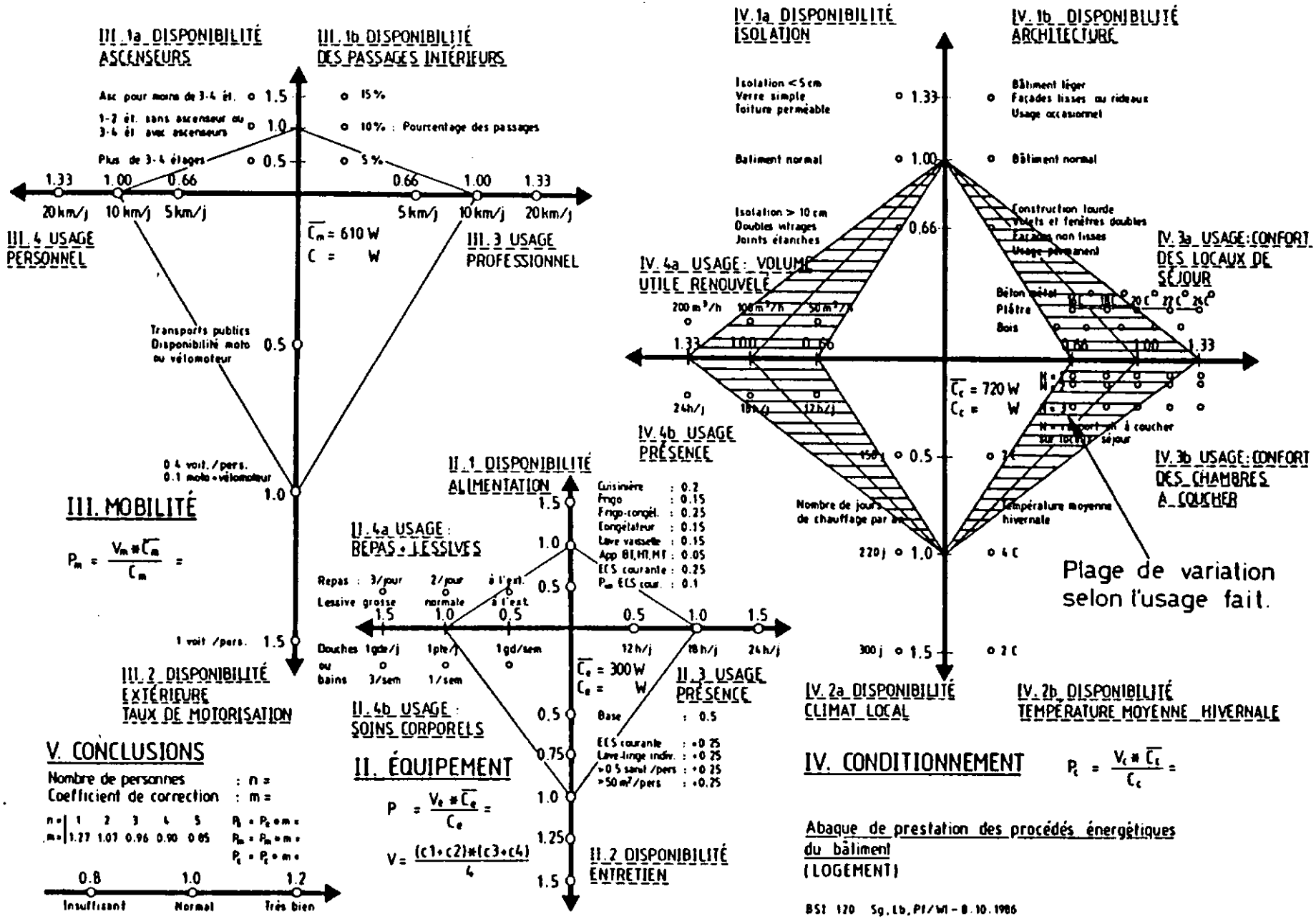
La prestation d'équipement prend en compte l'équipement **disponible** et l'**usage** qui en est fait. Le conditionnement des locaux prend en compte les aspects suivants:

- Grandeurs extensives:
  - Climat local
  - Qualité de l'enveloppe du bâtiment.
- Grandeurs intensives:
  - Températures requises des locaux
  - Renouvellement d'air incluant la surface des locaux par personne et l'usage fait de ces locaux.

La population, la nature des prestations à satisfaire, les paramètres des grandeurs extensibles et intensives sont des paramètres de l'évolution **économique**. Les consommations spécifiques et les coefficients techniques permettent de décrire les évolutions **techniques.**

3. QUANTIFICATION DU MODELE

Le modèle a été conçu pour permettre un processus progressif de quantification et de validation.



CREM	Fig. N° 1 Abaque de prestation BSI	N° 108.150 13 juin 1988 IENEH N° 623.153

p	Nombre de personnes de l'immeuble
cb	Consommation brute = consommation totale par personne

Prestations

T	Conditionnement ou T = ΔT x cs ΔT = Température de consigne intérieure - Température extérieure - Apport de l'enveloppe - Apport de l'équipement
cs	Consommation par personne et par degré
Pd1	Prestation correspondant au pertes en fonction des agents

Pp1	d	Distribution
Pd2	p	Production
Pp2	1	Chauffage
	2	Eau chaude sanitaire

EE	Equipement des logements
EP	Equipement de production

Niveau de prestation *(selon abaque fig. n° 1)*

nPc	Conditionnement des locaux, fonction de l'architecture et de l'isolation, l'utilisation des locaux et le volume par personne
nPe	Equipement des logements
nPp	Equipement des emplois

Volume de prestation

Volume de prestation de l'immeuble

$$V = T \times nPc + \sum Pi + EE \times nPe + EP \times nPp$$

Volume de prestation de la ville

$$Vv = T + Pi + EE + EP$$

Avec comme hypothèse initiale

ΔT = 19°C - T ext. -5°C -2°C = 12°C - T ext.
cs = 70 W / pers. et par C
Pi = 544
EE + EP = 333 W

Le niveau global de prestation de l'immeuble est donné par le rapport V/Vv

Consommation d'immeuble

$$\text{Consommation de l'immeuble} = \frac{\text{Consommation brute}}{\text{Niveau global de prestation}}$$

CREM	Fig. N° 2 Paramètres du modèle de consommatio	N° 108.140 21 mars 1989 Sg / Dr

Le modèle de prestation s'applique à l'échelle d'un appartement, d'un immeuble, d'une ville ou du pays. Comparé à la consommation réelle, il permet d'évaluer la performance des procédés énergétiques mis en œuvre.

Le processus de quantification suit ainsi les cycles suivants:

a. *Etude technique sur les prestations*

   Isolation moyenne, surface de logement par personne. Equipement type. Cette étude est progressivement appliquée aux quatre types d'immeubles pris en compte et aux différents groupes d'activité professionnelle.

b. *Calcul et estimation des coefficients de consommation*

   avec les appareils et équipements actuels sur la base d'études techniques et de la consommation globale du groupe traité.

c. *Relevé manuel ou à l'ordinateur des consommations brutes d'énergie*

   à l'échelle de l'appartement, du bâtiment ou de la ville ainsi que des données météorologiques.

d. *Calcul de la performance des procédés énergétiques*

   Rapport entre le niveau de prestation et la consommation brute.

e. *Analyse explicative*

   du chiffre de performance et recherche d'anomalies dans l'évaluation du niveau de performance ou dans l'isolation du bâtiment ou, encore, dans la régulation ou le rendement de la chaudière.

Les consommateurs qui s'écartent de ce modèle sont progressivement séparés dans le groupe des consommateurs identifiés.

La figure 3 décrit les types de bâtiments pris en compte, les types d'emplois étudiés ainsi que la liste des consommateurs identifiés au stade actuel, à Martigny.

4. VALIDATION

La validation du modèle de prestation se fait à deux niveaux principalement, soit à l'échelle de la Ville et à l'échelle de l'immeuble.

A l'échelle de la **Ville**, les relevés des entrées d'électricité et de gaz par jour, en fonction des températures, l'enquête auprès des gérants et négociants en combustibles fournissent le chiffre de consommation de la Ville, par correction des paramètres météorologiques du modèle de prestation.

Ce chiffre, diffusé sur le téléréseau de Martigny, est recalculé chaque semaine, comme moyenne glissante des 52 dernières semaines; il détecte les évolutions des paramètres de prestation ou de performance des procédés.

La figure 4 compare la consommation de Martigny au modèle pour trois principaux agents de chauffage, soit:

- Electricité (fig. 4.1)
- Gaz (fig. 4.2)
- Chauffage à distance (fig. 4.3).

La figure 4.4 décrit l'évolution des consommations.

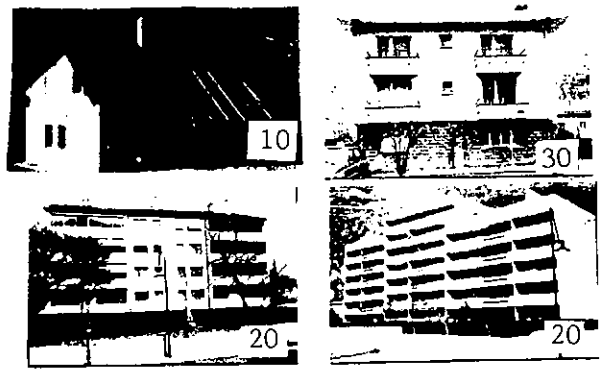
La consommation de gaz, par grand froid, est le double de celle prévue par le modèle. Deux explications sont possibles, soit les bâtiments chauffés au gaz sont petits, mal conçus, mal isolés ou utilisés avec un niveau de prestation exceptionnel; soit le rendement énergétique des chaudières au gaz est très inférieur à celui des chaudières à mazout et anormalement bas.

Les études se poursuivent pour conclure, ajuster le modèle et, probablement, lancer une action pour l'amélioration de ces chaudières.

A l'échelle de l'**immeuble**, le relevé manuel ou la pose d'un **économètre** permet d'afficher en permanence la **consommation d'immeuble** qui est une consommation spécifique normée par le modèle de prestation. Par exemple, la même **consommation brute** donne une consommation d'immeuble **plus élevée** dans un immeuble moderne bien isolé où les usagers disposent de peu de surface par personne que dans une villa mal isolée où les usagers disposent de grandes surfaces et requièrent des températures de confort élevées.

La consommation d'immeuble de Martigny, calculée sur la base du modèle de prestation vu la difficulté de la mesure en temps réel, permet à chacun de comparer sa consommation d'immeuble à celle de la Ville et de voir s'il consomme **mieux** ou **moins bien** que la Ville.

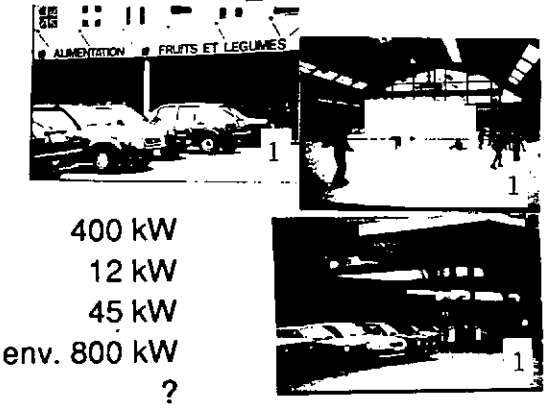
La validation du modèle se fait ainsi par confrontation à des cas pratiques du laboratoire in situ de Martigny. Les usagers évalués par le modèle et dont la consommation se distingue



4 types de logements pour 13682 personnes

11 types d'emplois pour 6400 emplois

14 consommateurs indentifiés



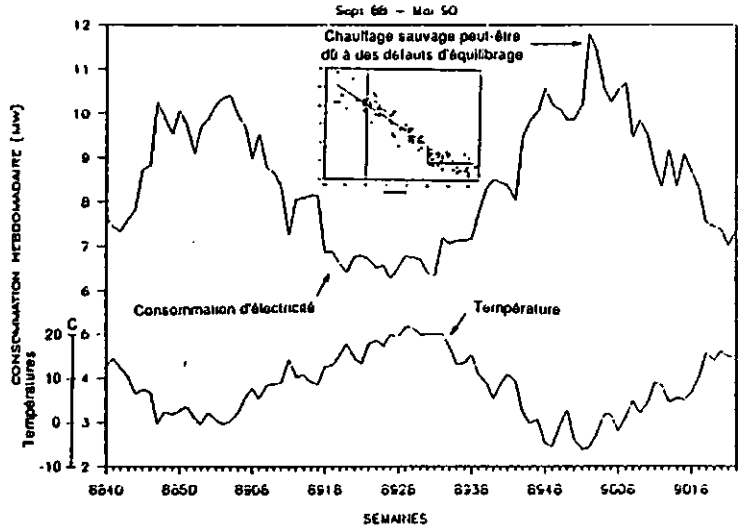
Importation d'énergie

- Gaz
- Electricité
- Mazout
- CAD

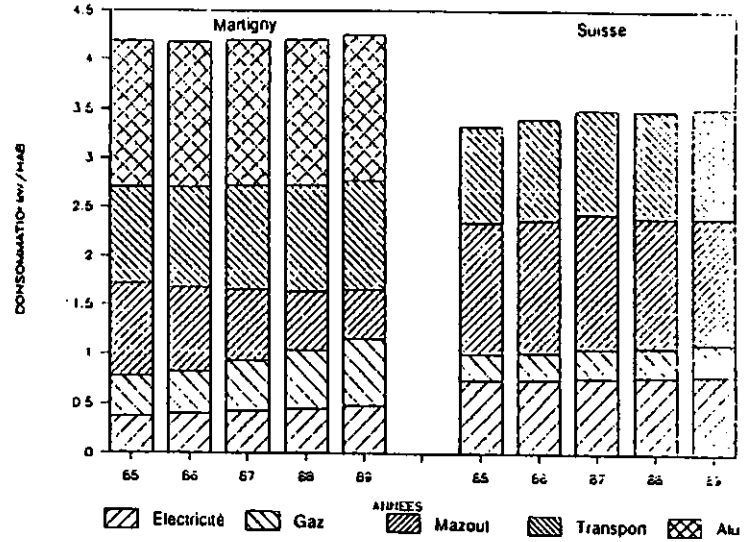
Production endogène annuelle

• Marioty	400 kW
• Eolienne	12 kW
• Diesel sur biogaz de la STEP	45 kW
• Incinération Migros	env. 800 kW
• Récupération Aluminium SA	?
• Générateurs de secours	?

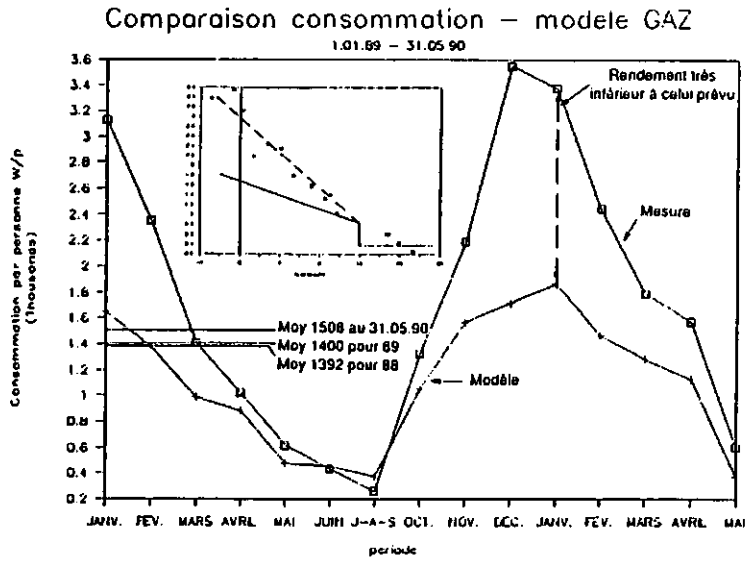
CREM	*Fig. N° 14 Groupes homogènes et implantation des tableaux de bord*	*N° 108.145* *21 mars 1989* *St / Dr*



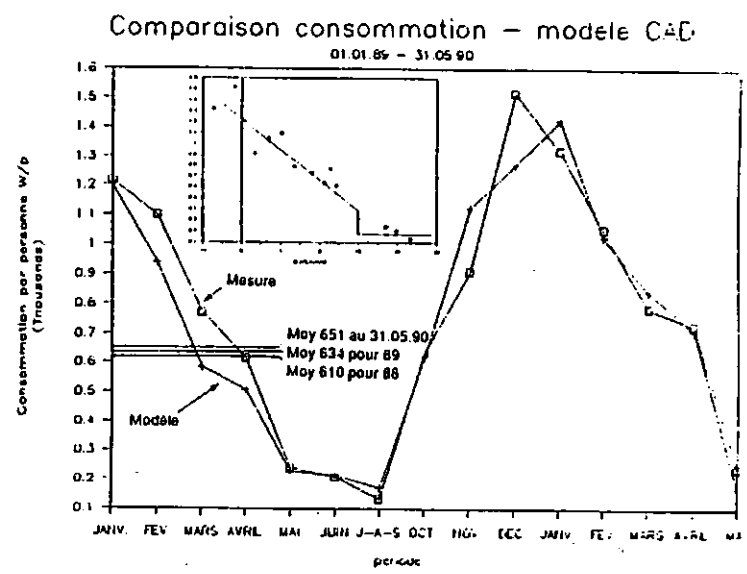
CREM	Fig. N° 4.1 Consommation d'électricité	N° 108 301 2 juillet 1990 Gr / Dr



CREM	Fig. N° 4.4 Consommation d'énergie	



CREM	Fig. N° 4.2 Comparaison consommation, modèle gaz	



CREM	Fig. N° 4.3 Comparaison consommation, modèle CAD	

du comportement qu'ils croient avoir critiqueront ce mdoèle, chercheront à justifier les anomalies constatées, et contribueront ainsi à améliorer progressivement le modèle.

Dans le concept d'urbistique développé à Martigny, la constitution d'une boucle de feedback à l'échelle du bâtiment et de la Ville rend le modèle autoajustable et le calibre progressivement jusqu'au niveau le plus fin.

5. MISE EN ŒUVRE

Le modèle est simple d'usage pour un immeuble, une ville ou un pays. Par contre, le traitement des consommateurs identifiés et le processus d'autocalibrage requièrent un équipement ou une méthode adéquate.

Le modèle a été conçu et est continuellement perfectionné pour maintenir les trois niveaux d'intervention suivants:

- *Mise en œuvre manuelle pour un immeuble ou la ville*
  - Relevé sur une période d'une semaine ou d'un an des consommations brutes
  - Evaluation des niveaux moyens de prestation devenant très rapide avec un peu d'expérience
  - Calcul des performances et explication logique de la valeur trouvée.
- *Suivi en temps réel de l'échantillon et des immeubles équipés*
  - Ordinateur de mesure dans l'appartement, le bâtiment ou la ville, pour la consommation et les paramètres météorologiques
  - Procédure de paramétrage des paramètres du niveau de prestation
  - Calcul et affichage de la consommation d'immeuble.
- *Intégration à l'échelle de la ville*
  - Description des consommateurs par le fichier des bâtiments
  - Traitement de la facturation des agents de réseau et collecte des données complémentaires
  - Autoajustage des modèles de prestation
  - Modèles de propagation des réseaux ou de concurrence entre procédés ou agents énergétiques.

Notons que ce modèle a été mis en œuvre dans de nombreuses analyses ponctuelles ou à l'échelle des communes, dans les phases manuelles, sur la base de la population, d'une structure indicative d'emplois et de dix à vingt consommateurs identifiés.

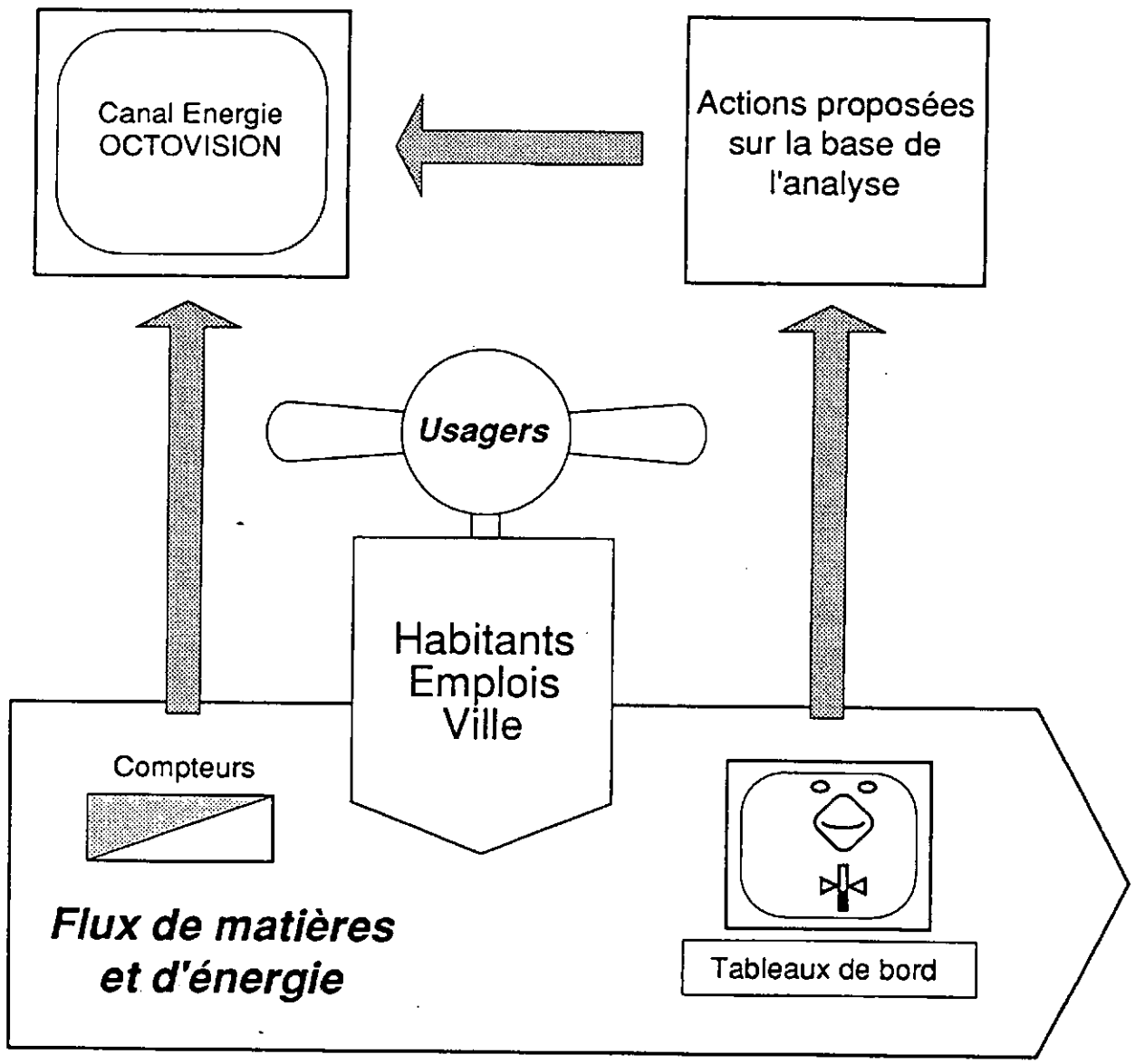
6. APPLICATIONS

Ce modèle sous-tend de longue date nos activités en matière énergétique.

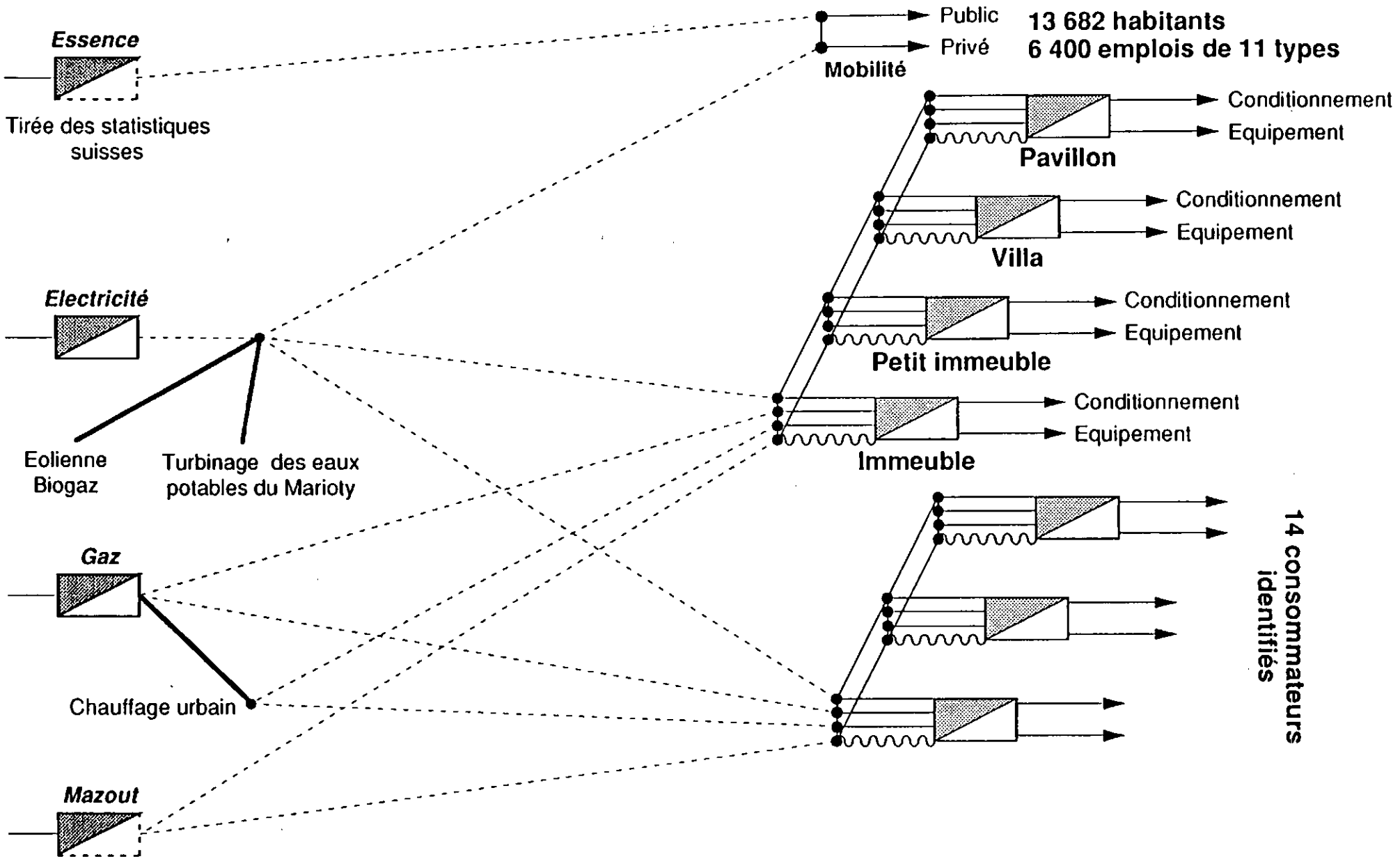
- **Analyse** énergétique d'immeubles ou de complexes administratifs (EPFL, entreprises, bâtiments).
- Evaluation de la **rentabilité** du projet de chauffage urbain de Martigny, maintenant réalisé.
- Optimisation technique et économique du chauffage urbain de La Chaux-de-Fonds.
- Etude et proposition de nouveaux **tarifs** et de nouvelles structures tarifaires.
- Support du projet **Dialogue Energétique** visant à évaluer le potentiel d'économies d'actions à l'échelle de la ville *(fig. 5)*.
- Evaluation du rôle des **ressources endogènes**, chauffe-eau solaire, turbinage de l'eau potable, biogaz et éolienne de la station d'épuration.
- Evaluation d'interventions de la Confédération pour l'**étiquetage** ou la **normalisation** des consommations.
- Base d'un concept de **tarification dynamique** pour l'optimisation des infrastructures énergétiques urbaines.
- Outil de conception d'un **scénario** d'abondance fournissant une prestation comparable à celle résultant de la construction d'une nouvelle centrale nucléaire.
- Support conceptuel du système de gestion intégrée des infrastructures urbaines (projet SYSURB) utilisant la **conduite en temps réel** des infrastructures ainsi que leur **cadastrage** pour **planifier** son extension et son développement. *(fig. 6)*

7. LIMITES DE LA METHODE

Le modèle de prestation couple l'analyse technique fine et les données globales à l'échelle d'un bâtiment, d'une ville ou d'un pays. Si les systèmes d'information du territoire et l'urbis-



CREM	Fig. N ° 5 Opération "Dialogue Energétique"	N° 108.292 26.juin 1990 Sg / Dr



CREM	*Fig. N ° 6 Modèle de prestation énergétique avec mesure de consommation*	N° 108.350 1 octobre 1990 Sg / Dr

tique permettent progressivement d'assurer la cohérence des données, l'approche manuelle partielle peut être fastidieuse pour un utilisateur manquant d'intuition dans le choix des paramètres essentiels.

Les études entreprises pour intégrer les grandeurs régissant le niveau de prestation dans un modèle économique cohérent n'ayant pas été poursuivies faute de crédit, il importe de consacrer beaucoup d'attention à la construction des scénarios à long terme pour éviter des incohérences économiques et pour suivre l'effet des fluctuations économiques.

8. BIBLIOGRAPHIE

1. B. Saugy, *«Energie nouvelle ou nouveaux procédés énergétiques»*, IENER-EPFL, N601.123, décembre 1981.

2. B. Saugy, *«Abaques de prestations et performances des procédés énergétiques du bâtiment»*. Rapport d'étude pour l'OFEN dans le cadre du projet IEA Energy Audit. BSI, juin 1984.

3. B. Saugy, M. Hitz, *«Procédés énergétiques et Banques de données. Base d'une nouvelle statistique»*. Exposé présenté à l'assemble annuelle de la Société suisse de statistique et d'économie politique, Genève, mai 1984. IENER-EPFL N601.137, avril 1983.

4. B. Saugy, E. Gnansounou, *«Modélisation du stockage dans l'offre de prestation énergétique»*, Texte présenté au 6e Séminaire sur la modélisation des systèmes énergétiques, Lausanne 16-17 juin 1983. Publication Bibliothèque Centrale EPFL N° 218, 1983.

5. B. Saugy, J.-M. Revaz, P. Pralong et ai, *«Bilan intermédiaire de la préparation du Dialogue Energétique»*. CREM n° 108.042, mars 1989.

6. P. Pralong, *«Résultats de l'analyse du suivi d'un parc de 140 bâtiments raccordés au chauffage à distance»*. Texte présenté au Workshop sur les systèmes de conduite des immeubles, à Zurich. CREM n° 103.002, octobre 1986.

7. L. Dubal, B. Saugy, *«Sélection des bâtiments pour un diagnostic énergétique instrumenté»*. IEA Task XI, 2nd International Congress on Building Energy Management, AMES, IOWA (USA). IENER, Lausanne, N615.101, mai 1983.

8. B. Saugy, M. Gay, J.-M. Revaz et al, *«Contrôle des consommations à l'échelle d'une ville»*. Texte présenté au 6e Séminaire sur l'état de la recherche «Energie dans le bâtiment», Zurich, 5 et 6 septembre 1990. CREM, n° 108.065, septembre 1990.

MODELISATION ECONOMETRIQUE DE LA DEMANDE D'ENERGIE EN SUISSE, ET A GENEVE: BILAN ET PERSPECTIVES

Fabrizio Carlevaro, Jean-Luc Bertholet,

Jean-Paul Chaze, Charles Spierer

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie

Université de Genève

1. Buts

Une activité de modélisation économétrique de la demande d'énergie s'est développée à l'Université de Genève au cours des années soixante-dix. Ces travaux ont pris naissance au Département d'économétrie mais ils se sont vite intégrés à l'activité interdisciplinaire du CUEPE pour se déployer en syntonie avec l'approche technico-économique en matière d'évaluation des possibilités d'économies d'énergie.

La modélisation a débuté par la demande d'électricité dans le canton de Genève, dans le cadre d'un mémoire de diplôme (Spierer (1976); Carlevaro et Spierer (1978)), mais elle s'est épanouie en abordant la demande d'énergie en Suisse, pour les besoins de la politique fédérale en matière d'énergie (Carlevaro et Spierer (1983)).

Plusieurs générations de modèles économétriques ont ainsi vu le jour, dans le but principal de répondre aux besoins de la **prospective en matière de consommation énergétique** mais aussi pour **analyser les déterminants historiques** de cette consommation (Carlevaro, Chaze et Spierer (1987) ou encore pour **définir des politiques de tarification de l'énergie** favorisant l'efficacité économique (Laplanche, Mirlesse, Royer et Weber (1982); Spierer et Wood (1986)).

2. Logique

La modélisation s'est faite suivant deux logiques différentes.

L'une spécifie les fonctions de demande pour les produits énergétiques d'après la théorie microéconomique du producteur et du consommateur. Ainsi, la demande d'énergie des producteurs découle du choix simultané des facteurs de production nécessaires à réaliser un niveau de production planifié, étant entendu que ce choix est le plus

économique, c'est-à-dire celui qui minimise le coût de production. De façon analogue, la demande d'énergie des ménages est issue de l'allocation du revenu qu'ils consacrent à la consommation, entre plusieurs biens et services substituables, cette allocation étant réalisée de façon à maximiser la satisfaction (utilité) des ménages. Cette démarche, assure une cohérence formelle des effets de substitution par les prix entre formes d'énergies, d'une part, et entre l'énergie et les autres facteurs ou produits, d'autre part. Elle a été appliquée par Spierer (1982, 1984) et par Wood et Spierer (1987) pour expliquer les parts de chaque agent énergétique dans la dépense totale d'énergie de l'industrie en fonction des prix relatifs des énergies.

L'autre approche envisage l'énergie comme un produit sui generis, en ce sens qu'elle prend formellement en considération l'équipement sans lequel aucune énergie n'est consommée. Elle considère que cet équipement n'est pas modifiable immédiatement et que, partant, la consommation d'énergie ne peut varier à court terme que par le biais d'un changement de son degré d'utilisation. A long terme, en revanche, on pourra adapter le niveau de l'équipement ou changer ses performances énergétiques. Ainsi, il apparait une distinction entre les facteurs d'environnement de la demande d'énergie, qui n'est pas présente dans la première logique:

- ceux qui affectent le degré d'utilisation de l'équipement ont un impact immédiat; ce sont des **facteurs de court terme**;
- ceux qui entraînent une modification quantitative ou technique du parc d'équipements agissent avec un retard plus ou moins long, qui dépend de la complexité des mécanismes d'obsolescence du capital et d'investissement; ce sont des **facteurs de long terme.**

L'application de cette logique s'est faite d'abord en adoptant trois hypothèses simplicatrices:

- on a spécifié la demande pour chaque produit énergétique indépendamment de celle pour les autres;
- on a exprimé le parc des équipements au moyen d'un agrégat sans préciser les rôles respectifs joués, dans cet agrégat, par la qualité énergétique des équipements et par leur capacité à produire des services énergétiques;

- on a simplifié la représentation du mécanisme de déclassement des équipements et d'investissement en le ramenant à un simple mécanisme d'ajustement partiel à un hypothétique "stock désiré" ou "marché potentiel" d'équipements.

Ces hypothèses conduisent à des spécifications très souples, autorisant la représentation des spécificités de la demande de chaque forme d'énergie, faciles à estimer et à utiliser (Carlevaro et Spierer (1983)). Elles ont permis de réaliser un modèle de la demande annuelle d'énergie en Suisse, par agent énergétique et par catégorie de consommateur, ainsi qu'un modèle semestriel de la demande d'électricité. Les facteurs explicatifs de court et de long terme, retenus dans la version la plus récente du premier de ces modèles (Spierer (1988)) sont présentés dans les tableaux 1.

Des variantes qui renoncent aux hypothèses simplificatrices que l'on vient d'énoncer ont été développées au plan formel (Carlevaro et Giovannini (1984); Carlevaro (1988). Elles s'avèrent complexes et elles font appel à un type d'information qui n'est pas encore disponible. De ce fait, leur utilisation, dans le cadre d'une approche entièrement économétrique, n'a pas encore été possible.

Une variante qui introduit explicitement la qualité énergétique des équipements, tout en conservant les deux autres hypothèses simplificatrices, a été expérimentée avec succès pour modéliser la demande annuelle d'électricité à Genève (Carlevaro et Bertholet (1990)). Il est envisagé de l'utiliser dans le cadre d'un projet de révision du modèles de la demande annuelle d'énergie pour la Suisse.

3. Quantification

Tant les modèles pour la Suisse que les modèles pour le canton de Genève ont été estimés à l'aide de séries chronologiques dont la plupart remonte à 1960. Il s'agit, pour l'essentiel, de données issues de publications officielles. Les sources et les ajustements éventuels apportés aux données officielles sont discutés dans les publications qui présentent les modèles.

L'estimation des coefficients figurant dans les équations des modèles a été réalisée par des méthodes économétriques conventionnelles: les moindres carrés, dans le cas de modèles à une seule équation, la méthode du maximum de vraisemblance ou une méthode

d'Aitken réalisable, pour les modèles à plusieurs équations liées.

Relevons que les modèles dans lesquels figure un agrégat de l'équipement consommateur d'énergie dont l'observation statistique n'est pas disponible ont été estimés dans leur "forme finale", c'est-à-dire d'après une formalisation où cette variable est éliminée. Une telle formulation du modèle a été qualifiée de **spécification à équipement latent**.

4. Validation

Suivant la démarche économétrique conventionnelle, on a envisagé une double validation empirique du modèle:

- d'après les données de la période d'estimation;
- d'après de nouvelles données, au fur et à mesure qu'elles sont publiées.

La première validation sert à déterminer les facteurs explicatifs empiriquement pertinents dans l'ensemble des facteurs explicatifs admissibles ainsi que la forme fonctionnelle à retenir parmi celles que l'on juge plausibles a priori. Cette validation a été fondée:

- sur des tests statistiques de signification des coefficients d'impact des facteurs explicatifs, étant entendu que les facteurs dont le coefficient d'impact estimé n'a pas le signe attendu sont écartés;
- sur la comparaison de la mesure de la qualité de l'ajustement de chaque spécification fournie par le "coefficient de détermination corrigé" calculé tant sur le niveau de la variable expliquée, que sur sa variation annuelle ou trimestrielle;
- sur le test d'indépendance dans le temps des "résidus" de l'estimation fondé sur la statistique classique de Durbin-Watson afin de détecter d'éventuelles erreurs de spécification du modèle.

La seconde validation sert à corroborer le bien fondé des modèles ainsi formulés, chaque fois qu'une nouvelle application est envisagée. Cette validation a été fondée sur l'analyse des erreurs de prévision ex-post définis comme les écarts entre les prévisions réalisées en utilisant les observations des facteurs explicatifs publiées après la mise au point du modèle et les observations correspondantes des consommations d'énergie prévues, également disponibles. L'analyse de

ces écarts constitue un critère de validation empirique du modèle plus exigeant que le critère d'adéquation aux données de la période d'estimation.

La confirmation, par cette démarche, de l'aptitude d'un modèle à prévoir, se fonde sur la concordance de l'ampleur et de la stochasticité des erreurs de prévision ex-post avec les erreurs d'adéquation du modèle aux données de la période d'estimation, appelés **résidus**. Pour juger rigoureusement de cette concordance, un test de "stabilité structurelle" du modèle à équipement latent, fondé sur une probabilisation des erreurs de prévision ex-post, a été développé par Chaze (1985). L'application de ce test a permis de déceler les équations exigeant une révision.

5. Mise en oeuvre

Pour la réalisation et l'utilisation des modèles à équipement latent plusieurs logiciels ont été réalisés:

- un logiciel d'estimation, NRJ (Spierer et Chaze (1985));
- un programme de simulation de l'évolution future de la consommation d'énergie, SIMUL;
- un programme d'analyse historique des déterminants de la consommation d'énergie, EVOL (Carlevaro, Chaze et Spierer (1987));
- un logiciel convivial de simulation et d'analyse historique de la consommation d'énergie, SIM-NRJ, mis au point sur micro-ordinateur compatible IBM à partir des programmes SIMUL et EVOL (Carlevaro, Bertholet, Chaze, Fontaine, Gilli et Spierer (1989)). Ce logiciel comporte une bibliothèque comprenant tous les modèles annuels à équipement latent pour la Suisse réalisés à ce jour et une base de données comportant toutes les données statistiques relatives à ces modèles.

Un logiciel analogue est en préparation pour la simulation et l'analyse historique de la demande d'électricité à Genève.

6. Applications

Les applications réalisées à l'aide des modèles économétriques élaborés à l'Université de Genève sont nombreuses et variés. Elles couvrent les trois domaines d'application principaux que l'on reconnait aux modèles économétriques.

- **L'analyse explicative de l'évolution de la consommation d'énergie.**

  Par ce type d'analyse on s'est attaché, principalement, à mesurer le degré de concurrence économique (par les prix) entre formes d'énergie ainsi qu'entre l'énergie et les autres facteurs de production ou produits (économies d'énergie).
  Plus généralement, les modèles économétriques se prêtent à une décomposition de la demande d'énergie selon les facteurs explicatifs que l'analyse historique a permis de mettre en évidence. Comme le montre le tableau 1, ces facteurs sont d'ordre économique (niveau d'activité économique, prix), démographique et climatique. La contribution des facteurs techniques n'est pas mesurée directement mais expliquée par les facteurs précédents. Un tel schéma de décomposition a été mis au point dans le but d'étayer scientifiquement l'analyse de l'évolution annuelle de la consommation d'énergie que l'Office fédéral de l'énergie présente dans son communiqué de presse qui accompagne la publication annuelle des valeurs de la statistique énergétique (Carlevaro, Chaze et Spierer (1987)).

- **La prévision de la consommation d'énergie.**

  De nombreuses prévisions "non influencées" de la demande d'énergie ont été réalisée pour les besoins de la politique énergétique fédérale et de la planification des investissement des producteurs d'électricité, notamment pour:

  - la décision d'octroi de l'autorisation générale pour la centrale nucléaire de Kaiseraugst soumise au Conseil fédéral en 1979;
  - la votation fédérale sur les deux initiatives "anti-atomiques" de 1981;
  - l'élaboration des perspectives d'approvisionnement de la Suisse en électricité de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité (UCS) publiées en 1987 (Setième «Rapport des dix»);
  - l'élaboration des scénarios exposant les préalables, les possibilités et les conséquences d'un abandon de l'énergie nucléaire, publiés en 1988 par le Groupe d'Experts Scénarios Energétiques (GESE) mis sur pied par le DFTCE.
  - l'élaboration de scénarios d'émission de CO_2 en préparation à l'Office fédéral de l'énergie.

Des prévisions «non influencées» de la demande d'électricité à Genève sont en préparation dans le cadre de l'élaboration du plan directeur des énergies de réseaux prévu par la nouvelle loi cantonale de l'énergie.

- **L'évaluation de l'efficacité des politiques énergétiques.**

  L'introduction de coefficients d'efficacité énergétiques dans le modèle économétrique a permis d'évaluer les économies d'énergies réalisables par l'introduction de diverses normes ou mesures touchant les appareils et les installations (voir la contribution de B. Giovannini).

  On a également simulé l'impact de politiques tarifaires ou fiscales visant à stabiliser ou à réduire la demande de produits pétroliers et la demande d'électricité.

7. Limites

Les limites des modèles économétriques de la demande d'énergie élaborés à l'Université de Genève sont celles propres à l'approche économétrique:

- l'accent mis sur les facteurs explicatifs quantifiables au détriment des facteurs qualitatifs;
- l'arbitraire inhérent au choix des formes fonctionnelles et des facteurs explicatifs potentiels;
- la méconnaissance de la précision des données statistiques utilisées et, partant, de celle des coefficients estimés et des prévisions que l'on en tire;
- la nature globale et simplifiée des justifications théoriques qui rend difficile l'interprétation concrète des résultats et délicate l'intégration d'informations externes, relatives à des mécanismes qui n'ont pas ou peu opéré dans le passé.

Certes, ces limites semblent incontournables mais elles peuvent être repoussées tant par une meilleure utilisation de l'information statistique disponible, non encore entièrement exploitée, que par une formalisation plus analytique des mécanismes de formation de la demande d'énergie. En particulier, une estimation économétrique des modèles proposés par Carlevaro et Giovannini (1984) pour rendre compte, explicitement, du rôle joué par l'efficacité énergétique des équipements et par le rythme de leur déclassement, constituerait un

progrès important. Nos efforts se poursuivent actuellement dans cette direction.

8. Bibliographie

Carlevaro, F. et C. Spierer (1978), "Analyse économétrique de la demande d'électricité dans le canton de Genève", *Bulletin ASE/UCS*, 69(23), pp. 1251-1255.

Carlevaro, F. et C. Spierer (1983), "Dynamic Energy Demand Models with Latent Equipment", *European Economic Review*, 23(2), pp. 161-194.

Carlevaro, F. et B. Giovannini (1984), "A Vintage Energy Demand Model", dans *Energy and Environmental Systems*, éd. par M.H. Hamza, Acta-Press, Anaheim-Calgary-Zürich.

Carlevaro, F. et C. Spierer (1987), Modélisation économétrique et perspectives de la demande saisonnière d'électricité en Suisse, Série de publications du CUEPE N° 30, Université de Genève.

Carlevaro, F., J.-P. Chaze et C. Spierer (1987), "Les déterminants de l'évolution annuelle de la consommation d'énergie en Suisse", *Revue suisse d'Economie politique et de Statistique*, 123(1), pp. 1-22.

Carlevaro, F. (1988), "Competitive Technologies, Equipment Vintages and the Demand for Energy", dans *International Commodity Market Models and Policy Analysis*, éd. par O. Guvenen, Kluwer Academic Press, Dordrecht.

Carlevaro, F., J.-L. Bertholet, J.-P. Chaze, P. Fontaine, M. Gilli et C. Spierer (1989), SIM-NRJ. Manuel d'utilisation. Version 1.0., Série de publications du CUEPE N° 36, Université de Genève.

Carlevaro, F. et J.-L. Bertholet (1990), Un modèle économétrique de la demande d'électricité pour le canton de Genève, CUEPE, Université de Genève, en préparation.

Chaze, J.-P. (1985), "Forecast Accuracy with Nonlinear Regression Models", Cahier 85.04, Département d'économétrie, Université de Genève.

Laplance, B., D. Mirlesse, D. Royer, C. Spierer, L. Weber (1982), "Régulation de la demande de produits pétroliers: le cas de la Suisse", *Revue suisse d'Economie politique et de Statistique*, 1982(4), pp. 369-391.

Spierer, C. (1976), La demande d'électricité dans le canton de Genève (1957-1974), Mémoire de diplôme en économétrie, Université de Genève.

Spierer, C. (1982), *La demande d'énergie en Suisse*, Editions Droz, Genève.

Spierer, C. (1984), Interfuel Substitution and Concavity Constraints, Cahier 84.06, Département d'économétrie, Université de Genève.

Spierer, C. avec la collaboration de J.-P. Chaze (1985), Le programme NRJ pour l'estimation de modèles de demande dynamiques à équipement latent: Description et manuel d'utilisation, Cahier 85.07, Département d'économétrie, Université de Genève.

Spierer, C. et D. Wood (1986), Constraintes d'approvisionnement et consommation industrielle d'énergie, Conférence mondiale de l'énergie.

Spierer, C. (1988), Modélisation économétrique et perspectives à long terme de la demande d'énergie en Suisse, Série de publications du Groupe d'experts scénarios énergétiques, N° 17, OCFIM, Berne.

Wood, D. et C. Spierer (1987), Modeling Swiss Industry Interfuel Substitution in the Presence of Gas Supply Constraints, Cahier 87.01, Département d'économétrie, Université de Genève.

Tableau 1

FACTEURS EXPLICATIFS DU MODELE ANNUEL DE LA DEMANDE D'ENERGIE EN SUISSE

Catégorie de consommateurs	Facteurs explicatifs de l'évolution du parc d'équipements	Facteurs explicatifs de l'évolution du taux d'utilisation du parc d'équipements
A. Electricité		
Industrie	Indice de la production industrielle épuré du secteur "eau, gaz, électricité"	Indicateur de sous-utilisation du potentiel de production de l'industrie
	Prix réel de l'électricité	
	Prix réel du gaz	
Ménages (sans chauffage électrique)	Dépenses réelles des consommateurs	Intensité de froid
	Population résidente moyenne	Consommation d'électricité pour le chauffage électrique
	Prix réel de l'électricité	
	Prix réel du gaz	
Artisanat, agriculture et services (sans chauffage électrique)	Produit intérieur brut réel de l'artisanat, de l'agriculture et des services	Indicateur de sous-utilisation du potentiel de production de l'artisanat de l'agriculture et des services.
Chauffage électrique	Bâtiments unifamiliaux construits	
	Prix réel de l'électricité pour le chauffage, retardé d'une année	
	Prix réel du gaz, retardé d'une année	
Transports	Produit intérieur brut réel de l'industrie	
		Intensité de froid

Tableau 1 (suite)

Catégorie de consommateurs	Facteurs explicatifs de l'évolution du parc d'équipements	Facteurs explicatifs de l'évolution du taux d'utilisation du parc d'équipements
B. Produits Pétroliers		
Combustibles liquides - industrie	Produit intérieur brut réel de l'industrie	Prix réel de l'huile de chauffage lourde
	Prix réel de l'huile de chauffage lourde	Prix réel de l'électricité
	Prix réel du charbon	Intensité de froid
		Indicateur de sous-utilisation du potentiel de production de l'industrie
Combustibles liquides - ménages, artisanat, agriculture et services	Revenu réel disponible	Intensité de froid
	Prix réel de l'huile de chauffage extra-légère	
	Prix réel de l'électricité	
Essence	Parc suisse de véhicules à essence(1)	Prix réel de l'essence
	Entrées de voitures: trafic ouvrier(1)	Taux de change lire italienne/franc suisse
	Entrées de voitures: trafic voyageur(1)	
Carburant Diesel	Parc suisse de véhicules à moteur Diesel(1)	Prix réel du carburant Diesel
	Entrées d'autocars étrangers(1)	Indicateur de sous-utilisation du potentiel de production

(1) Variable d'équipement.

Tableau 1 (suite)

Catégorie de consommateurs	Facteurs explicatifs de l'évolution du parc d'équipements	Facteurs explicatifs de l'évolution du taux d'utilisation du parc d'équipements
Carburant d'aviation	Passagers sur vols de ligne et à la demande	Taux de change deutsch mark/franc suisse
C. Gaz		
Industrie	Prix réel de l'huile de chauffage lourde Prix réel du gaz	
Ménages, artisanat, agriculture et services	Bâtiments unifamiliaux construits Logements rénovés Prix réel de l'huile de chauffage extra-légère Prix réel du gaz	Intensité de froid
D. Combustibles solides		
Charbon - industrie	Prix réel de l'huile de chauffage lourde Prix réel du charbon	
Charbon - ménages, artisanat, agriculture et services		Intensité de froid
Bois - ménages, artisanat, agriculture et services.	Prix réel du bois Prix réel de l'huile de chauffage extra-légère	Prix réel du bois Prix réel de l'huile de chauffage extra-légère

SYNTHESE DES CONTRIBUTIONS ECRITES

Charles Spierer[1]

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie
Université de Genève

La tâche qui m'a été confiée est difficile. Il s'agit dans un temps que nous avons voulu court de présenter 8 papiers, qui ne portent pas sur un sujet parfaitement identique et structuré de la même manière, mais qui examinent des thèmes différents. L'idée première a été d'essayer de les regrouper en fonction des thèmes généraux qu'ils traitent. La tâche est cependant délicate. J'ai dû me borner à les répartir en 5 groupes différents: le recueil et le traitement de données, l'analyse du changement dans l'utilisation de l'énergie, l'analyse technique (bottom up), l'analyse technico-économétrique, l'analyse économétrique "pure". Comme certains papiers ne tiennent pas dans une catégorie seule, j'ai dû procéder à des recoupements. J'y reviendrai et je présenterai chacun des papiers dans ses éléments essentiels. En particulier, j'essayerai de préciser comment ils s'insèrent dans le thème général de la journée "modèles d'aide à la décision en matière de politique énergétique suisse", et plus spécifiquement quelle est leur contribution à l'aide à la décision.

A. Recueil et traitement des données (textes de MM. Huber et Stäger et de M. Wick)

M. Huber et **M. Stäger** présentent un logiciel qui permet de gérer l'information. C'est un outil informatique de traitement et mise au point de données. Il permet également de faire de la simulation.

M. Wick est connu depuis de nombreuses années pour ses études sur les indices énergétiques, qui servent en premier lieu à évaluer la consommation d'énergie des bâtiments.

[1] Transcription vérifiée par l'auteur

Je rappelle que ce type d'indice est un indicateur de la quantité d'énergie consommée par m^2 chauffé ou utile. Il permet donc d'apprécier du point de vue énergétique la qualité globale du bâtiment et de son système énergétique. L'utilisation de ces indices a été aussi développée pour servir de valeurs cibles lors de constructions ou de rénovations. Là on constate un progrès considérable, au sens où le décideur peut, à partir des données recueillies et des connaissances techniques disponibles prendre position sur les objectifs qui devraient être atteints dans une construction nouvelle ou une rénovation.

Il s'agit donc d'un pas essentiel par rapport aux visions précédentes où l'on s'intéressait par exemple au coefficient k, au coefficient de déperdition d'une fenêtre, d'un mur, etc...

Il s'agit d'un concept global. Le constructeur ou le rénovateur pourra faire ses choix pour déterminer comment atteindre ce but le plus économiquement possible. Dans l'analyse de l'évolution de ces indices pour un ensemble de bâtiments, M. Wick aboutit à la conclusion que peu de bâtiments ont vu des réductions importantes de l'indice et beaucoup une réduction faible. Il s'agit d'un point qu'il faudrait reprendre dans la discussion.

B. Analyse du changement dans l'utilisation de l'énergie (texte de Mme Antille)

Il s'agit de déterminer à partir d'observations statistiques l'influence de différents facteurs qui ont contribué à des variations dans l'utilisation de l'énergie. On constate que la consommation de chaque agent énergétique a évolué d'une certaine manière, et l'on se pose la question de savoir comment cela s'explique et quels ont été les différents facteurs qui y ont contribué. **Mme Antille** procède à une décomposition de ces effets entre ceux qui résultent de modifications dans la demande finale, ceux qui résultent de modifications de besoins directs et indirects en inputs de production et ceux qui résultent de modifications des coefficients d'utilisation des agents énergétiques dans les différentes branches. Cet outil d'analyse a été appliqué dans plusieurs pays mais il n'a pas encore pu l'être en Suisse. Il faut souligner qu'il apporte une description du phénomène et non une explication au sens de la causalité.

C. Analyse technique (bottom up) (textes de M. Aebischer et de M. Knoepfel)

Le papier de **M. Aebischer** vise à mieux comprendre l'évolution de la consommation d'électricité en ville de Zürich. Dans cette perspective, il analyse ici en détail l'évolution de différentes branches du secteur des services, à travers en particulier le nombre d'utilisateurs, la consommation par employé et en essayant de descendre aussi "bottom" que possible. Il s'agit là d'un aspect qui est essentiel dans l'évaluation des besoins énergétiques et dans les outils que l'on utilise. On constate que plus l'on traite la consommation à un niveau agrégé, plus l'on dispose de données sur lesquelles on peut fonder l'analyse, moins on saisit la réalité de chacun des processus de consommation. Au contraire, plus l'on cherche à descendre au niveau de chacun des processus et des utilisateurs, plus l'on est précis, mais plus le problème devient gigantesque et plus difficilement il peut être traité. Il y a donc un optimum à trouver dans le degré de désagrégation. Pour M. Aebischer, l'objectif a été d'améliorer les connaissances sur les appareils de consommation et sur leur utilisation ainsi que d'analyser les relations entre facteurs techniques et économiques. Le problème clé auquel il a été confronté a été celui de trouver les données nécessaires. Une fois l'analyse réalisée, elle peut être utilisée pour prévoir les tendances de la consommation dans le secteur des services.

Le rapport de **M. Knoepfel** cherche, à partir d'exemples concrets dans le secteur de l'industrie, à évaluer les possibilités et les limites des économies d'énergie dans les processus industriels. On est là au coeur d'un débat qui a beaucoup occupé ceux qui ont cherché à évaluer les besoins énergétiques futurs de la Suisse. De nouveau, on peut essayer de quantifier les potentialités des économies d'énergie de manière globale ou en descendant au niveau des processus, pour voir ce qu'on peut vraiment économiser et ce qu'il est raisonnable d'attendre à partir des technologies connues. Il s'agit d'une analyse des technologies pouvant apporter une contribution significative à la réduction de la consommation d'énergie dans les prochaines 20 années. Le problème majeur

a été celui de recueillir l'information nécessaire. M. Knoepfel a évalué le potentiel d'économie par des mesures techniques dans les branches intensives en énergie. Les limites – qui ont été soulignées par l'auteur même – résident dans le problème de l'exhaustivité. D'une part on ne peut pas englober tous les effets des progrès techniques, car une partie est encore inconnue aujourd'hui; d'autre part on ne peut traiter qu'une partie limitée des technologies des processus de production. En outre, se pose le problème de l'agrégation des résultats une fois qu'au niveau d'un processus ou d'une technologie on a pu aboutir à des résultats fiables. Finalement, il faut pouvoir disposer de données représentatives.

D. Analyse technico-économétrique (textes de M. Giovannini et de M. Saugy et al.)

M. Giovannini cherche à établir des perspectives de demande d'énergie. Comme il existe deux écoles, le bottom up et le top down, il se demande s'il ne serait pas possible de tirer profit des résultats obtenus par l'une et l'autre et de réconcilier les deux approches, au moins au niveau des résultats? D'où l'idée de chercher d'abord une interprétation en termes de caractéristiques techniques de l'équipement dans le modèle économétrique et de procéder à une comparaison critique des résultats de l'analyse bottom up et top down. Cette méthode a été appliquée en particulier à la demande de l'industrie, et l'on a rencontré comme ailleurs un problème de qualité et de disponibilité des données. L'exercice a été extrêmement enrichissant, tant pour ceux qui ont participé en tant que chercheurs que pour ceux qui en ont utilisé les résultats dans le cadre des travaux du groupe d'experts.

M. Saugy et al. cherchent à expliquer la consommation et son évolution à long terme. Pour ce faire ils se fondent sur une analyse au niveau de la prestation par personne et cherchent à envisager l'évolution technique des procédés. On ne s'intéresse donc plus à l'énergie en tant que telle, mais plutôt à la prestation. Dans un deuxième temps, l'évolution

technologique va permettre peut-être d'assurer cette même prestation avec un mix différent d'énergies. La validation de cette approche a été réalisée tant à l'échelle de la ville que de l'immeuble. Au niveau de la ville, tous ceux qui suivent ce qui se passe à Martigny se rendent compte de l'utilité de ce type d'approche; les autres pourront consulter le rapport avec profit.

E. Modélisation économétrique (texte de M. Carlevaro et al.)

La modélisation économétrique effectuée par **M. Carlevaro et al.** cherche à répondre aux besoins de la perspective en matière de consommation d'énergie, à expliquer les déterminants historiques de la consommation d'énergie ainsi qu'à contribuer à la définition des politiques de tarification. Deux logiques sont envisagées: l'une qui est fondée sur la théorie microéconomique du consommateur et du producteur et l'autre qui envisage l'énergie comme un produit spécifique consommé à travers un équipement. A partir de cette approche on constate que la consommation est analysée d'une part par le biais des modifications de l'équipement, phénomènes lents mais fondamentaux, et d'autre part par les variations dans l'intensité avec laquelle cet équipement est utilisé. Les implications sont extrêmement nombreuses: analyses explicatives, prévisions, évaluation de l'efficacité des politiques énergétiques... Les limites de cette approche sont variées. D'une part on est limité par la précision des données (précision qui n'est pas toujours facile à mesurer et déterminer!); d'autre part il est clair que ce type d'analyse se fonde sur des facteurs quantifiables et que certains facteurs qualitatifs ne peuvent pas être pris en considération; enfin (sans vouloir être exhaustifs) il faut relever qu'on suppose la stabilité des structures économiques et de leur évolution. Cette dernière hypothèse a souvent fait l'objet de discussions approfondies.

Je voudrais maintenant essayer de mettre en évidence dans quelle mesure ces travaux constituent un apport pour la prise de décision en matière de politique énergétique. Je donnerai une interprétation très

personnelle. Lors de la discussion il sera toutefois intéressant d'entendre le point de vue des auteurs sur ce point précis. Au risque d'être un peu provoquant, je me suis posé trois questions:

Les travaux présentés ici sont-ils intelligibles pour le décideur, sont-ils utiles, sont-ils utilisables?

Si j'ai pu commencer à me faire des ennemis en massacrant le résumé des contributions, je crains maintenant le pire.
Le décideur, avec qui tous les auteurs ont travaillé, c'est quelqu'un qui a un pouvoir sur la décision à prendre. Ce n'est pas nécessairement le conseiller fédéral ou le citoyen, mais plutôt la personne qui joue un rôle important dans la préparation d'un rapport, sa présentation et la défense de certaines idées.

Rapport de **MM Huber et Stäger**:

Il n'y a pas de difficulté à comprendre le texte: la première réponse très positive; l'utilité est certaine car il fournit un outil pour gérer les données et les modèles qui permettent de faire de la perspective; pour ce qui est de l'utilisation, je dois avouer que je n'ai pas trouvé la réponse dans le papier.
Rapport de **M. Wick**:

C'est dans ce papier que l'on trouve la contribution la plus grande vers une clarté de l'information, les indices énergétiques étant parfaitement intelligibles; l'utilité ne fait aucun doute si l'on pense aux discussions qui ont eu lieu sur la scène énergétique ces dernières années; la possibilité d'utilisation est aussi certaine, comme on l'a remarqué pour les rénovations et les nouvelles constructions;

Rapport de **Mme Antille**:

Ce document est certainement utile et utilisable; pour ce qui est de l'intelligibilité, il faut avouer qu'il est compliqué. La méthode et le résultat auxquels on aboutit sont difficiles à comprendre et nécessitent un effort important de la part du décideur, qui ne dispose pas toujours du temps nécessaire.

Rapport de **M. Aebischer**:

Il est intelligible, d'autant plus que l'on y descend au niveau "bottom up" se rapprochant ainsi d'un niveau plus facile à saisir; il est aussi utile et utilisable dans la mesure où l'objectif que se fixe l'auteur est atteint. Pour le moment la recherche est en cours et le point d'interrogation demeure, mais dans la mesure où l'on aboutit vraiment à une explication suffisamment "bottom" de l'évolution de la demande d'électricité dans le secteur des services, il sera facile d'utiliser et d'interpréter les résultats pour mieux prévoir l'évolution future.

Rapport de **M. Knoepfel**:

Il traite de concepts qui sont faciles à saisir, comme des niveaux d'économie et des pourcentages. Il s'agit d'un travail utile et utilisable, mais avec la restriction relative à la représentativité et à l'étendue des données qui peuvent être recueillies.

Rapport de **M. Giovannini**:

La réponse se trouve dans le rapport de l'EGES, que généralement les utilisateurs ont trouvé intelligible, utile et utilisable.

Rapport de **M. Saugy et al**:

Il aide à comprendre et à prévoir l'évolution de la demande sous l'angle de la prestation. Il est certainement intelligible et utile. Sur son caractère utilisable, il sera intéressant d'entendre l'opinion de l'auteur.

Rapport de **M. Carlevaro et al**:

En toute subjectivité, je crois que l'approche économétrique est utile; le rapport est utilisable par les décideurs dans la mesure où ils font suffisamment confiance aux auteurs; quant à l'intelligibilité, là c'est peut-être la plus grosse difficulté.

INTERVENTIONS DES CONTRIBUTEURS[1]

A. Stäger

"J'aimerais dire quelques mots sur le modèle d'Informata – Stäger, ainsi que Monsieur Spierer l'a souhaité. D'abord, si c'est utile? Je crois que oui, certainement. On peut l'utiliser pour faire des statistiques, c'est-à-dire pour prendre des données de n'importe où dans les statistiques, provenant également d'autres recherches par exemple celle de Monsieur Wick, pour faire le bilan et avoir des données à posteriori. En même temps on a la possibilité d'utiliser le modèle pour faire des simulations, pas seulement dans le sens "what-if", mais aussi pour donner des objectifs et mettre en évidence ce qu'il faudrait faire pour les atteindre. Du point de vue de l'intelligibilité, la construction du modèle n'est pas très complexe. Mais comme il y a beaucoup de termes et beaucoup d'interdépendances entre tous les termes, le modèle et aussi les méthodes statistiques utilisées – ce sont toutes des distributions normales – rendent la compréhension des mécanismes assez complexe".

B. Wick

"Monsieur Spierer a déjà dit que l'indice énergétique est utile et utilisable. Je pense qu'il nous est également utile pour prévoir l'avenir, parce que l'on trouve chaque année un plus grand nombre de bâtiments construits d'une manière nouvelle. On peut alors contrôler avec des projets de mesure très précis ce que l'on fait, où l'on a atteint les buts, où l'on a fait des erreurs. Cela est valable non seulement pour la chaleur, mais aussi pour l'électricité. On voit que l'on atteint des buts très bas, des indices de chaleur de 120 – 200 dans le logement parce qu'il y a l'eau chaude. Pour l'indice électrique aussi on atteint des buts très bas. Mais tout cela prend beaucoup de temps. Dix ans après nos premiers travaux, on constate un décalage de plusieurs années entre nos résultats et les cibles retenues par la SIA.

[1] Transcriptions vérifiées par les contributeurs.

G. Antille

"J'aimerais d'abord remercier Monsieur Spierer de sa présentation de mon travail et peut-être apporter juste un ou deux compléments en insistant sur le fait que le modèle de décomposition structurelle de l'utilisation de l'énergie est quelque chose de global, c'est-à-dire qu'il essaie de suivre les effets de modifications dans la demande finale, mais non seulement la demande finale d'agents énergétiques mais aussi la demande finale d'autres biens et services à travers tout le processus de production, pour arriver finalement à allouer les diverses modifications de la consommation d'agents énergétiques aux changements de la demande finale. Ceci est juste un complément pour bien marquer l'aspect global de ce modèle. J'aimerais encore préciser que ce modèle, ainsi que Monsieur Spierer l'a dit, est essentiellement basé sur une connaissance du passé et que pour prévoir l'avenir il faut vraiment bien connaître le passé, mais qu'il peut être aussi utilisé pour faire des simulations uniquement en complément à ou en liaison avec d'autres modèles tels que des études sur les fonctions de production ou les lois de demande qui fournissent les informations à insérer dans le modèle. Un dernier point sur l'aspect intelligible: Le papier que j'ai présenté ici se situe entre un papier technique et un papier de vulgarisation et je pense que si je fais l'effort de remplacer une partie des formules par des phrases le papier deviendrait intelligible. Il faut cependant une fois écrire les formules si l'on veut faire des calculs."

C. Spierer

"Je pensais moins au papier qu'au concept. Le concept n'est pas simple."

G. Antille

"C'est le concept basé sur l'analyse entrées-sorties. En fait ce sont des proportions qu'il y a derrière, ce n'est rien de plus.

C. Spierer

"Pour nous qui le manions depuis longtemps, c'est simple, mais ce n'est pas simple pour le lecteur."

G. Antille

"Je suis prête, si on me donne une heure, à expliquer cela en détail."

B. Aebischer

"Monsieur Spierer a soulevé le problème du "bottom". Je crois que c'est effectivement une des questions les plus intéressantes – et les plus difficiles – dans l'approche "bottom-up". Il est essentiel de voir que l'idée de base n'est pas d'aller aussi "bottom" que possible, mais aussi "bottom" que nécessaire – nécessaire pour pouvoir répondre aux besoins du décideur par exemple. Pour évaluer l'influence de mesures techniques sur la demande d'énergie, – application majeure des modèles "bottom-up" dans le passé –, il faut évidemment utiliser comme "bottom" l'équipement, l'appareil ou l'installation auquel s'applique la mesure technique.

Dans le secteur des services on utilise actuellement surtout trois types de "bottom": 1) les équipements, appareils et installations, 2) les bâtiments (ou les places de travail), 3) les prestations. Les problèmes et limites du premier type de désagrégation sont liées au fait que quelques 70% de l'électricité dans les services sont consommés dans des installations du bâtiment (éclairage, ventilations, climatisation) où l'influence de l'utilisateur (y compris le contrôle et la régulation) est très important. Le deuxième type de bottom, le bâtiment, est utilisé avec succès pour la modélisation du secteur "chauffage"; le bâtiment y est mesuré par sa surface chauffée et la grandeur complémentaire, l'indice de chauffage, est définie par l'énergie utilisée pour le chauffage par unité de surface chauffée. Une représentation significative de l'électricité utilisée dans un bâtiment est nettement plus complexe: les applications multiples suggèrent une représentation matricielle – Monsieur Weinmann en parlera dans la deuxième session – et les variations dans l'utilisation et l'apparition de nouvelles applications de l'électricité nécessitent une approche dynamique. Le troisième type de bottom, les prestations, est défendu ici par Monsieur Saugy. Les problèmes se situent dans les détails: comment par exemple tenir compte des qualité différentes des prestations fournies par l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel ou par l'aération naturelle et la climatisation sophistiquée ?

I. Knoepfel

"Je remercie Monsieur Spierer et Monsieur Aebischer d'avoir présenté ici les parcularités les plus importantes de l'approche "bottom up". Un aspect important du bottom-up, c'est le choix d'un niveau intermédiaire pour la description des technologies, qui ne soit pas trop détaillé et qui permette l'utilisation des statistiques pour l'intégration au niveau macroéconomique. Souvent il faut regrouper les technologies faisant partie de l'analyse en "groupes homogènes". Une attention particulière doit être portée sur le développement de moyens statistiques pour décrire les groupes homogènes (je pense, par exemple, à une distribution mathématique autour d'une technologie moyenne).

Encore deux mots sur le besoin d'une analyse bottom-up dans le secteur industriel. Souvent les experts de l'industrie parlent d'une saturation des possibilités d'économie d'énergie pour certain procédés industriels. Dans ce cas il serait faux d'extrapoler la consommation d'énergie du passé. Pour éviter des distorsions il est nécessaire d'utiliser l'analyse bottom-up en tenant compte des particularités techniques des procédés actuellement utilisés dans l'industrie".

B. Giovannini

"Mon remerciement à Monsieur Spierer et aussi une correction parce qu'il a très gentiment attribué à la méthode technico-économétrique, qui est effectivement ce que nous avons fait peut-être de plus original, l'ensemble de la responsabilité ou de l'honneur des résultats de l'EGES. Je voulais faire cette distinction conceptuelle entre ce que l'on appelle technico-économique et technico-économétrique. Technico-économique se réfère à un modèle bottom up traditionnel dans lequel les éléments du modèle bottom up sont ensuite évalués pour pouvoir faire des perspectives dans le futur, c'est-à-dire que l'on fait des correspondances plus ou moins justifiées entre ce qui est aujourd'hui et ce qui est l'avenir en se basant sur des indicateurs, mais pas de façon aussi rigoureuse qu'on le fait dans la méthode économétrique; tandis que la méthode technico-économétrique, comme Monsieur Spierer l'a expliqué très clairement, est en fait une greffe de l'analyse bottom up sur votre analyse à vous, c'est-à-dire que l'on prend

votre modèle, qu'on interprète certains éléments en termes techniques et ensuite on étend ce modèle pour pouvoir tenir compte de l'évolution dépendant de différents types de politiques. Dans le rapport de l'EGES on a systématiquement toujours tenu compte des 3 types de modèles et on a fait ensuite un espèce de comparaison à la fois qualitative et quantitative entre ces modèles pour voir quel était le meilleur modèle selon des critères évidemment qui ne sont pas toujours totalement rigoureux, mais ce choix a été fait en fait par la commission plutôt que par les experts. La structure de ce que Monsieur Spierer a présenté me semble très bonne parce que effectivement pour tous ceux qui travaillent sur cet ensemble de problèmes, il y a premièrement un problème de données. Dans les travaux de l'EGES on a évidemment utilisé toutes sortes de données, y compris et surtout les données (de Monsieur Wick) et bien d'autres. Ce problème se pose de façon générale. Ensuite il y a l'analyse technique qui se pose toujours parce que il faut essayer de voir comment ces données s'inscrivent dans une espèce d'analyse fondamentale de l'utilisation d'énergie dans le pays. Comprendre ce qui se passe avant d'essayer de comprendre ce qui se passera dans l'avenir. Et puis, lié à ça, il y a évidemment aussi une analyse ex post à la fois sur les données et sur les consommations globales. Finalement il y a une appréciation des résultats et là on retombe un petit peu sur les questions qui ont été soulevées par rapport au tertiaire c'est-à-dire que si dans le tertiaire - qui était dans tous les cas il y a 5 ans un des domaines les moins bien connus - on ne sait pas très bien que faire, alors on se lance un peu à l'aventure et l'on interprète les différentes hypothèses de façon qu'il est parfois difficile de justifier immédiatement. Paradoxalement on a fait maintenant une première analyse ex post 5 ans après et c'est l'électricité dans le tertiaire qui marche le mieux."

B. Saugy

"Puisque Monsieur Spierer m'a interrogé sur l'utilisabilité du modèle présenté, revenons sur les causes du doute que nous avons de longue date sur l'efficacité de ces modèles par rapport aux décideurs. Doute confirmé lors des dernières campagnes au cours desquelles je n'ai pas eu le sentiment que tous les articles de presse et les débats étaient éclairés et inspirés par les travaux fait sur les modèles. A défaut de percée générale contentons

nous donc de remarquer sur des aspects particuliers où des développements récents sont intéressants. Le but initial de notre institut était de contrôler la planification parfois extravagante de grosses centrales à haute température allant jusqu'à 100 en Europe pour la fin du siècle, et jusqu'à quelques dizaines de centrales à l'échelle du pays. Les moyens mis à disposition de ce problème de planifiction (quelques dizaines de milliers de francs) étaient dérisoires et insuffisants par rapport au coût des constructions qui s'exprimait à ce moment là à l'échelle de la Suisse en milliards de francs. Au manque de moyens de réflexion s'est ajouté la difficulté d'obtenir des données sûres. A postériori vu d'un service communal qui alimente les statistiques à l'Office fédéral de l'énergie, qui publiées sur papier glacé ont servi de références principales, le doute s'installe sur leur cohérence et sur ce que l'on peut en tirer. Au début de ces travaux l'appareil statistique des services industriels se limitait au type de compteurs implantés indépendamment de l'usage fait: logement, bureau, médecin ou autre. Il est clair que l'exploitation de tels aggrégés au niveau suisse réduit la portée explicative des modèles. Dans le cas particulier, la démarche qui s'est faite à Martigny a conduit à une question plus fondamentale encore: le décideur c'est qui ? Les premiers modèles ont été réalisés au niveau de la Suisse mais que ce n'est pas tellement là que sont prises les décisions. La Confédération peut accepter ou refuser la prochaine centrale, mais les investissements de base se font dans les communes. Le pari du laboratoire de l'institut de Martigny est donc de travailler à l'échelle de la commune. L'opération dialogue énergétique en cours est très difficile mais enrichissante. A l'image du modèle théorique, elle met en relation la demande et l'offre d'énergie, c'est alors à l'échelle de la commune qu'un système de dialogue entre les autorités et la population conduit aux réactions que l'on attendait d'un modèle cohérent. Des scénarii nationaux venant de Berne peuvent proposer des variantes outrancières sans créer de débat. Au niveau de la commune le fait d'évoquer dans un "tout ménage" l'opportunité de bien fermer les fenêtres ou non a suscité des réactions dans les trois jours qui ont suivi: un article dans les journaux signalait tel bâtiment communal où "ils" n'avaient pas fermé les fenêtres. Des dizaines de messages nous sont parvenus pour dire que l'éclairage du stade n'avait pas été éteint ou pour stigmatiser l'éclairage de Noël. Une action a porté sur les transports où la croissance est de 44% depuis 1973. Elle a conduit à une levée de boucliers à l'échelle de la

ville avec menace des autorités si l'on poursuivait dans cette direction. Ainsi, si ces modèles ont encore peu de bases et de raisonnance pour planifier à long terme et construire le système de production, ils prennent une valeur nouvelle pour gérer le flux de matière et d'énergie en temps réel et construire les équipements collectifs. L'économètre développé permet à chaque usager équipé d'analyser sa consommation et l'influence de son comportement. Sur la base de ces données dynamiques, il s'agira de faire des propositions d'évolution: construire des nouvelles centrales, ou faire des économies ou encore gérer autrement. A l'échelle de la ville le flou des modèles prévisionnels n'est plus permis parce qu'à l'entrée de la ville il y a des compteurs conçus pour renseigner le fournisseur, ici EOS. Ils ont été complétés pour informer l'usager et diffuser les consommations heure par heure ou jour par jour sur le réseau local et le téléréseau. Ici plus question de tricher pour masquer les imprécisions de modèles, plus question non plus de peaufiner les rapports, ou de négocier le calibrage des paramètres. Une fois le modèle utilisé à ce niveau, il est impitoyablement confronté à la réalité. Pour qu'il colle à la fois au niveau de l'usager et au niveau de la Ville, il faut une très grande rigueur dans sa définition. Le modèle présenté utilise le concept de prestation qui avait été très critiqué à Zürich il y a deux ou trois ans. Or la pertinence de cette approche est confirmée dans les faits et l'on ne peut pas faire autrement si l'on veut suivre l'agrégation des comportements individuels jusqu'au niveau de la ville. Le modèle de prévision devient ainsi un modèle de simulation en temps réel de la ville qui permet d'évaluer une mesure instantannée de la consommation. 2.73 Megawatt: est-ce peu ou beaucoup ? Il faut bien disposer d'une référence parallèle pour savoir si c'est peu, si c'est moins bien qu'hier, si c'est beaucoup ou si c'est bien. C'est ainsi un nouvel espoir de promouvoir la cohérence du débat par une utilisation de ces modèles dans le suivi des consommations à confirmer par l'expérience de ces prochaines années. Mais apparement la population et les pouvoirs locaux réagissent déjà de manière très vive aux évolutions des indices de consommation au point de nous faire regretter l'indifférence constatée face aux modèles nationaux.

F. Carlevaro

"J'aimerais reprendre la distinction de Monsieur Spierer: intelligible -

utile – utilisable, en apportant quelques compléments en ce qui concerne la modélisation économétrique. Peut être le complément le plus important se situe au niveau de l'intelligibilité, comme Monsieur Spierer l'a souligné. Il a simplement exprimé un sentiment de doute là dessus, sans trop entrer en matière. Je pense qu'il faut en discuter parce que c'est là que concrètement on a toujours eu des difficultés à faire passer le message. A mon avis cela tient au fait que les approches scientifiques procèdent, en matière de modélisation, à partir de deux points de vue très différents. Le point de vue le plus couramment utilisé c'est celui du pathologue. On nous a toujours appris que la science c'est disséquer, la science c'est d'être méticuleux, la science c'est compter le nombre de pistils dans une fleur. Donc la tendance naturelle c'est d'utiliser une approche réductionniste, (essayer de voir de quelles molécules est composé le cerveau de l'être humain), dans l'espoir, par la suite, de pouvoir reconstituer l'objet disséqué à partir de ces composants. On sait tous les insuccès rencontrés par cette reconstitution, mais la méthode est évidemment très satisfaisante du point de vue de la compréhension. C'est comme ça que l'homme comprend les choses. Il a le sentiment, par exemple, que pour comprendre une consommation globale de l'énergie il faut partir de l'expérience que nous vivons tous les jours et donc il faut se situer au niveau qui est appelé ici bottom ou, pour utiliser le language des économistes: micro–économique, désagrégé, détaillé.

L'autre approche c'est l'approche du macroscopique, de l'astronomie, des hypothèses de la théorie de la gravitation. Etonnament, elle a été la première à avoir été utilisée en sciences. Elle présente, toutefois, des difficultés d'interprétation. Ainsi, personne n'a jamais compris les hypothèses de Newton. L'idée de la loi d'attraction mutuelle est quelque chose qui est totalement incompréhensible. Un historien des sciences pourrait le confirmer. (Je crois que B. Giovannini a eu dans ces moments de loisirs des activités de cette nature). On peut, en effet, retrouver dans les débats qui ont suivi la présentation de l'ouvrage de Newton tout cet esprit d'incompréhension vis–à–vis de ce genre d'hypothèses. C'est pourquoi on en est arrivé à dire que la science ce n'est pas expliquer c'est tout simplement décrire. Les scientifiques anglosaxons ont d'ailleurs conservé cette conception. Le modèle qui pour nous est un outil explicatif est pour eux davantage déscriptif. Je pense que la méthode économétrique ressort davantage de cette optique descriptive. Comme elle prend des données qui

sont produites par des phénomènes complexes, où les intéractions sont très grandes, il est évidemment impossible de donner un schéma de lecture de ces données qui soit vraiment compréhensible par Monsieur Tout-le-monde. Tout simplement on essaie par là de saisir, en simplifiant, les interdépendances entre les grandeurs les plus fondamentales. La simplification est donc inévitablement associée à la modélisation, et elle est la source de toute difficulté d'interprétation. On nous demande souvent: pourquoi vous avez mis telle variable et pas telle autre ? Accepter un tel choix exige un certain acte de foi dans la mesure où le résultat livré par l'économètre s'appuie sur deux critères: un critère statistique et un critère théorique. L'inférence statistique à partir des données assure l'objectivité de la démarche tandis que les hypothèses théoriques utilisées introduisent une dimension subjective dans un tel coktail et on ne sait pas très bien distinguer quel est l'apport du premier critère par rapport au second. On sait que les deux intéragissent. En ce qui concerne l'utilité de la méthode, traditionellement, comme l'a dit Monsieur Giovannini, elle a été utilisée pour faire plutôt ce qu'on appelle des perspectives non influencées. On a toujours présenté les modèles économétriques comme étant un outil qui ne sert qu'à ça. Un outil qui, étant donné qu'il est calibré, estimé sur le passé, doit être utilisé uniquement pour prévoir l'évolution future dans l'hypothèse où les mécanismes agissant dans le futur sont ceux que l'on a constaté dans le passé. Or, rien n'est plus faux. Les modèles économétriques ont été justement conçus pour dépasser ce stade de l'extrapolation, c'est-à-dire d'une modélisation de type purement statistique ayant pour objectif de mettre au point des outils purement mathématiques qui permettent de dégager quelles sont les tendances fondamentales, les régularités du passé, pour ensuite, en espérant que les conditions en vigueur dans le passé se retrouvent dans le futur, permettre la prévision. La méthode économétrique, au contraire, a introduit l'explication. Les facteurs explicatifs qu'elle a introduit, les causalités, sont là pour permettre la prévision contrafactuelle, c'est-à-dire répondre à des questions du type: qu'est-ce qui ce serait passé si telle condition du passé venait à changer. Ceci fait comprendre qu'une extension naturelle de la méthode économétrique ait été d'introduire le facteur technique: La collaboration avec Giovannini, a consisté à greffer, comme il l'a dit très bien, la technique sur l'économétrique. Je crois qu'un progrès dans cette direction consisterait à estimer les modèles technico-économétriques afin que cette

greffe ait une véritable chance de succès. Une telle démarche implique toutefois des modèles plus complexes, comme ce que j'ai présenté dans le papier, appelés modèle à générations d'équipements. Un dernier commentaire au sujet de l'utilisable. Le modèle serait plus utilisable si on pouvait disposer d'autres sources de données exploitables par la méthode économétrique. Jusqu'ici tous nos modèles économétriques ont été estimés à partir de séries chronologiques. Or, il reste la possibilité d'utiliser les données d'enquête comme le font les méthodes bottom-up. C'est une source d'information qui peut améliorer sensiblement la fiabilité statistique des modèles économétriques.

SESSION II

ANALYSE ET PLANIFICATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

MODELL DER ELEKTRIZITAETSVERSORGUNG DER SCHWEIZ

A. Amthauer

Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg

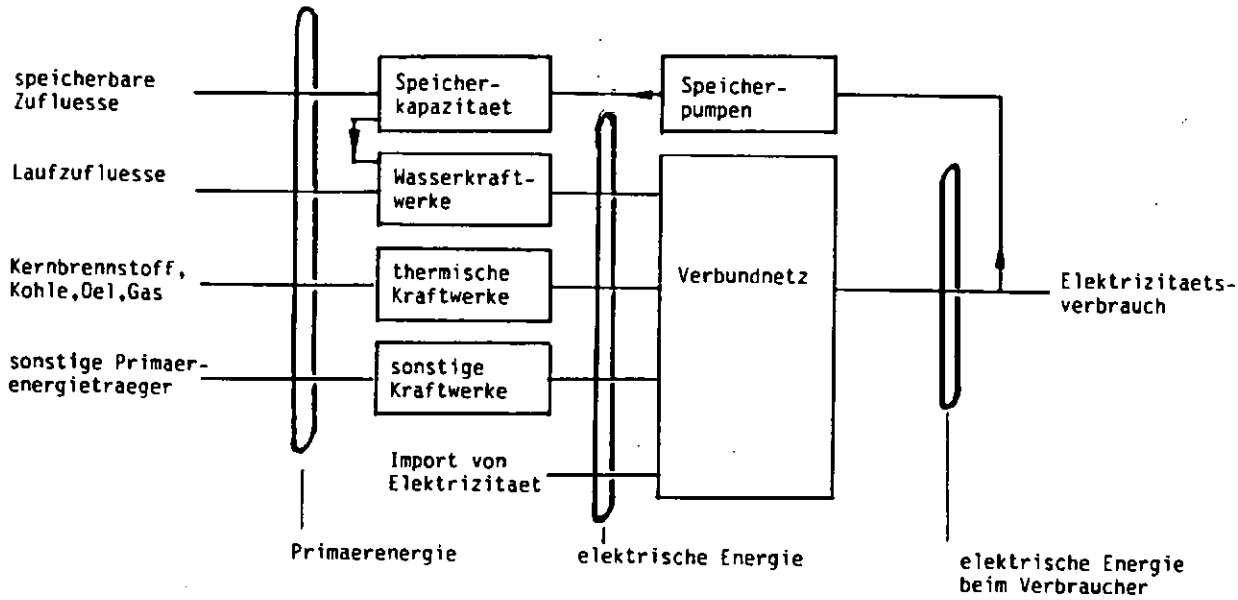
1. Zusammenfassung

Dieses Papier beschreibt die Grundlagen, die Methodik sowie die Anwendung des vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) und dem Bundesamt für Energiewirtschaft der Schweiz verwendeten Modells der Elektrizitätsversorgung /1,2,3/ . Mit diesem vom Verfasser dieses Papiers entwickelten Modell erfolgten sowohl im Bericht über den Bedarfsnachweis für Kernkraftwerke /4/, als auch im Zehn-Werke-Bericht /5,6/ die Berechnung der Energiebilanzen aufgrund von Prognosen über die Entwicklung des Kraftwerksparks und des Verbrauchs.

2. Grundlagen des Modells

Modelle der Elektrizitätsversorgung werden verwendet, um Handlungsalternativen für die Anpassung des Versorgungssystems in bezug auf die Erfüllung von Zielvorstellungen über die Qualität der Versorgung vergleichbar zu machen. Die zentrale Frage ist dabei, in welchem Ausmass ein prognostizierter Leistungsbedarf zeitgerecht am Ort des Verbrauchs bereitgestellt werden kann. Massgebend für die Qualität der Versorgung sind dabei die Engpässe bei der für die Produktion nutzbaren Primärenergie sowie der Kapazitäten für die Umwandlung und die Uebertragung der elektrischen Energie zum Verbraucher. Das jeweils schwächste Glied in dieser Versorgungskette bis zur 'Steckdose' bestimmt über die Möglichkeit,den Bedarf decken zu können.

In Figur 1. ist das Elektrizitätsversorgungssystem der Schweiz schema-

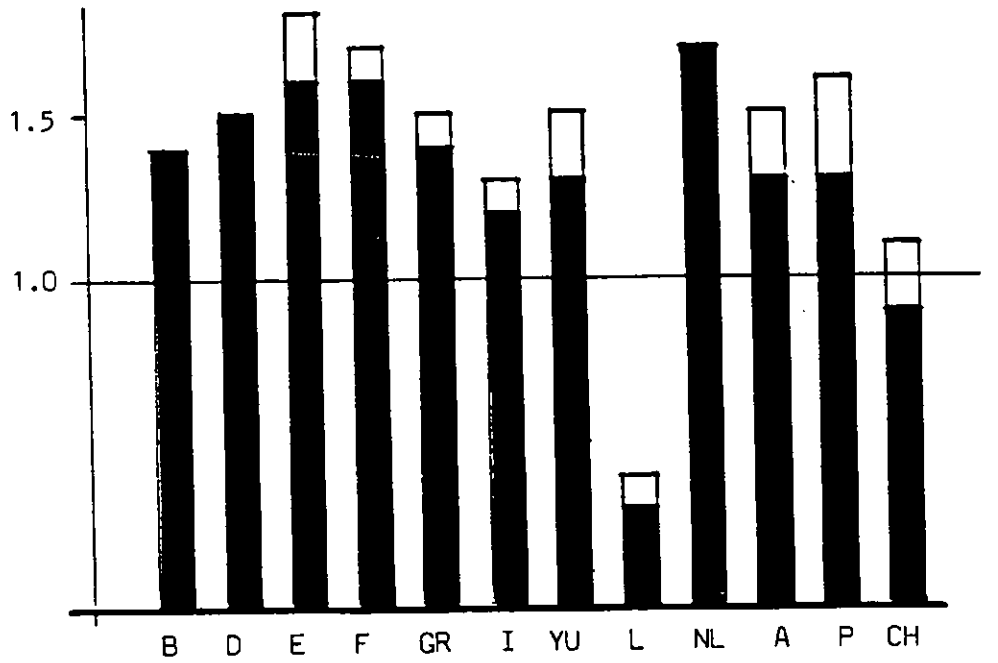


Figur 1. Schema der Elektrizitätsversorgung der Schweiz

tisch dargestellt. Die Struktur des Systems in Form einer Kette erlaubt es, den Energiebedarf auf drei verschiedenen Ebenen mit dem Angebot zu vergleichen:

- nutzbare Primärenergie
- nutzbare elektrische Energieeinspeisung der Kraftwerke in das Verbundnetz
- nutzbare elektrische Energie beim Verbraucher.

Das Versorgungssystem der Schweiz weist gegenüber den übrigen westeuropäischen Ländern die Besonderheit auf, dass ein Engpass für die Bedarfsdeckung bereits bei der nutzbaren Primärenergie auftreten kann. Zur Erläuterung dessen ist in Figur 2. der Selbstversorgungsgrad bezüglich der nutzbaren Primärenergie der in der UCPTE (Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité) zusammengeschlossenen Länder für das Winterhalbjahr 1989/90 aufgetragen. Es handelt sich dabei um das Verhältnis aus der durch den Kraftwerkspark nutzbaren Primärenergie und dem gesamten Elektrizitätsbedarf im genannten Zeitraum. Bei dieser Betrachtung wird die Primärenergie für die thermischen Kraftwerke in Form von Kohle, Oel, Gas oder Kernbrennstoff als ausreichend verfügbar vorausgesetzt, so dass die nutzbare Energie durch die verfügbare Kraftwerksleistung begrenzt wird. Die in



Figur 2. Selbstversorgungsgrad bezüglich der nutzbaren Primärenergie der UCPTE-Länder im Winterhalbjahr 1989/90 bei günstigen und ungünstigen Zuflussmengen der Wasserkraftwerke

den Wasserkraftwerken nutzbare Primärenergie wird durch die Zuflüsse begrenzt, deren Menge zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Abgesehen von der Ausnahme Luxemburgs ist die Schweiz das einzige Land in Westeuropa, in dem die Selbstversorgung bereits auf der Ebene der nutzbaren Primärenergie bei ungünstigen Wasserzuflüssmengen nicht gewährleistet werden kann. In den übrigen Ländern besteht demgegenüber die Möglichkeit, durch den Einsatz der eigenen thermischen Kraftwerke den Bedarf zu decken. Selbstverständlich wird in diesen Ländern nicht die gesamte nutzbare Primärenergie eingesetzt, weil dafür Reservekraftwerke in Betrieb genommen werden müssten, deren Gestehungskosten der Elektrizität für einen Dauerbetrieb unwirtschaftlich hoch sind. Diese für die Schweiz gegenüber den umgebenden Ländern stark unterschiedlichen Voraussetzungen haben einen direkten Einfluss auf die bei der Planung der zukünftigen Entwicklung des Systems verwendeten Modelle. Die im Ausland eingesetzten Modelle werden primär auf kurze Versorgungsunterbrüche aufgrund des Ausfalls von Kraftwerken ausgerichtet. Dem entsprechend ist die Leistungsbilanz die zentrale Grösse. Dagegen müssen die Modelle für die Schweiz den Aspekt von Engpässen durch nicht ausreichend nutzbare Primärenergie berücksichtigen, weshalb

hier die Energiebilanz über einen Bezugszeitraum die kritische Grösse ist.

3. Methodik

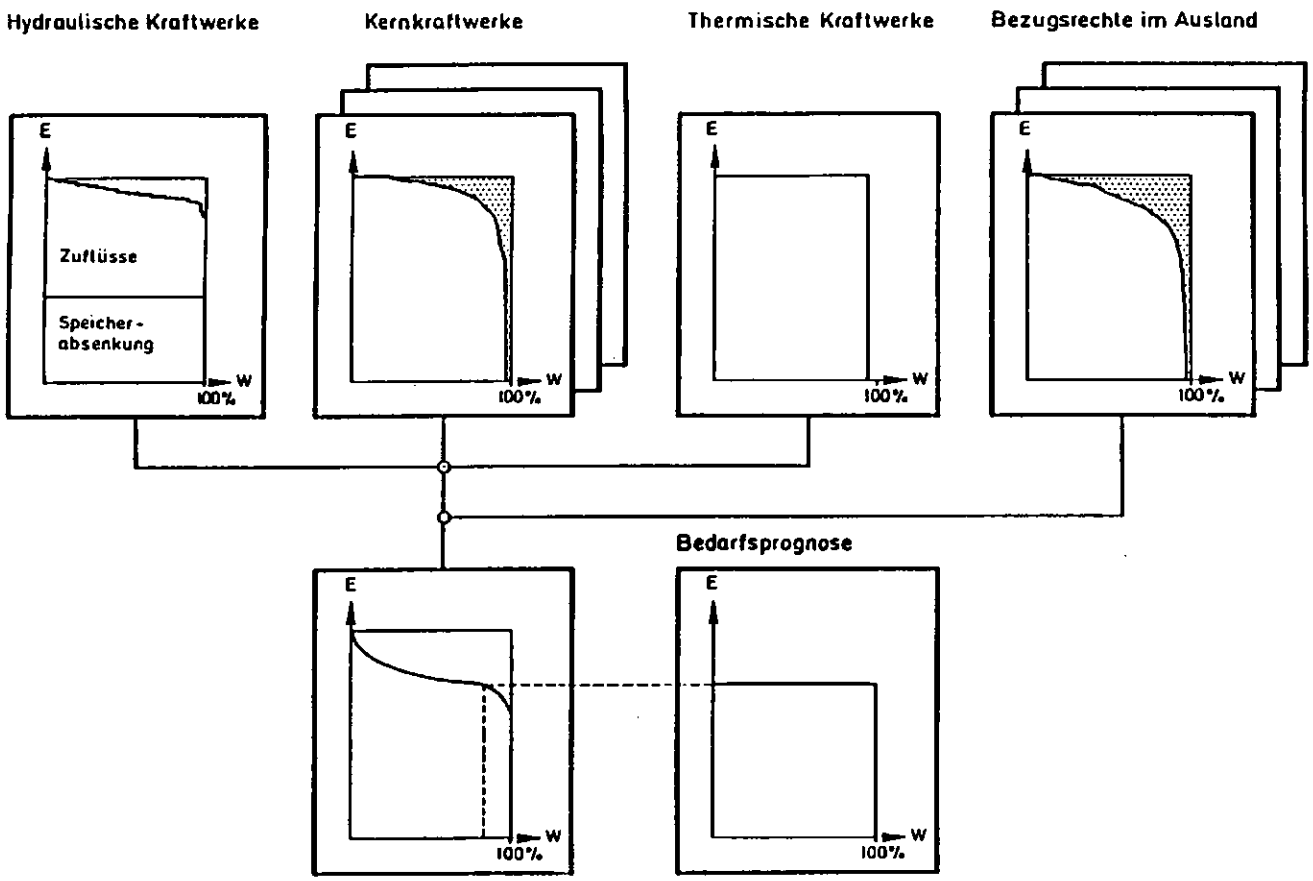
Die dominierenden Faktoren für die Deckung des gegenwärtigen Elektrizitätsbedarfs in der Schweiz sind die nutzbaren Primärenergie aus den Zuflüssen zu den Wasserkraftwerken und aus angereichertem Uran für den Betrieb der Leichtwasserreaktoren. Bei der Wasserkraft werden die verfügbaren Zuflüsse weitgehend genutzt. Die installierte Kapazität ist auf viele kleine Werke aufgeteilt und für die Umwandlung von sehr grossen Zuflussmengen dimensioniert, so dass die technische Verfügbarkeit der Kraftwerke keinen Begrenzungsfaktor darstellt. Anders liegen die Verhältnisse bei den Kernkraftwerken. Der Kernbrennstoff als Träger der Primärenergie war in der Vergangenheit immer in ausreichendem Masse verfügbar und es kann ausserdem durch eine entsprechende Lagerhaltung erreicht werden, dass hier kein Engpass zu erwarten ist. Begrenzungen ergeben sich aber auf der in das Verbundnetz einspeisbaren Energie aufgrund der technischen Verfügbarkeit der Kraftwerksleistung. Deshalb werden in der Schweiz Modelle verwendet, die das Zusammenwirken dieser energetischen Randbedingungen für die Versorgung quantifizierbar machen.

Entsprechend der bis zum Jahr 1969 fast ausschliesslich aus Wasserkraft stammenden Elektrizität hat man in der Schweiz schon sehr früh begonnen die nutzbaren Wasserzuflussmengen systematisch zu erheben. Diese Statistik wird vom Bundesamt für Energiewirtschaft zusammengestellt. Sie enthält die beobachteten Häufigkeiten der monatlichen Zuflussmengen geordnet nach Regionen und Höhenzonen, wobei die Zahlenwerte in äquivalente elektrische Energie umgerechnet sind. Für die Abbildung des Produktionsvermögens der Wasserkraftwerke im Modell wird aus dieser Statistik die Häufigkeitsverteilung der Zuflüsse entnommen und entsprechend dem geplanten Ausbau der Kraftwerkskapazität modifiziert.

Während für die Modellierung der Wasserkraftwerke über eine gute in sich geschlossene Datenbasis verfügt werden kann, ist die Ausgangslage für das Modell der Produktion der Kernkraftwerke wesentlich ungünstiger.

Die Reaktoren in der Schweiz stehen mit der erreichten Energieverfügbarkeit regelmässig mit an der Spitze der internationalen Vergleichsstatistik. Dennoch ist eine einfache Projektion dieser Resultate in die Zukunft unzulässig, da der Beobachtungszeitraum kurz ist und zusammen mit der geringen Anzahl in Betrieb befindlicher Anlagen keine ausreichende statistische Basis bildet. Für die Modellierung werden deshalb ausser den Betriebsergebnissen in der Schweiz auch solche von Anlagen im Ausland einbezogen, die von ähnlicher Bauart sind und unter ähnlich hohen Anforderungen betrieben und gewartet werden. Dabei handelt es sich um die Ergebnisse für Leichtwasserreaktoren in den Ländern der UCPTE..

Der Beitrag aus den übrigen Primärenergieträgern wie Kohle, Oel, Gas, Wind- und Sonnenenergie wird wegen des geringen Anteils im Modell durch die installierte Leistung und einem mittleren Auslastungsfaktor über den Bezugszeitraum berücksichtigt. In Figur 3. ist schematisch



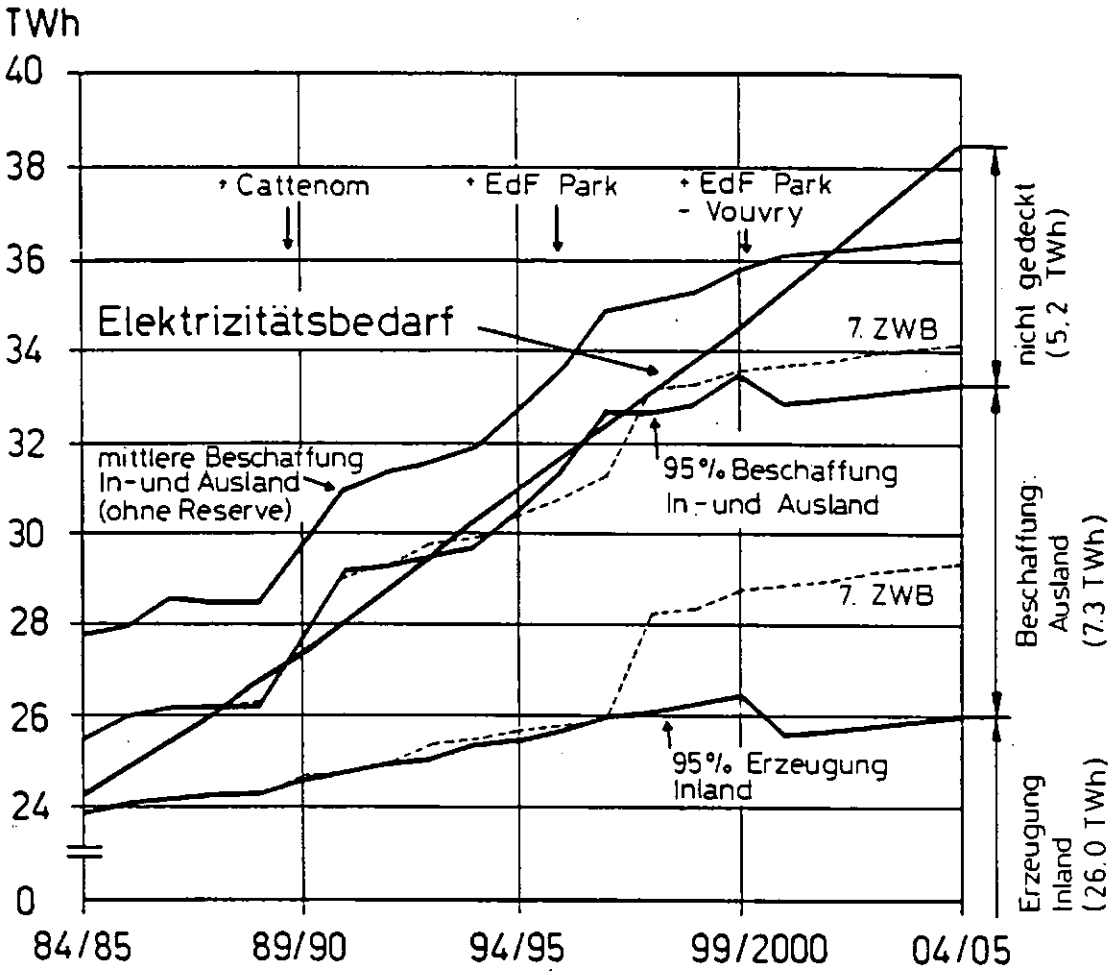
Figur 3. Modell der Elektrizitätsversorgung der Schweiz

dargestellt, wie das Versorgungssystem der Schweiz im Modell abgebildet wird. Die verfügbare Energie der einzelnen Komponenten wird gewichtet mit der Häufigkeitsverteilung ihres Auftretens zur gesamten elektrischen Energie addiert. Diese Addition erfolgt innerhalb des Modells durch die Berechnung des Faltungsintegrals der Verteilfunktionen. Das Ergebnis ist die Verteilfunktion des in einem zukünftigen Bezugszeitraum (zum Beispiel ein Winterhalbjahr) verfügbaren elektrischen Energie. Diese wird im Modell dem prognostizierten Wert für den Elektrizitätsbedarf gegenübergestellt. Die zentrale Aussage des Modells ist dann der Wert der Wahrscheinlichkeit, den prognostizierten Bedarf mit dem jeweiligen Kraftwerkspark decken zu können.

Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, dass die beim Verbraucher verfügbare Energie zusätzlich durch die in diesem Modell nicht berücksichtigten Kapazitäten des Uebertragungs- und Verteilnetzes beschränkt sein kann.

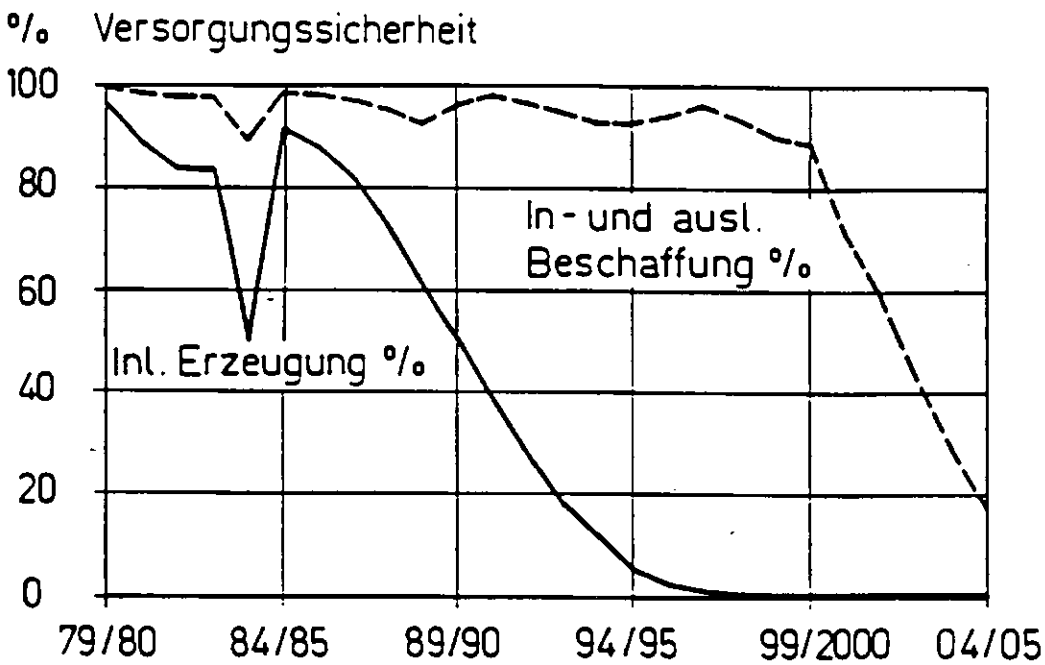
4. Anwendungsbeispiel

Als Beispiel für die Anwendung des Modells sind in Figur 4. die wichtigsten Resultate aus dem Zusatzbericht zur Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis 2005 /6/ dargestellt. In der Grafik ist der prognostizierte Bedarf der mit 95% Wahrscheinlichkeit verfügbaren Energie gegenübergestellt, wobei zwei Stufen unterschieden werden. In der ersten wird die aus inländischen Kraftwerken und in der zweiten Stufe die gesamte verfügbare Energie einschliesslich der Bezugsrechte im Ausland betrachtet. Als weiteres Resultat des Modells zeigt Figur 5. die Wahrscheinlichkeitswerte der Bedarfsdeckung auf den beiden Stufen der Energiebereitstellung.



Figur 4. Versorgungssituation im Winterhalbjahr

Quelle: Zusatzbericht zur Vorschau auf die Elektrizitäts-versorgung der Schweiz bis 2005, VSE



Figur 5. Versorgungssicherheit im Winterhalbjahr

Quelle: Zusatzbericht zur Vorschau auf die Elektrizitäts-versorgung der Schweiz bis 2005, VSE

Literatur

/1/ Zuverlässigkeitsmodell für die Kraftwerksplanung, E. Amthauer
Informationstagung Computereinsatz in der Energiewirtschaft,
SEV Zürich 1979

/2/ Energiemodelle für die Kraftwerksausbauplanung und die Betriebsführung von hydrothermischen Versorgungssystemen, E. Amthauer
Diss. 6951 ETH Zürich 1982

/3/ Versorgungssicherheit bei der Elektrizität, E. Amthauer
Tagung Wirtschaftliche Aspekte unterschiedlicher Energieszenarien
Schweizerische Vereinigung der Energiewirtschafter, Bern 1988

/4/ Bericht über den Bedarfsnachweis für Kernkraftwerke
Eidgenössische Energiekommission 1981

/5/ Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis 2005-
Siebenter Zehn-Werke-Bericht, VSE 1987

/6/ Zusatzbericht zur Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis 2005, VSE 1990

MULTIPLE ENERGY SUPPLY RISKS AND OPTIMAL RESERVES

Peter Zweifel and Matteo Ferrari

University of Zürich

Abstract

This study starts from the observation that today's Western trading nations are exposed to multiple risks of energy supplies, e.g. simultaneous shortage of oil and electricity supplies. To cope with these risks, oil can be stockpiled as well as domestic capacity for power production built up. Adopting the viewpoint of a policy maker who aims at minimizing the expected cost of security of supply, optimal simultaneous adjustments of oil stocks and electric production capacities to exogenous changes such as economic growth are derived. Against this benchmark, one-dimensional rules such as "oil reserves for 90 days" turn out to be not only suboptimal but also to suggest adjustments exacerbating suboptimality.

*) The authors wish to acknowledge the helpful comments and cricitisms of Lester D. Taylor (Tuczon) and the thorough checking of mathematical derivations by J. A. Blanco (Zurich).

Introduction

Today's national economies are becoming more interdependent at a rapid pace. At the same time, industrial countries, reacting to the oil crises of the 'seventies, still aim at increasing the degree of their autarky in the energy domain. The International Energy Agency (IEA) has issued directives requiring member countries to hold oil reserves for 90 days' worth of national consumption *((IEA, 1974)*. Other countries try to limit their dependence on electricity imports; for example, Swiss energy policy has self-sufficiency in 19 out of 20 Winters as one of its objectives (*VSE Swiss Association of Electric Utilities, 1979*). These fuel-specific rules neglect the fact that economies rely on a multitude of resources simultaneously, many of which are supplied from abroad. Strategies for coping with simultaneous disruptions of several energy supplies do not seem to have attracted much attention so far, with the notable exception of *Sanghvi et al.(1983)* in the context of a specific linear programming application.

The objective of this contribution is to point out, for the most simple case of two non-correlated risky energy supplies, some implications of general decision rules that focus on one energy supply only. For example, is it optimal to increase domestic capacities of electric power supply if the risk of an oil shortage is expected to increase, without any regard of the costs and benefits of holding oil reserves? Not too surprisingly, it turns out that decision rules focusing on a single risky supply not only are suboptimal at a given point of time but also run the considerable danger of inducing inappropriate adjustments.

The plan of the paper is as follows. After establishing a checklist of factors that determine the optimal amount of reserves of a good in uncertain supply, a simple objective function for dealing with two risky energy sources is developed. Next, decision rules for adjusting one source to a changing environment are derived and contrasted to more globally optimal rules based on simultaneous adjustments in both of the energy sources considered. The last section offers a few conclusions.

The economics of security of supply

Economic theory can be used to put together a checklist of factors that are important in the determination of the optimal amount of reserves to be held in the face of uncertain supply (*Henze, 1983*):

1. The higher the decision maker's subjective valuation of welfare in a period of crisis relative to the welfare loss incurred in the guise of resources spent on securing supply in normal times, the more he should invest in security of supply;

2. The higher time preference, the less one should optimally invest in future security of supply;
3. The higher the degree of risk aversion, the more one would want to avoid variations in welfare, and the more one would like to invest in stabilization of welfare, e.g. through safe supply;
4. The higher the estimated probability of disruption, the higher the amount of reserving;
5. The greater the degree of adaptability of domestic production, the less one would want to rely on reserves of any sort;
6. The longer the expected duration of the disruption, and hence the larger its impacts on welfare, the greater reserves should optimally be;
7. On the other hand, the greater the cost of accumulating and holding reserves (be it in the guise of actually holding stocks or of building domestic stand-by capacities), the lower the investment in security should be.

Already at this point, it becomes quite clear that IEA's 90 days rule for oil does not do justice to any of these factors except No. 6. In particular, important economic losses cannot be avoided if a simultaneous disruption of foreign supply of another source of energy such as electricity should occur. For the US, a scenario having some measure of probability can be envisaged as follows (*Lee et al., 1988)*: Hydro Quebec might experience partial or even systemwide failure, with important repercussions on all Northeastern states in the U.S., which heavily rely on Quebec electricity. At the same time, it may happen that one of the major foreign oil suppliers cannot deliver as usual, not least because of a war in the Middle East.

Optimizing reserves: some basic considerations

This section is devoted to an optimization model that takes into account multiple risks for oil and electricity, abstracting from other energy sources as well as nonenergy factors of production. It is appropriate to state the simplifications that will be formally introduced later on:

1. The objective is to minimize the sum of the costs of prevention and the one-period expected GDP loss in case of a supply disruption (see e.g. *Mork and Hall(1981)* for estimates of GDP loss in the case of the U.S.). Referring to the list of factors relevant for optimization discussed in the previous section, this means that item No. 2 (time preference) and No.3 (risk aversion) will not be taken into account. However, introducing risk aversion into the analysis to be presented below was found to leave the results unchanged.

2. The interruption shall be normalized to last one year, which of course does not do full justice to items No. 5 and 6 (adaptability, duration) of the list.

3. Correlations between risks are assumed away. For example, in the scenario sketched above, Canada may not want to supply the Northeastern U.S. because, being an oil importer, she finds herself under political pressure by a supplier boycotting the U.S.

This last scenario implies a positive correlation of oil and electricity shortfalls. In order to take it into account, one would have to introduce conditional probabilities. For example, the probability p_E of a disruption of electricity supply appearing in Table 1 below would be given by the weighted average of conditional probabilities, $p_{E|O}$ and $p_{E|\bar{O}}$:

$$p_E = p_{E|O} \cdot p_O + p_{E|\bar{O}} \cdot (1-p_O)$$

$p_{E|O}$: Conditional probability of a disruption of electricity supply given that there is a disruption of oil supply

p_O: Probability of a disruption of oil supply

$p_{E|\bar{O}}$: Probability of a disruption of electricity supply, given that there is no disruption of oil supply.

This means that p_E depends on p_O, causing the two events, "disruption of oil supply" and "shortfall of electricity" to be correlated. To repeat, such correlations are excluded from Table 1 below.

Table 1: Probabilities and losses caused by supply disruptions

Disruption of: Oil	Electricity	Probability	Loss
No	No	$(1-p_O)(1-p_E)$	0
Yes	No	$p_O(1-p_E)$	L_O
No	Yes	$(1-p_O)p_E$	L_E
Yes	Yes	$p_O p_E$	L_{OE}

Losses in terms of GDP will of course be maximum if oil and electricity are disrupted simultaneously (L_{OE}).

The GDP loss of an oil supply disruption can be lowered by an increase in stocks (S), with decreasing returns at the margin:

$$(1) \quad L_O = L_O(S) \ , \quad \frac{\partial L_O}{\partial S} < 0 \ , \quad \frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} > 0$$

S: Stocks of oil, without distinguishing the stage of refining.

There are two important differences between increasing stocks of an imported energy source and increasing capacity of domestic energy production. First, stocks normally do not themselves influence the probability of occurrence of a disruption, although in the case of the U.S., building up sufficient stock of crude may well decrease the likelihood of an oil embargo (*Balas, 1979).* By way of contrast, building up a great amount of domestic capacity for producing energy (e.g. electric power) will directly reduce the likelihood of a shortfall, although perfect security will never be attained. Second, such a build-up of capacity is likely to keep domestic electricity prices low, thus fostering increased utilization of electric power. This in turn serves to make the economy more dependent on this source of energy. Therefore, it is assumed that additional domestic capacity for electricity does not serve to mitigate GDP loss due to a shortfall of power supply. These considerations suggest the following assumptions

$$(2) \quad p_E = p_E(K)\,, \quad \frac{\partial p_E}{\partial K} < 0\,, \quad \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} > 0\,, \quad p_E > 0\,, \quad L_E = \bar{L}_E(K)\,, \text{ not dependent on } K$$

K: Domestic capacity of electric power production.

In order to introduce a severity ranking in a most simple way, the GDP loss in the case of a simultaneous shortfall of both sources of energy (L_{OE}) is linked to loss L_E through a factor of aggravation A which depends on the amount of oil stockpiled:

$$(3) \quad L_{OE} = A(S) \cdot L_E\,, \quad A > 1\,, \quad \frac{\partial A}{\partial S} < 0\,., \quad \frac{\partial^2 A}{\partial S^2} > 0\,, \quad L_{OE} > L_O$$

A: Aggravation factor, reflecting a simultaneous shortfall of energy supplies.

The decision problem of the policy maker can be seen as minimizing total expected cost due to preventive effort and expected loss, the two decision variables being S (stocks of oil) and K (domestic capacity of power production). By increasing K and/or S, the policy maker can reduce the expected GDP loss in case of a supply shortage. However, by doing this, he would also run into some other costs with certainty. Building up stocks uses space and capital, while making additional capacity for electricity production available has become costly because of local resistance against the siting of new (nuclear) power plants. For simplicity, marginal costs (π_S and π_K, respectively) are assumed independent of K and S, respectively; see *Wirl(1989)* for a strong argument in favor of π_K increasing with K, however.

In formal terms, the objective function reads

$$(4) \qquad \underset{K,\,S}{Min}\, Z = p_O\,(1-p_E)\,L_O + (1-p_O)\,p_E L_E + p_O p_E A \cdot L_E + \pi_S S + \pi_K K$$

π_S: Marginal cost of oil stocks (assumed constant)

π_K: Marginal cost of domestic production capacity (assumed constant)

First, it must be admitted that this objective function is much more normative than descriptive of actual behavior of policy makers. Indeed, the objectives of energy policy do not appear too well-defined (for a discussion of the U.S. case, see *Smith(1986)*). Second, it should be noted that there are many more ways to influence the security of energy supplies than just through K and S. Among the more market oriented ones, time of day pricing can be used to shift peaks in power demand, which may also decrease reliance on risky supplies of electricity, while insulation of homes is considered to be a major means for decreasing dependence on imported oil in the U.S. At the other extreme, rationing remains a popular measure for dealing with unexpected shortages. Thus, the choice of decision variables is much wider than suggested by equation (4). However, in the sequel we shall focus on S and K because they are of decisive importance for longer run options of energy policy in all Western countries.

As a first step, necessary conditions for an interior optimum are derived, yielding

$$(5) \qquad \frac{\partial Z}{\partial K} = -p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} L_O + (1-p_O) \frac{\partial p_E}{\partial K} L_E + p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} A \cdot L_E + \pi_K = 0$$

$$(6) \qquad \frac{\partial Z}{\partial S} = p_O\,(1-p_E) \frac{\partial L_O}{\partial S} + p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} L_E + \pi_S = 0\,.$$

It should be noted that optimal values $\{K^*, S^*\}$ do not themselves appear in the two equations. However, as soon as gradients are fixed optimally at $(\partial p_E/\partial K)^*$ and $(\partial p_O/\partial S)^*$, corresponding optimal values K^* and S^* are determined through equations (1) and (2). Specifically, solving equation (5) for $\partial p_E/\partial K$, one obtains

$$(7) \qquad \frac{\partial p_E}{\partial K}(K^*) = -\pi_K \cdot \frac{1}{-p_O L_O + (1-p_O)\,L_E + p_O A \cdot L_E}$$

$$= -\pi_K \cdot \frac{1}{-p_O L_O + (1-p_O + p_O A)\,L_E}$$

$$< 0 \quad \text{because} \quad p_O A \cdot L_E > p_O L_O\,.$$

The negative value of equation (7) indicates that in an optimum, there must still be room for reduction of the probability of a shortfall, which means that optimal capacity K^* will remain below an absolute maximum. As regards oil, an analogous derivation yields

$$(8) \qquad \frac{\partial L_O}{\partial S}(S^*) = -\left[\pi_S + p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} L_E\right] \frac{1}{p_O(1-p_E)}$$

$$< 0 \quad \text{as long as} \quad \left| \frac{\partial A}{\partial S} \cdot \frac{S}{A} \right| < \frac{\pi_S S}{p_O p_E L_{OE}} .$$

The inequality condition results from multiplying the bracketed expression by (S/A) and using again $L_{OE} \equiv A \cdot L_E$. The inequality condition could conceivably be violated, implying that stocks of oil S^* are too large for mitigating GDP losses due to an oil shortage anymore. For this to happen, however, the elasticity of the aggravation factor A with regard to oil reserves would have to exceed the ratio of the cost of holding these reserves relative to the expected value of a GDP loss caused by the simultaneous shortfall of both oil and electricity supplies. This combined event having a small probability of occurence, the RHS of the inequality in equation (8) is large, causing it to be satisfied as a rule. In the initial optimum, there would therefore still be an interest in increasing the size of oil stocks.

Pitfalls of one-dimensional decision rules

Policy making both at the national and at the international level (in particular, as suggested by IEA) tends to focus on one supply risk at a time, resulting in what may be dubbed one-dimensional decision rules such as "oil for 90 days". In the following, this (too narrow) way of looking at the problem will be mimicked by holding constant the decision variable S and varying capacity of domestic power supply K. In these artificial "optimal" conditions, how would domestic capacity for electricity production be adjusted? For analyzing this issue in the framework of the model, let there be economic growth, resulting in increased losses of GDP in the case of a disruption of electricity supply. Therefore, equation (7) can be used to determine how the dependent quantity $(\partial p_E/\partial K)$ would have to be adjusted when L_E increases. Partial differentiation of equation (8) yields

$$(9) \qquad \frac{\partial}{\partial L_E}\left[\frac{\partial p_E}{\partial K}\right] = +\pi_K \frac{1}{[-p_O L_O + (1-p_O+p_O A)\cdot L_E]^2} \cdot (1-p_O+p_O A)$$

$$> 0 \rightarrow \frac{\partial K^*}{\partial L_E} > 0 .$$

Due to the change impacting on the decision situation, the value of the gradient $\partial P_E/\partial K$ has

to be set anew. According to equation (9), it will move towards zero while remaining negative. This adjustment will call for an increase of domestic capacity for power production [cf. the assumptions introduced in the context of equation (2)]. Adjusting production capacity in the wake of economic growth conforms with intuition; however, closer inspection of equation (9) shows the amount of adjustment to depend positively on π_K. Thus, the higher the marginal cost of additional capacity, the more one would be led to invest in additional power plants. This implication makes little sense, but it serves to illustrate the risks inherent in pursuing a one-dimensional policy in the public interest.

Another exogenous shock likely to spark adjustments of domestic capacity of power production is an increase in the likelihood of another oil crisis. If adjustment is again required to involve only domestic capacity for power production, abstracting from the opportunities offered by oil stocks, one has

$$(10) \quad \frac{\partial}{\partial p_O}\left[\frac{\partial p_E}{\partial K}\right] = +\pi_K \frac{1}{[-p_O L_O + (1 - p_O + p_O A)\cdot L_E]^2}(-L_O - L_E + A\cdot L_E)$$

$$> 0, \text{ if } A\cdot L_E \equiv L_{OE} > L_E + L_O \rightarrow \frac{\partial K^*}{\partial p_O} > 0$$

$$< 0, \text{ otherwise} \rightarrow \frac{\partial K^*}{\partial p_O} < 0.$$

If the loss due to a simultaneous shortfall of both energy supplies exceeds the sum of losses caused by shortfalls of the two supplies individually, then indeed the optimum would have to move to a new point such that the marginal effect of additional power capacity on the probability of shortfall p_E goes towards zero. In other words, under rather realistic conditions, an increased oil supply risk would justify increased efforts at securing domestic capacity of power production in this constrained, one-dimensional analysis. However, the amount of adjustment would again depend positively on π_K, the marginal cost of additional capacity for power production. Thus, once more this type of one-dimensional policy can be of but limited rationality.

A more global analysis

After this criticism of the one-risk-at-one-time policy of industrial countries with regard to security of energy supply, we now turn to a more global approach by admitting of simultaneous adjustment of both domestic capacity of power production K and of oil stocks S. Again, economic growth will be introduced as an exogenous shock calling for adjustment. The impulse is given by $dL_E > 0$, symbolizing increased GDP losses in case of a shortfall of electricity supplies.

This impulse impinges on first-order optimal conditions given in equations (5) and (6), calling for adjustments dS^* and dK^* in the neighborhood of the initial optimum, with necessary conditions again satisfied at the new optimum. Accordingly, the total differential of equation (5) must amount to zero:

$$(11) \quad -p_O \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} L_O \cdot dK^* - p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial L_O}{\partial S} \cdot dS^* + (1-p_O) \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} L_E \cdot dK^*$$

$$+ (1-p_O) \frac{\partial p_E}{\partial K} dL_E + p_O \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} A \cdot L_E \cdot dK^* + p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial A}{\partial S} L_E dS^*$$

$$+ p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} A \cdot dL_E = 0 .$$

The impulse $dL_E > 0$ also serves to disturb the first-order optimum condition stated in equation (6) , resulting in

$$(12) \quad -p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial L_O}{\partial S} \cdot dK^* + p_O(1-p_E) \frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} \cdot dS^*$$

$$+ p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial A}{\partial S} L_E \cdot dK^* + p_O p_E \frac{\partial^2 A}{\partial S^2} L_E dS^* + p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} \cdot dL_E = 0 .$$

In matrix algebra, the two equations can be written as

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2}\left[-p_O L_O + (1-p_O+p_O A)L_E\right] & p_O \frac{\partial p_E}{\partial K}\left[\frac{\partial A}{\partial S}L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S}\right] \\ p_O \frac{\partial p_E}{\partial K}\left[\frac{\partial A}{\partial S}L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S}\right] & p_O(1-p_E)\frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} + p_O p_E \frac{\partial^2 A}{\partial S^2}L_E \end{bmatrix}$$

(13)

$$\text{x} \begin{bmatrix} dK^* \\ dS^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(1-p_O+p_O A)\frac{\partial p_E}{\partial K} \\ -p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} \end{bmatrix} dL_E \,.$$

The solution of the resulting system of two simultaneous equations yields (with $\Delta > 0$ due to positive definiteness of the matrix on the RHS of equation (13)),

$$(14)\quad \frac{dK^*}{dL_E} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} -(1-p_O+p_O A)\frac{\partial p_E}{\partial K} & p_O \frac{\partial p_E}{\partial K}\left[\frac{\partial A}{\partial S}L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S}\right] \\ (+) & (+/-) \\ -p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} & p_O(1-p_E)\frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} + p_O p_E \frac{\partial^2 A}{\partial S^2}L_E \\ (+) & (+) \end{bmatrix}$$

$$> 0 \quad \text{if} \quad L_E < \frac{\partial L_O/\partial S}{\partial A/\partial S} \quad \text{or} \quad |\partial A/\partial S| \approx 0$$

$$< 0 \quad \text{if} \quad L_E > \frac{\partial L_O/\partial S}{\partial A/\partial S} \quad \text{and} \quad |\partial A/\partial S| \text{ large.}$$

The condition on L_E derives from the one element of equation (14) whose sign is ambiguous. It requires that the GDP loss due to an electricity shortage, which cannot be reduced by stepping up K by assumption, be not too large for the "normal" reaction to prevail. Alternatively, $\partial A/\partial S$ would have to be (very) small, signifying that oil stocks fail to mitigate at least indirectly the consequences of a high value of L_E through dampening its carry-over to L_{OE}, the GDP loss of a simultaneous shortfall of both sources of energy. Indeed, the counter-intuitive reaction of decreasing production capacity is conceivable if the GDP loss caused by the shortfall of electricity supply (L_E) exceeds the limit given above, while $|\partial A/\partial S|$ is large. This does not prove, however, that there should optimally be an "indirect" reaction through increased oil stockage. In fact, one has

(15)

$$\frac{dS^*}{dL_E} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \underset{(+)}{\frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2}\left[-p_O L_O + (1-p_O+p_O A)L_E\right]} & \underset{(+)}{-(1-p_O+p_O A)\frac{\partial p_E}{\partial K}} \\ \underset{(+/-)}{p_O \frac{\partial p_E}{\partial K}\left[\frac{\partial A}{\partial S}L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S}\right]} & \underset{(+)}{-p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S}} \end{bmatrix}$$

$$> 0 \quad \text{if} \quad L_E < \frac{\partial L_O/\partial S}{\partial A/\partial S} \quad \text{or} \quad |\partial p_E/\partial K| \approx 0 \quad \text{(sufficient conditions)}$$

$$< 0 \quad \text{if} \quad L_E > \frac{\partial L_O/\partial S}{\partial A/\partial S} \quad \text{and} \quad |\partial p_E/\partial K| \quad \text{large.}$$

Once more, the GDP loss due to an electricity shortage must not be too large to make an active oil stockpiling policy worthwhile in any case. If that condition is not met, oil stockpiling can still be worthwhile if $|\partial p_E/\partial K|$ has a small value, indicating a situation where additional domestic production capacity does little to enhance security of supply.

This discussion should not be understood to suggest that capacity adjustment and stockpiling are mutually exlusive alternatives. In fact, if the GDP loss (L_E) due to an interruption of electricity supply remains below the bound stated in equation (14) and (15), production capacity and oil reserves should both be increased in reaction to higher losses L_E. Even if L_E exceeds that bound, it may still be optimal to use the two instruments in parallel, in the positive as well in the negative direction. Finally, the combination ($dK^*/dL_E < 0$, $dS^*/dL_E > 0$) cannot be excluded as inappropriate as soon as L_E exceeds the bound stated in equations (14) and (15). The requirement that $|\partial A/\partial S|$ be large from equation (14) has no definite repercussions on equation (15), while the smallness condition on $\partial p_E/\partial K$ stated there has a mixed impact in equation (14). The logic underlying this apparently puzzling combination is the following. If the GDP loss due to an electricity shortage (L_E) is very large, the loss caused by a simultaneous shortage (L_{OE}) will also be large, ceteris paribus (see equation (3)). Since domestic capacity of power production does not contribute to reducing these losses, decreasing their second component through additional oil reserves remains a viable alternative - if its effect on the aggravation factor is strong enough (see equations (2) and (3)).

In conclusion, equations (14) and (15) show that a more globally oriented policy of energy supply security would have to take into due account a few parameters that hardly have entered the debate so far. For example, the changing effectiveness of a continuing capacity build-up for domestic power production ($\partial^2 p_E/\partial K^2$) and the changing effectiveness of additional stockpiling of oil ($\partial^2 L_O/\partial S^2$, $\partial^2 A/\partial S^2$) both play an important role in determining the appropriate policy mix. Moreover, equations (14) and (15) have the

advantage of explicitly showing the decisive rôle of a parameter such as the GDP loss caused by an electricity shortage (L_E), thus providing a basis for optimal reaction to changing conditions in energy markets both domestic and worldwide.

Final comments and conclusions

Aiming at autarky and fostering international exchange do not go well together. In energy too, there is a trade-off between the security of supply and the cost of stockpiling imported energy and of building up domestic capacity of production. With both national policies and recommendations by the International Energy Agency ("oil reserves for 90 days") focusing on one supply risk at a time, this trade-off is unlikely to be the least-cost one. The problem is that it discards the very real possibility of a simultaneous shortfall of two or more energy supplies. In this contribution, the seemingly optimal reactions of a decision maker pursuing such a one-dimensional policy to exogenous changes are derived. These adjustments may go in the opposite direction from the one compatible with a more global policy of simultaneous risk management; at the very least, the "optimal" amount of adjustment could but exacerbate suboptimality. These findings point to the necessity of redirecting energy security policy, away from addressing one source of energy at a time towards an approach capable of dealing with simultaneous supply risks and their specific properties.

References

Balas, Egon (1979), The Strategic Petroleum Reserves: How Large Should It Be? Report No. 436, Pittsburgh, Pennsylvania: Carnegie Mellon University.

Henze, Arno (1983), Nutzen-Kosten-theoretische Überlegungen zur Sicherstellung der Versorgung für Krisenzeiten (Cost Benefit Reflections on Securing Supplies in Times of Crisis), in: Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Berlin, p. 129-142.

International Energy Agency (IEA) (1974), Agreement concerning a International Energy Program, as of Nov. 18, 1974. Paris: OECD.

Mork, K. A. and Hall, R. E. (1981), Macroeconomic Analysis of Energy Price Shocks and Offsetting Policies: An integrated approach, in: Mork, K.A. (ed.), Energy Prices, Inflation, and Economic Activity, Cambridge Mass., Ballinger, 1981, p.43-62.

Lee, H., Foster, N. and Parson, E. (1988), Canadian Electricity Imports: An Assessment of the National Security, Economics, and Environmental Implications, Harvard: J.F. Kennedy School Discussion Paper No. E-88=06.

Sanghvi, A. P., Shavel, I. H. and Wagner, M. H. (1983), Fuel Diversification, Stockpiling, and System Interconnection Strategies for Minimizing Power System Vulnerability to Energy Shortages, in: Lev, B. (ed.), Energy Models and Studies, North-Holland Publ. Company, 1983, p.235-254.

Smith, T. R. (1986), U.S. Energy Policy in a Changing Market Environment, in: Economic Review - Federal Reserve Bank of Kansas City, September/October, p.16-30.

VSE, Swiss Association of Electricity Producers (1979), Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz 1979-1990 (Sechster Zehn-Werke-Bericht) (Perspectives on Swiss Electricity Supply, 1979-1990, Report of the Ten Utilities), June.

Wirl, F. (1989), Optimal Capacity Expansion of Hydro Power Plants, in: Energy Economics, vol.11, No.2, p.133-136.

ENERGIE-MODELL ZÜRICH

Konzept einer Energieversorgung für die Wirtschaft in der Stadt Zürich, mit besonderem Schwerpunkt der Elektrizitätsversorgung

Thomas Bürki, Ernst Basler & Partner AG,

Ingenieurunternehmen, Zollikon

DIE ZIELSETZUNG

In der Stadt Zürich sind zunehmende Schwierigkeiten in der Belieferung der Wirtschaft mit der nachgefragten Energiemenge voraussehbar. Vor allem das Angebot von Elektrizität nimmt, speziell im Winter, langsamer zu als die Nachfrage. Die inländische Produktion lässt sich wegen des faktischen Moratoriums für den Bau weiterer Grosskraftwerke nur noch unwesentlich steigern. Deshalb zeichnen sich mittelfristig Preiserhöhungen und ein Versorgungsengpass ab.

Beim Einsatz fossiler Energien bilden die Emissionen das Hauptproblem. In der Stadt Zürich sind heute vor allem die Stickoxide (NO_x) kritisch. Der NO_x-Ausstoss muss deshalb innert weniger Jahre stark gesenkt werden. Da der CO_2-Ausstoss zur befürchteten Klimaveränderung beiträgt, muss auch er langfristig reduziert werden.

Acht Unternehmen (SBG, SKA, Jelmoli, Genossenschaft Migros ZH, Papierfabrik an der Sihl, Toni Molkerei, Sulzer Escher Wyss, Contraves), die zu den grössten privatwirtschaftlichen Energieverbrauchern der Stadt Zürich zählen, haben sich anfangs 1988 zu einer ad hoc Arbeitsgruppe zusammengeschlossen. Sie beauftragte das Ingenieurunternehmen Ernst Basler & Partner AG, Zollikon, ein Modell zu entwickeln, wie die zukünftige Versorgung mit Energie gewährleistet und dem erwarteten Versorgungsengpass mit Elektrizität entgegengewirkt werden kann, ohne dass die Umwelt zusätzlich belastet wird.

Durch den Zusammenschluss der acht Unternehmen in einer Arbeitsgruppe können auch gemeinsame, koordinierte Lösungen gesucht werden, die ein einzelnes Unternehmen nicht alleine realisieren kann. Zusätzlich will die Gruppe über die bisherigen grossen Sparanstrengungen hinaus aktiv werden.

Das Modell soll sowohl Forderungen der Wirtschaft als auch politisch-gesellschaftliche und ökologische Rahmenbedingungen berücksichtigen:

Es ist so zu gestalten, dass es allseits akzeptiert werden kann. Im Vordergrund der Überlegungen stehen Versorgungssicherheit und Ökologie; entsprechend hatten rein betriebswirtschaftliche Renditeüberlegungen zweite Priorität. Deshalb wurden für die Massnahmen, die zur Umsetzung des Modells realisiert werden müssen, deutlich höhere Pay-back-Fristen als üblich in Kauf genommen; unter Umständen verzichtet man sogar auf die Amortisation eines Teils der Investitionskosten. Auf diese Weise sollen die externen Kosten des Energieverbrauchs ansatzweise einbezogen werden.

Das Ziel besteht also darin, zu untersuchen, wie der Elektrizitätsverbrauch der acht Unternehmen und ihre Emissionen in der Stadt Zürich in Zukunft reduziert werden können.

DAS VORGEHEN

In die Untersuchung wurden alle ca. 200 Objekte der acht Unternehmen einbezogen, weshalb ein sehr pragmatischer Ansatz gewählt wurde. Die Unternehmen wurden auf Grund ihrer unterschiedlichen Energie-Verbrauchsstruktur in eine Dienstleistungs-und eine Industriegruppe unterteilt.

Aus den Grobanalysen an zehn repräsentativen Gebäuden aus dem Dienstleistungsbereich wurde das **Sparpotential an Wärme und Elektrizität** für den gesamten Gebäudepark der vier Dienstleistungsunternehmen abgeleitet. Mit den Angaben der Unternehmen über ihre prognostizierte Entwicklung wurde dann der Verlauf des zukünftigen Energieverbrauchs abgeschätzt.

Bei den vier Industrieunternehmen betrachtete man alle Produktionsanlagen und schätzte das Sparpotential ab. Anschliessend wurde ebenfalls der Verlauf des Energieverbrauchs der nächsten Jahre anhand der Expansionspläne abgeschätzt.

Nach dem Ermitteln des Sparpotentials wurde untersucht, wie die verbleibende benötigte Energie möglichst rationell und mit gutem Wirkungsgrad erzeugt werden kann. Eine Möglichkeit dies zu erreichen ist die Installation von WKK-Anlagen bei grossen Wärmeverbrauchern sowie das Schaffen von Wärmeverbünden zwischen verschiedenen Unternehmen und deren Speisung mit WKK-Anlagen. In diesem Bereich wurden mehrere Machbarkeitsstudien durchgeführt, um abzuklären, ob alle nötigen Bewilligungen der Behörden, darunter vor allem die Durchleitungsrechte durch öffentlichen Grund, erhältlich sind.

DIE RESULTATE

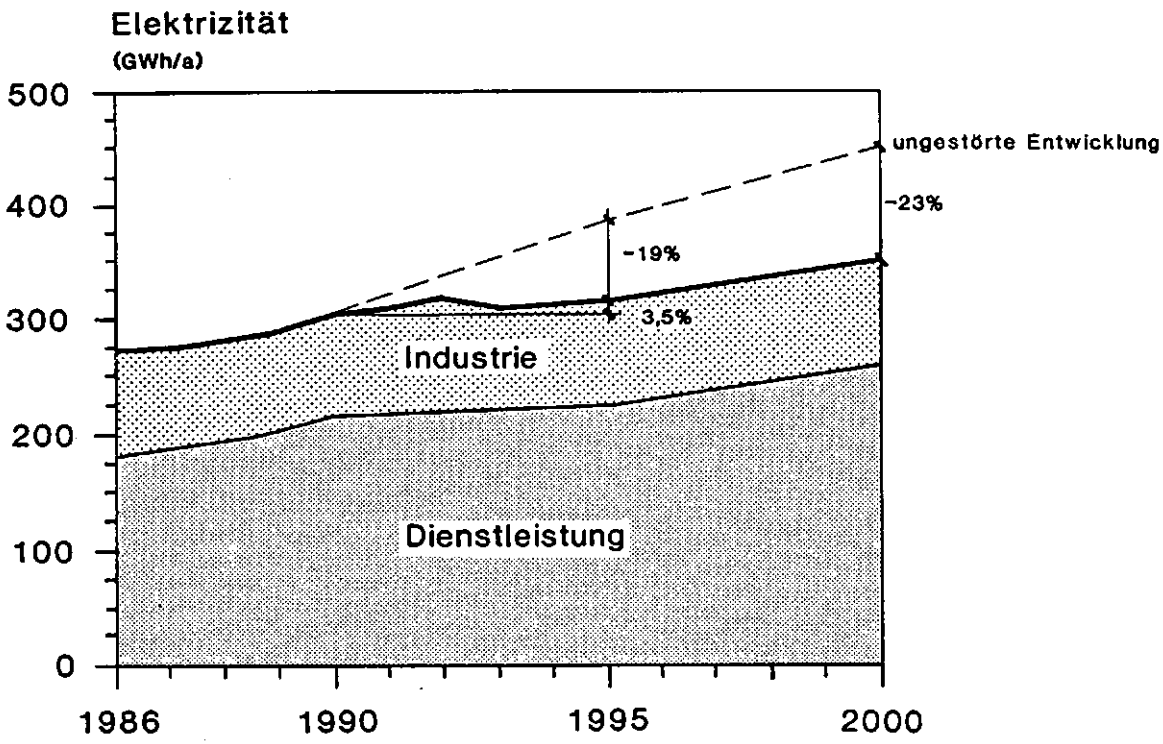
Bereich Elektrizität

Die 10 Grobenergieanalysen an repräsentativen Gebäuden aus dem Dienstleistungssektor lassen darauf schliessen, dass ein durchschnittliches Sparpotential am gesamten Gebäudepark von rund 13 % zu erwarten ist; die Schwankungen der einzelnen Gebäude liegen zwischen ca. 6 und 30 %. Typische Sparmassnahmen sind die Sanierung der Beleuchtung, die einen grossen Anteil am Sparpotential haben kann, sowie die Betriebsoptimierung der haustechnischen Anlagen und die Reduktion des Kühlmaschinenbetriebs.

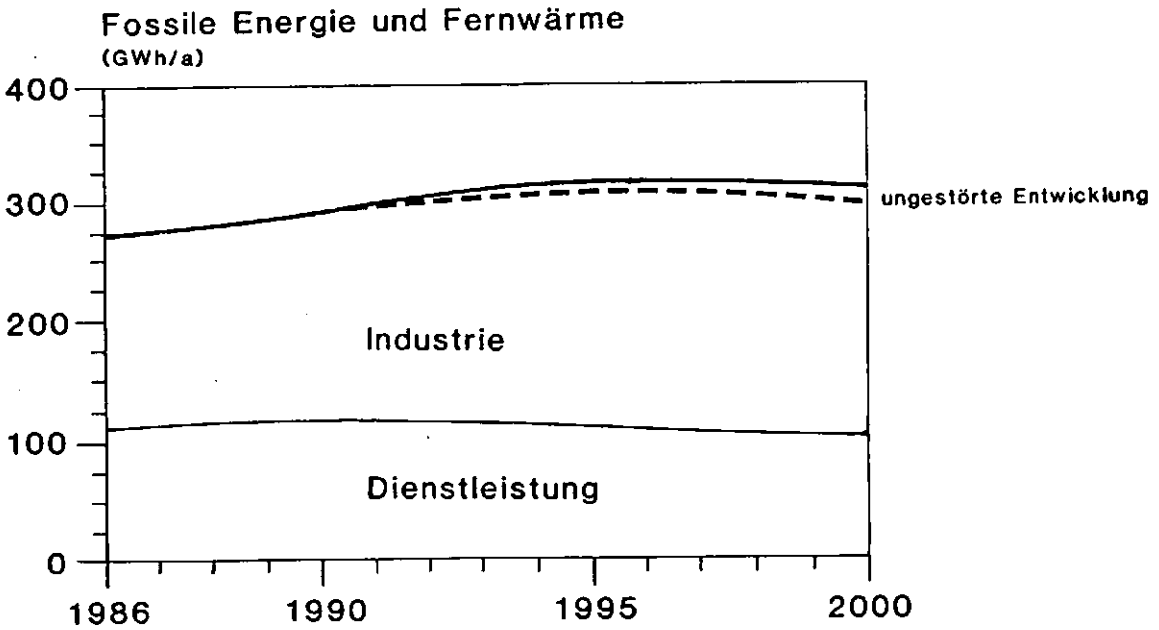
In den Industriebetrieben ist ein Sparpotential zwischen 2 und 5 % zu erwarten.
Bei den Industriebetrieben führen Einzelmassnahmen, die für die jeweilige Produktionsart typisch sind, zu diesen Einsparungen.

Bei Neu-, Um- und Erweiterungsbauten kann der spezifische Elektrizitätsverbrauch durch gezieltes Planen deutlich unter die heute üblichen Werte gesenkt werden. Schliesslich liegt ein beträchtliches Eigenerzeugungspotential durch WKK-Anlagen vor. Allein in den vier untersuchten Anlagen können mindestens 20'000 MWh $_{el}$/a erzeugt werden.

Werden alle diese Massnahmen konsequent umgesetzt, kann der Bezug ab EWZ-Netz im Vergleich zu einem unbeeinflussten Anwachsen des Stromverbrauchs Mitte der 90er Jahre mindestens 19 %, im Jahr 2000 rund 23 % reduziert werden. Das bedeutet, dass der wachstumsbedingte Mehrverbrauch weitgehend kompensiert werden kann und der Netzbezug Mitte der neunziger Jahre nicht nennenswert höher liegt als heute.



Figur 1: Erwarteter Verlauf des Elektrizitätsverbrauchs aller acht Unternehmen bis ins Jahr 2000. Die Reduktion des Netzbezugs zwischen 1992/93 resultiert aus der Inbetriebnahme der WKK-Anlage in der Papierfabrik an der Sihl



Erwarteter Verlauf des Gesamtverbrauchs an fossiler Energie und Fernwärme aller acht Unternehmen bis ins Jahr 2000. Die deutlich sichtbare Zunahme des Verbrauchs zwischen 1992/93 ist auf die Inbetriebnahme der WKK-Anlage in der Papierfabrik an der Sihl zurückzuführen.

Bereich Wärme

Mit dem gleichen Vorgehen wurde ein durchschnittliches Wärmesparpotential bei den Dienstleistungsunternehmen von ca. 17 % ermittelt worden; die Schwankungsbreite beträgt hier 6 - 50 %. Bei den Industrieunternehmen wird die Wärme überwiegend als Prozesswärme verbraucht. Das Sparpotential liegt deshalb naturgemäss tiefer; es beträgt nur etwa 1 - 2 %. Aufgrund

der Ausweitung der industriellen Produktion in den 90er Jahren und dem damit verbundenen Mehrverbrauch an Prozessenergie und der Installation einer WKK-Anlage nimmt der Verbrauch an fossiler Energie insgsamt zu.

Bereich Umwelt

Berücksichtigt man die Wachstumsprognosen der Unternehmen, das Sparpotential sowie den Mehrverbrauch an fossiler Energie durch die WKK-Anlagen, wird der Verbrauch an fossiler Energie bis ins Jahr 2000, verglichen mit 1989, um maximal 25 % ansteigen.

Die Emissionen der heute installierten Kessel liegen über den im Massnahmenplan Feuerungen von Stadt und Kanton geforderten Werten. Geht man davon aus, dass diese strengen Werte bis in 5 Jahren ebenfalls eingehalten werden, kann die NO_x-Fracht, verglichen mit heute, um mindestens 60 % gesenkt werden. Falls anstelle von Schweröl Heizöl EL und Erdgas verbraucht werden, sinkt der SO_2-Ausstoss ebenfalls um etwa 60 %. Der CO_2-Ausstoss wird dagegen um knapp 20 % zunehmen.

Über den Verlauf des CO- und HC-Ausstosses ist eine Prognose wegen fehlender Messwerte schwierig; sie dürften aber tendenziell steigen.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Die Massnahmen, die zu den oben aufgeführten Resultaten führen, sind im Sinne der Zielsetzung wirtschaftlich, d.h. für gewisse Massnahmen werden deutlich längere Pay-back-Fristen als üblich akzeptiert. Sie erreicht bei einigen Sanierungsmassnahmen 15 Jahre.

AUSBLICK

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe sind sich einig, dass das Energieproblem langfristig nur gelöst werden kann, wenn zunehmend erneuerbare Energien eingesetzt werden. Diese fallen aber, vor allem zur Elektrizitätserzeugung, meist mit sehr geringer Energiedichte an (Sonne, Wind); deshalb können sie (zumindest mittelfristig) nur einen geringen Beitrag zur Deckung eines konzentrierten Energiebedarfs leisten. Die Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien werden zur Zeit intensiv vorangetrieben; sie werden aber erst im nächsten Jahrhundert im grossen Umfang einsetzbar sein.

Deshalb wurden in der vorliegenden Arbeit auch langfristige Investitionen untersucht, die beim Einsatz neuer Technologien weiterverwendet werden können. In diesem Sinne wird Wärme-Kraft-Kopplung als kurzfristige Übergangslösung betrachtet, die relativ flexibel an neue Technologien oder Brennstoffe, wie z.B. Brennstoffzellen oder Wasserstoff, angepasst werden kann. Auf lange Nutzung angewiesene Systeme wie z.B. Fernwärmeleitungen können auch bei einem solchen Wechsel der Wärmeerzeugung weiterhin genutzt werden.

UMSETZUNG

In der nächsten Phase werden die beschriebenen Massnahmen am ganzen Gebäudepark realisiert. Um sowohl eine effiziente Umsetzung als auch einen intensiven Erfahrungsaustausch zu garantieren, wird die Arbeitsgruppe bestehen bleiben; hier werden umfangreiche Projekte koordiniert (d.h vor allem Projekte, an deren Realisierung mehrere Unternehmen beteiligt sind), die bei der Realisierung gemachten Erfahrungen ausgetauscht und die Erfolgskontrolle durchgeführt. Der Hauptbestandteil der Erfolgskontrolle ist die gemeinsam geführte Energiestatistik; sie verlangt damit von jedem Unternehmen die Offenlegung der unternehmenseigenen Energie-Verbrauchsdaten. Sowohl der Erfahrungsaustausch als auch das koordinierte Vorgehen werden anderen Unternehmen zugänglich gemacht. Die Realisierung der vorgeschlagenen Massnahmen an allen Gebäuden erfordert grosse (auch finanzielle) Anstrengungen seitens der beteiligten Unternehmen.

Wie aus den Resultaten ersichtlich ist, haben sich einige typische Massnahmen sowohl zur Energieeinsparung als auch zur rationellen Energieanwendung herausgestellt; diese können aber nicht als fertige Rezepte angewendet werden. Es ist viel mehr eine sorgfältige Planung jedes einzelnen Gebäudes nötig, wobei die hier entwickelten Massnahmen einen vom Gebäudetyp abhängigen Stellenwert haben.

PRAGMATISCHES MODELL ZUR UNTERSUCHUNG VON ENERGIE- UND UMWELTRELEVANTEN MASSNAHMEN IM VERKEHR (CIST 307)

W. Baumgartner

Basler & Hofmann, Zürich

1. Vorgeschichte

Im Rahmen der europäischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Forschung (Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique, COST) wird eine Forschungsaktion unter dem Titel "Rationeller Energieeinsatz im interregionalen Verkehr" durchgeführt. Das Ziel der Aktion ist die Bereitstellung von Grundlagendaten und Analyseinstrumenten zur qualitativen und quantitativen Einschätzung von Substitutions- und Energiesparmassnahmen im interregionalen Verkehr. Diese sollen primär hinsichtlich ihrer energetischen, verkehrlichen und ökologischen, sekundär auch hinsichtlich ihrer ökonomischen und sozialen Wirkungen untersucht werden.

Für die in Form einer konzertierten Aktion durchzuführenden Arbeiten - jedes beteiligte Land führt in internationaler Abstimmung die seinen Bedürfnissen entsprechenden Forschungsarbeiten durch und bezahlt seinen Aufwand selbst - steht auf Schweizer Seite ein Forschungskredit von 0.5 Mio Franken zur Verfügung. Neben der Schweiz nehmen Belgien, Deutschland, die EG, Frankreich, Jugoslawien, Italien, die Niederlande, Portugal und Spanien an der Aktion teil. Die Aktion war ursprünglich auf zwei Jahre beschränkt, ist aber vor kurzem um ein Jahr verlängert worden und dauert noch bis Ende 1991.

Zur Konkretisierung des schweizerischen Beitrags zur COST-Aktion 307 hatte das federführende Bundesamt für Energiewirtschaft eine Vorstudie[1] in Auftrag gegeben. Das daraus abgeleitete Forschungsprogramm berücksichtigt insbesondere den internationalen Rahmen des COST-Projektes, die Bedürfnisse des Auftraggebers, die Diskussionen mit der Begleitgruppe und nicht zuletzt die finanziellen Randbedingungen.

---

[1] "Rationeller Energieeinsatz im interregionalen Verkehr", Vorstudie zur COST-Aktion 307 im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Basler & Hofmann, Güller + Arend, Zürich, 1988.

2. Allgemeine Zielsetzung des schweizerischen Beitrags

Primäres Ziel für den schweizerischen Beitrag zur COST-Aktion 307 "Rationeller Energieeinsatz im interregionalen Verkehr" ist die Erarbeitung eines pragmatischen Analyseinstrumentes zur qualitativen und quantitativen Beurteilung von Substitutions- und Energiesparmassnahmen im (interregionalen[2]) Verkehr.

Zu diesem Zweck soll ein einfaches, benutzerfreundliches EDV-gestütztes "Werkzeug" zur Politikberatung erarbeitet werden. Darin werden die wichtigsten Einzelmassnahmen, Massnahmenpakete und Handlungsstrategien, die angenommenen Wirkungsmechanismen, die Voraussetzungen, die qualitativen und quantitativen Auswirkungen und Nebenwirkungen (Inzidenzen mit andern Massnahmen auch anderer Bereiche, z. B. Umwelt) sowie Implementations- und Akzeptanzprobleme dargestellt. Dieser Text liegt sowohl in Papier- als auch in EDV-Form vor. Letzteres erlaubt die Einbettung des Textes in eine Art "Expertensystem". Mit Hilfe eines benutzerfreundlichen EDV-Programms (auf beigelegter Diskette mit Benutzerhandbuch) soll der Benützer verschiedene Rahmenbedingungen und politische Handlungsalternativen selbst simulieren können. Er soll sich also von den jeweils beispielhaft durchgerechneten Szenarien lösen und ohne grossen Aufwand eigene Rechnungen durchführen können. So wird er auch erfahren, dass verschiedene Modellansätze durchaus zu verschiedenen Voraussagen über die Wirkungen von Massnahmen führen. Für diese eigenhändigen Rechnungen wird lediglich eine gewisse Vertrautheit mit handelsüblichen Kalkulationsprogrammen unterstellt.

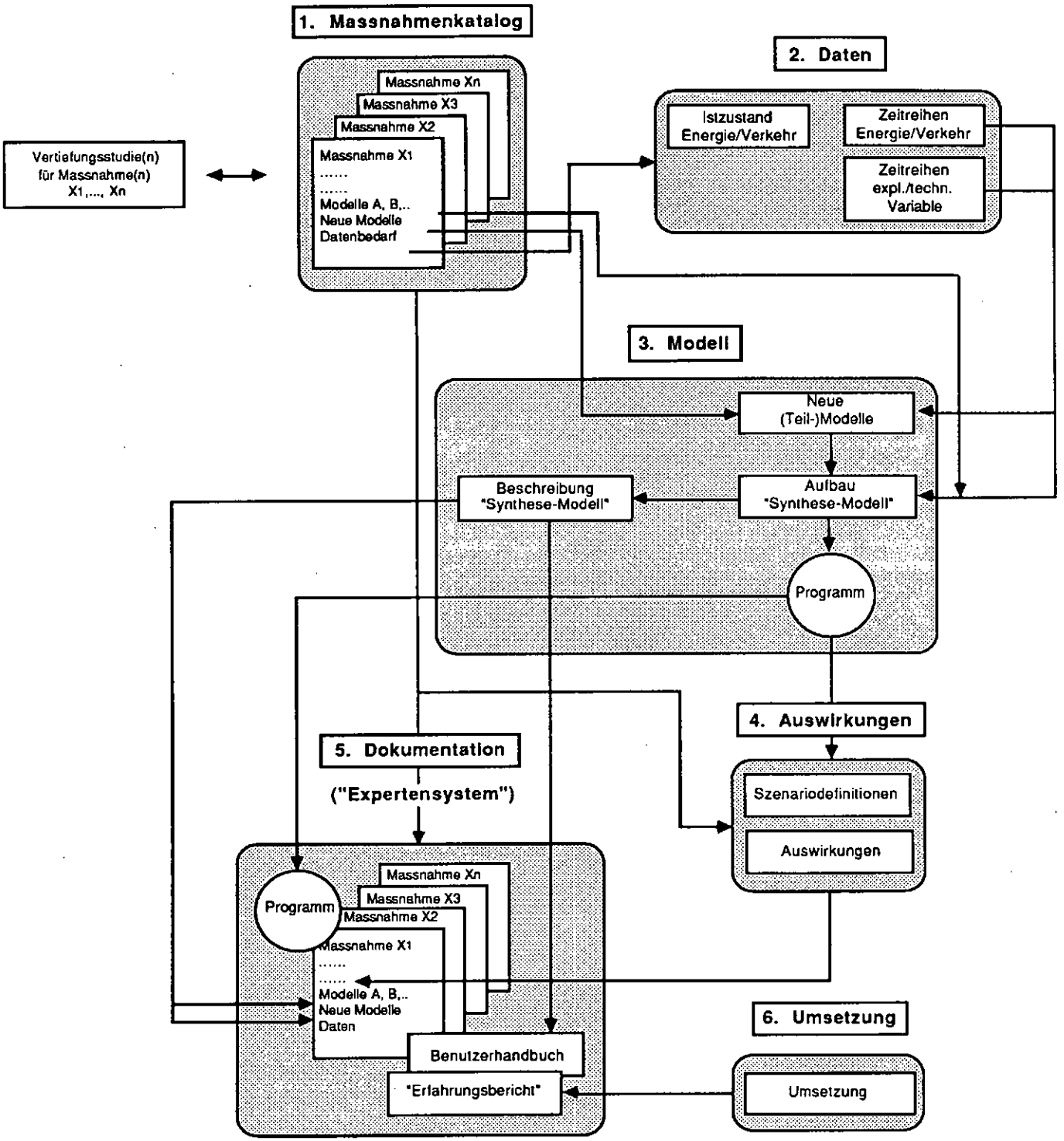
Sekundäres Ziel ist die Erarbeitung eines detaillierten Bildes über die im Verkehr verbrauchte Energie (Bestimmung des Istzustandes).

3. Aufgaben

Figur 1 gibt einen Ueberblick über die wichtigsten Teilaufgaben und ihre Abhängigkeiten wie sie sich aus dem Forschungsprogramm für den schweizerischen Beitrag zur COST-Aktion 307 ergeben.

---

[2] Im Rahmen der Vorbereitung der Aktion zeigte es sich bald, dass für die Schweiz eine Beschränkung auf den interregionalen Verkehr wegen fehlender Daten nicht durchführbar war. Auch in andern Ländern erwies sich die Datenlage schlechter als vorausgesehen, so dass heute grundsätzlich der gesamte Verkehr Gegenstand der Untersuchungen ist, allerdings orientiert sich die Auswahl der Massnahmen an den Gegebenheiten und Wirkungsinterdependenzen des interregionalen Verkehrs. Man wird im Massnahmenkatalog also keine Massnahmen finden, die sich ausschliesslich auf den regionalen Verkehr beziehen.



Figur 1: Die wichtigsten Teilaufgaben und ihre Abhängigkeiten.
Die Pfeile deuten die massgeblichen Informationsflüsse an.

Es folgt eine knappe Beschreibung der zu erledigenden Aufgaben, ergänzt durch Angaben zum Stand der Arbeiten.

3.1 Vertiefungsstudie(n)

Im Rahmen des COST-Kredites sind vorderhand keine gesonderten Vertiefungsstudien für einzelne Massnahmen vorgesehen. Hingegen werden separat durchgeführte Untersuchungen einbezogen.

3.2 Massnahmenkatalog

Mit der Erarbeitung eines umfangreichen Katalogs der wichtigsten energierelevanten Massnahmen im interregionalen Verkehr wird das vorhandene Wissen erfasst. Der Katalog dient als Basis für die weiteren Arbeiten im Rahmen des COST-Projektes 307. Insbesondere erlaubt es der Katalog, Datenlücken festzustellen und allfälligen Modellierungsbedarf aufzuzeigen.

Massnahmen zur Förderung des OeV (Bahn 2000, NEAT, etc.) stehen im Vordergrund. Die Auswahl und Anordnung der in den Katalog aufzunehmenden Massnahmen orientiert sich an einem sechsstufigen Modell des Verkehrsgeschehens, aus dem sich die Ansatzstellen für die Beeinflussung des Energieeinsatzes im interregionalen Verkehr ergeben:

Stufe 1: Verkehrserzeugung,
Stufe 2: Verkehrsverteilung,
Stufe 3: Verkehrsmittelwahl,
Stufe 4: Fahrzeugauslastung,
Stufe 5: Fahrzeugpark,
Stufe 6: Fahrtabwicklung.

Dieser Ansatz erlaubt sowohl "direkte" ökonometrische Schätzungen des Energieverbrauchs, wie auch verschiedene Bottom-up-Ansätze auf der Basis von Verkehrsleistungen methodisch sauber zu integrieren.

Weiterere Angaben hierzu finden sich Schlussbericht zum Teilprojekt "Massnahmenkatalog" vom August 1989[3] sowie in der bereits zitierten Vorstudie.

3.3 Daten

Für einige wenige Stichjahre ist auf der Basis der in der Schweiz verfügbaren, aber nicht in jedem Fall kohärenten Daten ein möglichst detailliertes und in sich konsistentes Bild der im Verkehr verbrauchten Energien (Inlandkonzept) zu erarbeiten.

---

[3] "Schlussbericht zum Teilprojekt "Massnahmenkatalog", Güller+Reinhardt+Arend, Zürich, August 1989.

Für das Jahr 1985 ist ein solcher Datensatz erstellt worden[4] . Hierzu wurde u. a. auch die Software QUANTOR (zur Bearbeitung "unscharfer Daten") eingesetzt[5] .

Im Hinblick auf die Modellbedürfnisse (siehe Abschnitt 3.4) sind auch geeignete Zeitreihen zu erstellen. Diese betreffen sowohl technisch-ökonomische Daten (spezifische Energieverbräuche, Fahrzeugpark-Zusammensetzung, etc.) wie auch sozioökonomische Rahmendaten für zwei Standardszenarien (Bevölkerung, Energiepreise, BIP, etc.).

Diese Zeitreihen müssen noch erstellt werden.

3.4 Modelle

Zur quantitativen Abschätzung der Energie-, Verkehrs- und Umwelt-Wirkungen der zu untersuchenden Massnahmen soll ein benutzerfreundliches "Synthese-Modell" aufgebaut werden. Hierfür werden grundsätzlich die in der Schweiz bestehenden Modellansätze (ökonometrische Ansätze, Bottom-up-Ansätze und anderes) herangezogen. "Neue Modelle" im Sinne neuer Modellzusammenhänge werden nur wenige erstellt.

Jeder Modellansatz dient zur Modellierung einer oder mehrere Massnahmen. Für einige Massnahmen (insbesondere für Massnahmen mit Auswirkungen auf den Energiepreis) stehen verschiedene Modellansätze zur Verfügung.

Die bestehenden (gegebenenfalls neu zu schaffenden) Modellansätze werden in Form einer Kalkulationstabelle nach einheitlichem Schema dargestellt (vergl. Beispiel Figur 2). Die unabhängigen Variablen (Input) sind klar von den abhängigen Variablen (Output) abgehoben. Die künftigen Werte der unabhängigen Variablen sind für zwei Standardszenarien vorgegeben, können aber grundsätzlich beliebig abgändert werden. Zu jedem Modell gehört eine Beschreibung mit Angaben über die formelhaften Zusammenhänge, die "Güte" des Modells, die Möglichkeiten bestimmte Massnahmen zu modellieren, etc. Insbesondere wird auch auf die Grenzen des jeweiligen Ansatzes hingewiesen, indem beispielsweise gewisse Elastizitäten nur bei steigenden Preisen sinnvoll sind (also fallende Preise den Modellansatz sprengen).

Wie aus einer informellen Umfrage bei potentiellen Anwendern hevorgeht , ist eine Darstellung eines Modellansatzes in Form einer Kalkulationstabelle so einfach, dass seine Anwendung - eine gewisse Vertrautheit mit solchen Tabellen vorausgesetzt - kaum zusätzliche Erklärungen verlangt.

---

4 "Trafic suisse et transfrontalier - Série de données pour l'annnée 1985", CUEPE, Genève, 1990.
5 "Entwurf Schlussbericht COST 307 - Modellbeschreibung Energieverbrauch Verkehr", INFORMATA, Zürich, Januar 1990.

Modellansätze, die nicht in das Schema einer Kalkulationstabelle passen bzw. in eine solche Tabelle "übersetzt" werden können, werden nicht berücksichtigt. Es ist vorgesehen, gesamthaft 30 bis 40 Modellansätze für das "Synthese-Modell" zu verwenden. Jene Modelle bzw. Modellansätze, die zur Zeit von den Modellautoren aktualisiert werden, sollen in ihrer verbesserten Form Eingang ins "Synthese-Modell" finden.

Die Modellarbeiten haben vor kurzem begonnen und sollen im Frühling 1991 abgeschlossen sein.

3.5 Auswirkungen

Das Teilprojekt "Auswirkungen" hat eine promotorische, eine inhaltliche, eine exemplarische und eine formelle Komponente:

(1) Im Zusammenhang mit der promotorischen Komponente geht es darum, das Gespräch mit potentiellen Anwendern und Kritikern des zu erarbeitenden pragmatischen Politikberatungsinstrumentes ("Expertensystem") aufzunehmen und damit die Voraussetzungen für seine Aufnahme und Anwendung zu schaffen.

(2) Die Ziele im Zusammenhang mit der inhaltlichen Komponente sind: Aktualisieren, Ergänzen und Korrigieren des bestehenden Massnahmenkatalogs.

(3) Sobald das aus Kalkulationstabellen bestehende "Synthese-Modell" vorliegt, soll es auf der Basis von zwei Standard-Szenarien einem exemplarischen Test unterzogen werden. Dabei sind die Testergebnisse bei der inhaltlichen Ueberprüfung und Ergänzung der Rubrik "Wirkungen" im Massnahmenkatalog in geeigneter Weise zu berücksichtigen.

(4) Bezüglich der formellen Komponente geht es darum, dem definitiven Massnahmenkatalog eine (noch) klarere bzw. stimmigere Struktur zu geben und die Schnittstellen zu den andern Komponenten des zu erarbeitenden "Expertensystems" (Text, Modelle, Daten, Grafiken, vergl. Aufgabe 3.6) vorzubereiten.

Die Aufgaben (2) und (4) sind zu einem grossen Teil bereits erledigt[6] .

[6] "Schlussbericht zu den Teilprojekten <Massnahmenkatalog> und <Auswirkungen>", Teilentwurf, Güller+ Reinhardt+Arend, Zürich, Juli 1990.

Benzinverbrauch im Verkehr (Benzinabsatz in der Schweiz)

Modellnummer 130
Szenarium Beispiel

Jahr	Input mittlere Wohnbevölkerung (tausend)	Input BIP Gewerbe Landwirt. Dienstleistg. (Mio Fr)	Input Grosshandelspreis Benzin (Index)	Output Benzin-Verbrauch Modell (Terajoule)	Benzin-Verbrauch effektiv (Terajoule)
1960	**5362**	**29697.00**	**104.60**	**38915**	**38925**
1961	**5512**	**32080.00**	**102.50**	**44302**	**44179**
1962	**5666**	**33391.00**	**113.00**	**47464**	**47277**
1963	**5789**	**35090.00**	**112.10**	**52865**	**52515**
1964	**5887**	**36770.00**	**110.20**	**58560**	**58603**
1965	**5943**	**38238.00**	**111.50**	**63136**	**62626**
1966	**5996**	**39120.00**	**110.50**	**66503**	**67144**
1967	**6063**	**40612.00**	**116.90**	**70501**	**71875**
1968	**6132**	**41832.00**	**119.70**	**74530**	**74810**
1969	**6212**	**43136.00**	**116.30**	**80234**	**80747**
1970	**6267**	**45455.00**	**112.20**	**89489**	**88300**
1971	**6324**	**47370.00**	**109.70**	**97737**	**98331**
1972	**6585**	**48243.00**	**113.30**	**103497**	**102878**
1973	**6431**	**48920.00**	**107.30**	**105981**	**104787**
1974	**6443**	**49648.00**	**128.70**	**103152**	**100956**
1975	**6405**	**49082.00**	**122.70**	**102378**	**102325**
1976	**6346**	**49608.00**	**126.20**	**102476**	**102158**
1977	**6327**	**50606.00**	**119.60**	**107575**	**108103**
1978	**6337**	**50743.00**	**114.40**	**109803**	**109208**
1979	**6356**	**51947.00**	**138.10**	**107923**	**108614**
1980	**6373**	**52550.00**	**139.70**	**110067**	**114886**
1981	6373	52550.00	279.40	77489	
1982	6373	52550.00	279.40	77493	
1983	6373	52550.00	279.40	77494	
1984	6373	52550.00	279.40	77494	
1985	6373	52550.00	279.40	77494	
1986	6373	52550.00	279.40	77494	
1987	6373	52550.00	279.40	77494	
1988	6373	52550.00	279.40	77494	
1989	6373	52550.00	279.40	77494	
1990	6373	52550.00	279.40	77494	

Figur 2: Beispiel für ein Modell in der Form einer Kalkulationstabelle. Ausgehend von den Inputdaten "mittlere Wohnbevölkerung", "BIP Gewerbe, Landwirschaft und Dienstleistung" sowie "Grosshandelspreis Benzin" wird der Benzinverbrauch errechnet (Quelle: "SIM-NRJ - Manuel d'utilisation Version 1.0", CUEPE, November 1989). Das Modell erlaubt die Abbildung von Massnahmen, die einen Einfluss auf den Benzinpreis haben. Das Modell ist so aufgebaut, dass durch den Kopierbefehl des Kalkulationsprogramms die Modell-Logik (hier die ökonometrische Schätzgleichung) zeilenweise auf die darunterliegenden Zeilen übertragen werden kann. (Die Inputdaten werden bei einer solchen Uebertragung unverändert übernommen; die Jahreszahl wächst um eine Einheit.) Wenn der Wert einer Inputvariablen verändert wird, erfolgt sofort eine entsprechende Aenderung der Outputvariablen. Das Beispiel zeigt die ceteris-paribus-Wirkung einer im Jahr 1981 gegenüber 1980 unterstellten realen Benzinpreisverdopplung. Die fett hervorgehobenen Jahre bezeichnen die Eichperiode des Modells.

3.6 Dokumentation ("Expertensystem")

Im Rahmen dieser Aufgabe soll durch Zusammenführen der gleisteten Arbeiten das für eine pragmatische Politikberatung taugliche EDV-basierte "Expertensystem" geschaffen werden (vergi. Figur 3). Das System umfasst sowohl Text, wie auch Daten, Modelle und Grafiken. Durch eine geeignete File-Struktur sollen ausgehend von einem Massnahmentext die zugehörigen Modelle und Grafiken aufgerufen werden können. Der Benützer kann dann in Ergänzung zum Text, der die Verhältnisse bezüglich der Standard-Szenarien darstellt, alternative Rechnungen durchführen. Hierzu wird der Benützer auf mögliche Interdependenzen zwischen Massnahmen (gewisse Massnahmen schliessen einander aus, andere unterstützen oder verstärken sich in ihrer Wirkung, etc.), wie auf ein "passendes" Szenario-Umfeld hingewiesen. Der Benützer soll damit insbesondere in der Lage sein, ceteris paribus die Wirkung von Massnahmen in den vorgegebenen oder selbst-konstruierten Szenarien zu ermitteln. Ein erläuternder Text hilft ihm dabei, gewisse Konsistenzforderungen bei der Definition der unabhängigen Variablen nicht ausser acht zu lassen.

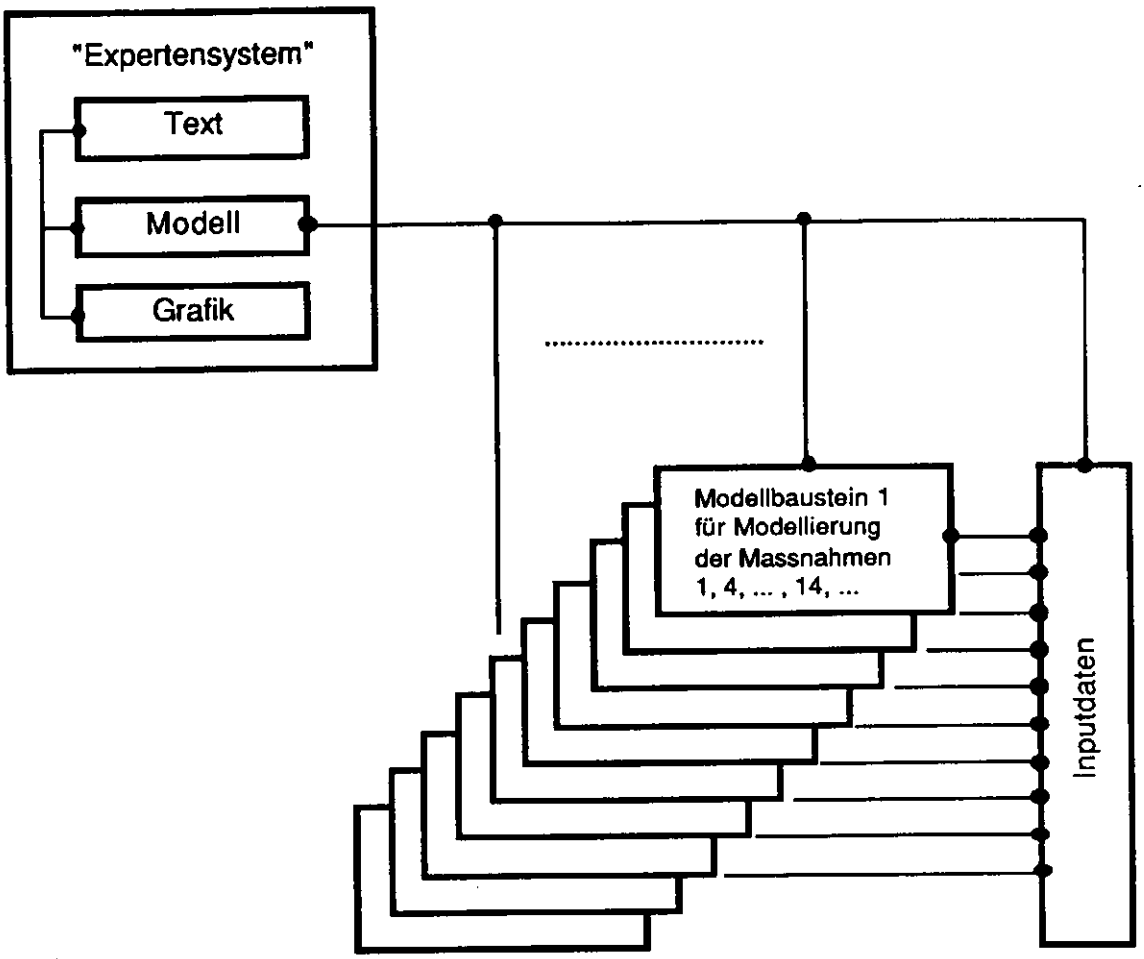
Das Expertensystem wird so aufgebaut, dass der Benützer leicht weitere Text- oder Modellbausteine einbauen kann.

Der erste Versuch ist auf Macintosh (Hypercard) vorgesehen. Falls sich der Ansatz bewährt (vergi. Teilprojekt "Umsetzung"), ist eine Uebertragung in MS-DOS (ev. weitere Systeme) vorgesehen.

Die Dokumentation umfasst darüberhinaus in Papierform ein "Handbuch". Dieses besteht aus dem ergänzten Massnahmenkatalog (mit weiteren Angaben über die Wirkungen von Massnahmen gemäss "Synthese-Modell", über Akzeptanz- und Implementationsprobleme, über ausländische Erfahrungen, Datenquellen und -qualität, Modelle, Literatur, etc.) sowie einem Benutzerhandbuch für das Expertensystem (mit Disketten). Der im Rahmen der Umsetzung verfasste Erfahrungsbericht wird ebenfalls in das "Handbuch" aufgenommen.

3.7 Umsetzung

Die in diesem Aufgabenbereich zu leistenden Arbeiten (z. B. Populärfassung der wichtigsten Resultate, Durchführung von Anwender-Seminarien, etc.) sind noch zu konkretisieren.



Figur 3: Struktur des zu erarbeitenden "Expertensystems". Die Punkte markieren wichtige Schnittstellen.

MEGA-SUISSE: UN MODELE D'EQUILIBRE GENERAL APPLIQUE POUR L'EVALUATION DES IMPACTS ECONOMIQUES DES POLITIQUES ENERGETIQUES

Fabrizio Carlevaro
Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie

Gabrielle Antille, Tobias Müller
Département d'économétrie, Université de Genève

1. Buts

MEGA-Suisse a été réalisé dans le cadre des travaux du Groupe d'Experts pour les Scénarios Energétiques (GESE) mis sur pied par le Conseil fédéral pour élaborer des scénarios énergétiques exposant les préalables, les possibilités et les principales conséquences d'un éventuel abandon de l'électro-nucléaire en Suisse.

Le modèle a été conçu dans le but d'évaluer les conséquences macroéconomiques des différentes politiques énergétiques envisagées par le GESE. Il permet d'évaluer les effets directs et indirects sur les variables de l'économie réelle de mesures affectant l'offre d'électricité, les prix des énergies et qui favorisent l'utilisation rationnelle de l'énergie.

2. Logique

MEGA-Suisse comporte huit branches d'activité, chacune produisant un bien ou un service agrégé, et cinq secteurs institutionnels. Parmi ces branches, deux appartiennent au secteur énergétique (électricité; produits pétroliers et gaz), trois sont des branches **abritées** de la concurrence internationale (bâtiment, administration publique, services abrités), et les autres sont des branches **exposées** à la concurrence étrangère (agriculture, industrie, services exposés). Les secteurs institutionnels sont les ménages, les entreprises, l'Etat, les assurances sociales et le reste du monde. Le modèle ne traduit que l'activité réelle de l'économie, c'est-à-dire qu'il exclut tout activité financière et monétaire.

Le modèle genère des équilibres annuels temporaires. Un sentier d'évolution de l'économie suisse est représenté par une succession

d'équilibres annuels, reliés dans le temps par une projection des paramètres et variables exogènes. En particulier, une trajectoire du stock de capital est estimée par l'accumulation de l'investissement dans le temps, en tenant compte de la dépréciation du stock de capital en place.

La logique de détermination de l'équilibre annuel repose sur le circuit macroéconomique "production-revenus-demande" ouvert sur l'extérieur. On a retenu l'hypothèse d'une économie réelle ouverte et semi-petite, en ce sens que les prix des produits importés sont les prix internationaux alors que les prix à l'exportation peuvent être déterminés par les exportateurs suisses. Selon cette conceptualisation une offre de biens et services, alimentée par la production intérieure et des importations, est créée pour satisfaire une demande intérieure et étrangère. En contrepartie, les activités de production et de commercialisation engendrent des revenus qui, à leur tour, sont à l'origine de la demande intérieure. Un équilibre économique global est réalisé lorsque les revenus distribués génèrent un niveau de demande effective compatible avec celui de l'offre. Cet équilibre est atteint, pour chaque produit, par un système approprié de prix relatifs auxquels réagit la demande.

Le tableau 1 illustre les composantes essentielles de ce circuit dans une présentation comptable appelée matrice de comptabilité sociale (MCS). Dans cette matrice chaque compte est représenté par une ligne et par la colonne correspondante. Chaque flux monétaire produit par une activité économique pendant l'année est une dépense pour le compte en colonne, et une recette pour le compte en ligne. La cohérence d'ensemble de ces écritures est assurée par l'égalité des totaux en ligne et en colonne de la MCS.

Dans la MCS, six formes d'activité, couvrant l'ensemble des transactions de l'économie réelle, ont été distinguées:

1) production domestique de biens et services;
2) commercialisation des produits domestiques et importés;
3) distribution des revenus des facteurs;
4) transferts de revenus entre secteurs institutionnels résidents (ménages, Etat, assurances sociales, entreprises), consommation finale et épargne;
5) affectation de l'épargne à la formation brute de capital fixe (investissement en biens capitaux et variation de stocks);
6) transactions avec l'étranger.

Par la suite, nous décrirons la logique économique et la spécification du modèle en suivant cet ordre. La production, la commercialisation et la demande d'**électricité** sont spécifiées différemment des autres secteurs et seront traitées séparément dans chaque section.

Comme les actifs monétaires et financiers sont absents de ce modèle, celui-ci ne comporte que des prix relatifs. Le choix de l'indice des prix à la consommation des ménages comme numéraire fait que tous les prix et toutes les valeurs des transactions sont exprimés en termes **réels**. Le taux de change figurant dans le modèle est un taux de change réel, les prix (exogènes) sur les marchés mondiaux étant déflatés par un indice de prix mondial approprié.

1) **Production.** La production domestique est réalisée à l'aide de deux facteurs primaires (capital, travail) et de huit produits intermédiaires (correspondant au huit branches). Dans toutes les branches, à l'exception de l'électricité, la technologie est décrite par une fonction de production CES séparable en quatre niveaux, à rendements d'échelle constants. La structure arborescente de la fonction de production fait que, dans chaque branche, certains inputs sont substituables, d'autres complémentaires. Les demandes d'inputs sont dérivées sous l'hypothèse de minimisation du coût total de production dans chaque branche, les prix des inputs étant donnés. Le prix de l'output est aligné sur le coût de production unitaire.

Pour le secteur de l'électricité, la production brute, son prix et la structure des inputs (reflétant le parc des centrales électriques) sont exogènes afin de reproduire les projections d'offre du GESE. Les profits de ce secteur sont déterminés de manière résiduelle.

2) **Commercialisation.** La fonction de cette activité est de satisfaire la demande par la production domestique et, pour les produits exposés, également par les importations. Les produits d'origine intérieure et étrangère sont agrégés, dans chaque catégorie de biens et services exposés, suivant l'hypothèse dite d'Armington qui postule une substituabilité seulement imparfaite. Les produits "composites" ainsi obtenus sont vendus à des prix reflétant le coût de production intérieure et le prix à l'importation, augmentés des marges commerciales et de transport, et incluant les impôts indirects et les

droits de douanes.

Les importations d'électricité, comme la capacité de production intérieure, sont limitées par des quotas de politique énergétique définis par le GESE. L'électricité importée est traitée comme un substitut parfait de l'électricité domestique. Pour cette raison, l'électricité domestique et celle importée sont vendues au même prix sur le marché intérieur[1]. La différence entre ce prix et le coût d'achat à l'extérieur génère une rente ou une subvention qui est consolidée avec les profits de l'économie électrique. La production intérieure d'électricité qui n'est pas écoulée sur le marché intérieur est exportée à un prix mondial exogène en devise étrangère, converti en francs suisses par le taux de change endogène. La différence entre ce prix et le coût unitaire intérieur fait aussi apparaître une rente qui s'ajoute aux profits de l'économie électrique.

3) Facteurs primaires. La valeur ajoutée de la production intérieure est partagée entre les facteurs de production travail (salaires) et capital (profits). Comme le modèle est utilisé dans une perspective de long terme, nous adoptons l'hypothèse d'une mobilité parfaite de ces facteurs entre les branches (à l'exception du capital dans le secteur de l'électricité qui est supposé être spécifique). Dans le scénario de "référence", où le plein emploi des facteurs est postulé, l'offre de chacun des facteurs est fixée à un niveau exogène, tandis que leurs coûts d'usage sont flexibles et déterminés de façon endogène. Dans le scénario d'abandon du nucléaire, ces mêmes hypothèses sont formulées seulement pour les services du capital. En revanche, le taux de salaire réel est exogène, fixé au niveau du scénario de référence, ce qui peut faire apparaître du chômage, obtenu par différence entre l'offre (exogène) et la demande agrégée de travail par les branches (endogène).

L'allocation du revenu des facteurs aux secteurs institutionnels (ménages, entreprises et étranger) dépend de la propriété de ces facteurs. On a supposé une distribution de la propriété des facteurs constante au cours du temps, ce qui correspond à une allocation du

[1] Plus précisément, l'électricité est vendue à trois tarifs différents sur le marché intérieur: tarifs industrie, tertiaire et résidentiel. Il s'agit d'une différenciation exogène du coût de production moyen intérieur que l'on introduit pour simuler l'impact de la tarification au coût marginal. Cette structure tarifaire est calculée à budget équilibré afin qu'il n'apparaîsse, au total, aucun surprofit ni perte pour le secteur de l'électricité.

revenu de chaque facteur aux secteurs institutionnels selon des proportions fixes.

4) **Secteurs institutionnels résidents.** Les opérations courantes des secteurs institutionnels domestiques sont modélisées séparément pour quatre secteurs (ménages, Etat, assurances sociales, entreprises).

L'affectation du revenu brut des ménages suit une logique de décision en deux étapes. D'abord, on utilise des parts relatives fixes de ce revenu pour payer les impôts directs, les primes et cotisations aux assurances sociales et pour répartir le revenu net entre la consommation, l'épargne et les transferts courants à l'étranger. Ensuite, on modélise l'affectation du budget de consommation ainsi déterminé, entre six "besoins" fondamentaux, d'après un système linéaire de dépenses (SLD). On sait que la logique de ce modèle comporte aussi des décisions en deux étapes : une première étape dans laquelle on achete une quantité obligée de chaque "besoin" et une seconde étape dans laquelle le budget résiduel qui subsiste après paiement de ces achats est utilisé au titre de dépense discrétionnaire et alloué entre les besoins et les produits, définissant le contenu en biens et services des besoins. Ce lien a été spécifié en postulant, pour chaque besoin, une composition où la contribution de chaque produit à une unité de besoin reste constante. Fait exception l'énergie. Il faut signaler que, dans ce processus de modélisation, la consommation résidentielle d'énergie des ménages est entièrement exogène dans le but de traduire les projections de demande d'énergie du GESE.

Les transferts de l'**Etat** aux autres secteurs institutionnels sont exogènes en valeur[2], tandis que le niveau et la structure des dépenses courantes sont fixés en volume. L'épargne de l'Etat est alors déterminée de manière résiduelle, comme la différence entre les recettes totales et les dépenses courantes.

Les autres opérations courantes, celles des assurances sociales et des entreprises, concernent seulement des transferts et l'épargne. Elles sont modélisées en postulant simplement des paiements en proportions fixes du revenu brut du secteur institutionnel.

[2] A l'exception des transferts aux assurances sociales calculés selon une proportion fixe des recettes non douanières de l'Etat.

5) **Accumulation du capital.** La formation brute de capital fixe est consolidée pour tous les secteurs institutionnels résidents. Son niveau, aussi bien que sa structure par secteur d'origine, est exogène en volume. Comme mentionné précédemment, c'est en cumulant l'investissement net dans le temps, que l'on obtient un sentier d'évolution du stock de capital dont on peut dériver l'offre exogène de services du capital.

6) **Opérations avec l'étranger.** Il s'agit ici de modéliser les exportations de biens et services, les achats en Suisse des non résidents, de même que les transferts de revenus de facteurs primaires et les transferts courants de l'étranger. Les deux premières catégories sont expliquées par des fonctions de demande étrangère à élasticité constante par rapport à la compétitivité-prix, définie comme un rapport de deux prix: le prix en francs suisses d'un produit étranger équivalent sur les marchés d'exportation, et le prix à l'exportation du produit intérieur. Cette demande de produits d'exportation est aussi fonction de la croissance économique des pays de l'OCDE. Les autres transactions spécifiées sont des transferts de l'étranger, tous exogènes en devise étrangère ou francs suisses.

Finalement, le solde de la balance des opérations courantes s'ajuste à tout écart qui apparaît entre la capacité de financement de l'épargne intérieure et l'investissement brut, fixe en volume. Simultanément, le taux de change réel varie pour équilibrer les besoins et les disponibilités en devise étrangère.

3. Quantification

Parmi les **paramètres** utilisés dans le modèle, il faut distinguer ceux que l'on suppose invariables dans le temps et entre les scénarios de ceux qui font l'objet d'une projection dans le temps, ou qui changent d'un scénario à l'autre pour traduire des différences de politique énergétique ou d'autres conditions spécifiques aux scénarios.

Trois méthodes de quantification des paramètres du premier type ont été utilisées.

1) **L'estimation économétrique.** Vu l'information statistique limitée qui est disponible en Suisse, il est impossible d'estimer la

totalité des paramètres par des méthodes économétriques conventionnelles. Une telle approche a été utilisée uniquement pour l'estimation du sytème linéaire de dépenses qui explique la consommation des ménages par besoins, en appliquant la méthode du maximum de vraisemblance à information complète.

2) **Le calibrage d'après un équilibre de référence.** Cette méthode consiste à résoudre le modèle par rapport au paramètres inconnus, après avoir évalué les variables du modèles d'après leur observation empirique contenue dans la matrice de comptabilité sociale de l'année de base. Pour cette année tous les prix sont posés égaux à l'unité. Dans ces conditions seuls des coefficients de proportionnalité peuvent être calibrés.

3) **La "meta-estimation".** Parmi les paramètres qui ne peuvent être calibrés il y a des élasticités de substitution entre facteurs de production primaires et intermédiaires entre produits domestiques et importés dans les fonction d'agrégation et des élasticités de compétitivité-prix pour les produits exportés. Pour chiffrer ces paramètres on s'est fondé sur des estimations nationales et internationales disparates, publiées dans la littérature économétrique appliquée, et sur le jugement. Afin de rendre cette information compatible avec les équations de comportement du modèle, une méthode de "meta-estimation" permettant d'ajuster les élasticités inconnues du modèle à celles trouvées dans la littérature a été dévéloppée.

4. Validation

La validation empirique d'un modèle d'équilibre général appliqué repose sur l'analyse des **erreurs de prévision ex-post.** Il s'agit des écarts constatés entre les valeurs des variables expliquées fournies par le modèle et les valeurs observées pour une ou plusieurs années autres que l'année de base. Il est entendu que le calcul de variables expliquées est réalisé à partir de la valeur observée des variables explicatives (paramètres variables dans le temps), pour focaliser la validation sur la valeur prédictive des équations du modèle et de leurs paramètres fixes.

L'application d'une telle démarche soulève toutefois des problèmes pratiques et conceptuels qui n'ont pas encore été résolus. D'une part, il faut établir la matrice de comptabilité sociale pour la

Suisse tant en valeur qu'en volume, pour d'autres années que celle ayant servi au calibrage du modèle. D'autre part, il faut veiller à ce que ces années soient aussi, comme l'année de base, des états "normaux" de l'économie suisse, non affectés par des déséquilibres conjoncturels prononcés qui renderaient la comparaison de la prévision ex-post avec l'observation sinon sans pertinence du moins problématique.

5. Mise en oeuvre

Chaque équilibre annuel est obtenu comme solution d'un système interdépendant d'équations simultanées non linéaires. La stratégie de modélisation utilisée , appelée "Transaction Value Approach", a été conçue et implémentée à la Banque Mondiale par Drud, Grais et Pyatt (1986). Cette méthode consiste à introduire les données de l'année de base sous forme d'une matrice de comptabilité sociale, et à spécifier la forme analytique des équations explicatives de ces données dans le même format matriciel, à l'aide d'acronymes.

Le système d'équations est généré à partir de la matrice des acronymes par HERCULES, un logiciel de modélisation conçu pour cette stratégie de modélisation macroéconomique par Drud et Kendrick (1990). Les paramètres du modèle sont soit fournis par l'utilisateur (élasticités etc.), soit calibrés automatiquement par le logiciel sur les données de l'année de base. Les avantages de ce logiciel sont la facilité avec laquelle un modèle peut être spécifié, calibré, résolu et modifié, et la vérification automatique de la cohérence du modèle. L'inconvénient réside dans le choix limité de formes fonctionnelles qui peuvent être utilisées, quoique ce choix est, en pratique, assez large.

Ce logiciel est programmé en GAMS (General Algebraic Modeling System), un langage développé par Brooke, Kendrick and Meeraus (1988) qui permet de spécifier et de résoudre des modèles complexes de programmation linéaire et non-linéaire.

6. Application

La mesure des conséquences économiques d'une politique énergétique d'après MEGA-Suisse se fait en comparant deux équilibres de l'économie[3]:

[3] Cette comparaison se fait en général pour une suite d'années afin d'évaluer les effets d'une politique énergétique dans le temps.

- un équilibre de référence, qui s'appuie sur une évaluation des grandeurs exogènes du modèle exprimant le statu quo en matière de politique énergétique;
- un équilibre dit de "politique alternative" ou "contrafactuel", où les grandeurs exogènes qui déterminent la solution de référence sont modifiées pour traduire les changements apportés par la politique énergétique à évaluer.

C'est ainsi que le modèle a permis d'évaluer, pour le GESE, les répercussions qu'auraient sur l'économie suisse deux options de politique énergétique conduisant à un abandon du nucléaire. Dans la première option, l'abandon de l'énergie nucléaire intervient au gré du vieillissement technique des centrales actuelles et s'achève en 2025. Dans la deuxième option, l'arrêt de l'exploitation des centrales nucléaires interviendrait en 1990 déjà, pour toutes les centrales existantes.

Les mesures dans le domaine énergétique, qui distinguent les scénarios entre eux, affectent l'activité économique à travers une multitude de canaux. Les paramètres et variables exogènes décrivant ces mesures dans le modèle sont:

- o la composition et taille du parc des centrales électriques
- o le coût de production unitaire de l'électricité
- o les investissements en centrales
- o l'impôt sur l'énergie
- o la tarification de l'électricité au coût marginal
- o l'introduction de normes légales plus sévères régissant la consommation specifique
- o les investissements en économies d'énergie
- o les dépenses administratives de l'Etat.

La comparaison des solutions du modèle auxquelles conduisent ces scénarios est présentée et discutée dans Carlevaro, Müller, Antille (1988). Cette comparaison indique que les options préconisées par le GESE pour parvenir à un abandon de l'énergie nucléaire seraient pratiquement neutres vis-à-vis des principales grandeurs macroéconomiques caractérisant l'état de l'économie suisse.

7. Limites

Les faiblesses principales de MEGA-Suisse apparaissent à deux niveaux.

D'une part, les données statistiques utilisées pour quantifier le modèle sont fragmentaires et d'une qualité inégale. Cette faiblesse de l'information empirique introduit une incertitude sur la précision des résultats obtenus qu'il est difficile de quantifier. Des tests de sensibilité ont toutefois permis de détecter quels sont les paramètres dont l'imprécision pourrait affecter le plus les résultats. C'est en particulier le cas des élasticités de compétitivité-prix.

D'autre part, le modèle est statique, et de ce fait inapte à simuler le sentier par lequel doit transiter l'économie pour passer d'un état d'équilibre à un autre. Une dynamisation du modèle devrait permettre d'apprécier les "coûts d'ajustement" que l'économie peut encourir lors du passage de l'équilibre de référence à l'équilibre de politique alternative. Une telle dynamisation nécessiterait un traitement explicite des anticipations et des comportements financiers des agents économiques, expliquant les conditions qui rendent possible l'accumulation du capital physique.

D'autres hypothèses simplificatrices mériteraient d'être reconsidérées. C'est le cas, en particulier, de l'hypothèse de concurrence parfaite, qui concorde mal avec la réalité de plusieures marchés intérieurs et d'exportation pour la Suisse. Une meilleure représentation de ces marchés exige que l'on introduise les économies d'échelle, de gamme, et les produits différenciés dans la production de même que les accords catellaires.

Des solutions à ces problèmes sont à l'étude dans le cadre d'un projet d'évaluation des effets économiques de l'intégration de la Suisse au marché unique européen dirigé par Antille, Carlevaro et Schmitt (1990).

Il est également possible que le niveau d'agrégation actuel du modèle empêche de mettre en évidence des changements structurels ou sectoriels significatifs. Une plus grande désagrégation sectorielle ne pose pas de problèmes méthodologiques mais elle est rendue difficile par la disponibilité de données statistiques.

8. Bibliographie

Antille G., Carlevaro F., Schmitt N., (1990), "Europe 1992 and Beyond: Towards a Quantitative General Equilibrium Assessment for Switzerland", *Revue suisse d'Economie politique et de Statistique*, 126(3), pp. 193–213.

Brooke A., Kendrick D., Meeraus A., (1988), *GAMS: A User's Guide*, The Scientific Press, Redwood City (U.S.A.).

Carlevaro, F., Müller T., Antille G., (1988), "Répercussions macroéconomiques d'une interruption du nucléaire en Suisse: Analyse à l'aide d'un modèle d'équilibre général", *Série de publication du GESE, OCFIM*, Berne.

Drud A., Grais W., Pyatt G., (1986), "Macroeconomic Modeling Based on Social–Accounting Principles", *Journal of Policy Modeling*, Vol. 8, No. 1, pp. 111–145.

Drud A, Kendrick D., (1990), *HERCULES: A System for Large Economywide Models*, ARKI Consulting & Development A/S, Bagsvaerd (DK).

Tableau 1

Schéma comptable simplifié du modèle MEGA-Suisse

Dépenses / Recettes		PRODUCTION DOMESTIQUE	COMMERCIALISATION	FACTEURS PRIMAIRES	COMPTES COURANTS DES SECTEURS INSTITUTIONNELS				ACCUMULATION	ETRANGER	TOTAUX
					Ménages	Besoins de consommation	Etat et assurances sociales	Entreprises			
PRODUCTION DOMESTIQUE			Production brute au coût des facteurs								Production brute au coût des facteurs
COMMERCIALISATION		Dépenses de consommation intermédiaire				Dépenses de consommation privée	Dépenses de consommation publique		Formation brute de capital	Revenus de l'exportation des biens et services	Recettes totales de la vente des produits commercialisés
FACTEURS PRIMAIRES		Valeur ajoutée au coût des facteurs								Rémunération des facteurs reçue de l'étranger	Revenu total des facteurs
COMPTES COURANTS DES SECTEURS INSTITUTIONNELS	Ménages			Masse salariale et revenus des indépendants			Transferts courants et prestations aux assurés	Revenu de la propriété échéant aux ménages		Transferts courants de l'étranger	Revenu brut des ménages
	Besoins de Consommation				Dépenses de consommation privée intérieure des résidents					Dépenses de consommation privée des non résidents	Dépenses de consommation privée
	Etat et assurances sociales		Impôts indirects nets des subventions, droits de douane		Impôts directs, contributions sociales et transferts courants			Impôts directs sur les sociétés		Transfers courants de l'étranger	Recettes courantes de l'Etat et des assurances sociales
	Entreprises			Profits bruts des sociétés			Intérêts de la dette publique				Revenu brut des entreprises
ACCUMULATION					Epargne privée		Epargne publique et des assurances sociales	Epargne des sociétés		Emprunt net à l'étranger	Epargne totale
ETRANGER			Dépenses pour l'achat de biens et services d'importation	Rémunération des facteurs versée à l'étranger	Dépenses de consommation privée à l'étranger et transferts courants		Transferts courants à l'étranger				Paiements courants à l'étranger
TOTAUX		Coût total de la production brute	Coût total des produits commercialisés	Revenu des facteurs primaires	Dépenses totales des ménages	Dépenses de consommation privée	Dépenses courantes de l'Etat et des assurances sociales	Dépenses totales des entreprises	Dépenses en biens capitaux et variations des stocks	Recettes totales de l'étranger	

THE COMBINED ENERGY DEMAND AND SUPPLY MODELS SMEDE AND MARKAL

S. Kypreos

Paul Scherrer Insitut, Villigen

Abstract

This paper is an effort to explain the possibilities of using the combined Energy demand and supply models SMEDE-MARKAL for analysing policy questions in Switzerland. A general description of the approach used, the data base, the specific advantage and disadvantage of the models and their recent applications will be shortly described. Emphasis is given to the description of the energy allocation model. This report is an effort to obtain a better understanding of the model response to different energy policy questions and indicates possibilities of improvement.

1 Policy problems to be analyzed with the framework

Statement:
The combined energy demand simulation model SMEDE and the energy supply optimization model MARKAL, allow to analyze problems related to the medium and long term development of energy use in Switzerland under different policy constraints. The approach is normative, in the sense that the systems objective function and the systems constraints define the allocation of the systems resources. Different objectives like system cost, environmental quality and security of energy supply, are simultaneously or independently defined. Conservation options are either simulated in SMEDE and/or they are explicitly analyzed in MARKAL.

Policy options could be analyzed by:

- imposing constraints in the energy allocation model, i.e. restrictions on total allowable emissions like NO_x, CO_2 and other trace gases, of oil imports, electricity exports etc,
- by taking into account subsidies or energy taxes when defining the specific costs of new technologies, or the fossil fuel prices,
- by defining directly, in the supply model, technology constraints, like the use of nuclear energy or accelerated introduction of renewable energies, and
- by simulating, in the energy demand model, options like new norms for appliances, the specific energy consumption in buildings and transportation systems, etc.

The main results obtained is the balanced evolution of energy demand and supply as well as the marginal cost of policy constraints and an internal adjustment of fuel prices reflecting these constraints.
The "assimilative capacity" concept [Hediger, 1990] is a qualitative improvement in the discussion of environmental assessment. Based upon the work of natural scientists, the maximum allowable assimilative capacity (stock) and the flow of pollutants assimilated by environmental functions is specified. In the greenhouse effect, for example, natural science estimates the maximum allowable CO_2 concentrations in the atmosphere. Defining the assimilative capacity as systems constraint in a model like MARKAL [Kypreos, 1990] we scale the energy related activities to this constraint and we allocate the system resources such that the global climate is sustained. Accepting this natural constraint as policy constraint we define the marginal cost of controlling the greenhouse effect and thus the marginal costs of energy supply necessary to preserve the global climate.

2 Presentation of Methodology

2.1 Energy demand

SMEDE is based upon the "bottom up" approach where the sectorial energy demand is defined as function of the evolution of demand determinants and their specific energy consumption. The modelling framework transfers assumptions related to the evolution of macroeconomic and sectorial development and technical information on the specific energy consumption of different subsystems, to estimates of energy demand. Usually a "Reference case" is projected based on the results of different studies describing all the variables of interest. Technical efficiencies or energy intensiveness are adjusted to the final energy demand estimates of the econometric models and for a "Reference price" structure. The approach is similar to the technoeconomic model of CUEPE. The demand projections finally obtained for the "Reference case", are projections of useful demand and not of final demand. This refers to projection of energy services like space heating for different building categories, car-kms for private transport etc. Conservation potentials related to the projections of the "Reference case" are defined as "potential vs costs" functions for different demand categories [I. Knöpfel 1990]. The results of SMEDE for the "Reference case" define the useful

demand constraints of MARKAL. SMEDE has been developed at PSI and it is structured such that any further demand disaggregation to more detailed structures can be reprogrammed [S. Kypreos, 1987].

2.2 Energy supply

MARKAL [L. Fishbone, 1983, S. Kypreos, 1990] is a L.P. model of the energy supply system which defines the optimal allocation of resources in a normative sense. Energy conservation and energy supply options are simultaneously optimized. The model needs as data base the full set of existing and new candidate technologies including conservation options.
The system variables describe:

- the energy flows through the different subsystems installed,
- the new investments and total installed capacity,
- flows of energy imports or exports and mining of primary energy resources.
- for electrical plants the electricity is characterized by six different variables in order to describe the load characteristics of demand. The penetration of new devices consuming electricity is changing the load profile and effects the penetration of different electricity generation plants. The load management is therefore endogenous to the model.

The objective functions refer to the energy system cost, to the environmental quality and to the security of energy supply.

Data base

The model needs a full description of all candidate technologies, either in the production sectors or in the end use subsectors. Conservation technologies are treated as demand reducing "dummy technologies". The technologies are described such that information on total investments, o&m costs, energy balances, emission balances and fuel costs can be estimated as function of the systems variables (installed capacities and energy flows). Another set of data describe specific emissions per unit of energy flow through a technology. Abatement systems generate information related to efficient ways to reduce or abate emissions. Specific emission data are defined for NO_x, SO_2, CO_2, etc. Information related to man-power requirements and to the emissions associated to initial capacity buildup could be also integrated.[1]
Most of the data required, either in SMEDE or in MARKAL are not collected in the form of ordinary statistical information and analysis. Usually a series of studies should be performed prior the initiation of analysis. The technical description required is standardized i.e. the information required to define the data base is clearly defined. What is not always possible is to get representative information describing "average technologies" competing in a market. Several engineering offices and different sources are involved in data collection and the danger exists in using inconsistent and biased data. Usually the data base should be updated and revised by specialists in the field.

Model output

The main model output describe the time evolution of the energy supply system as it is flows, investments, o&m costs, fuel cost as well as emission release, man-power requirements, etc.
The shadow prices (marginal costs) of fuels and electricity are estimated together with the marginal costs of different policy constraints. This refers for example, to SFr/kg CO_2 reduction, or to SFr/kg oil reduction, or to the marginal price change of electricity generation due to the constrained use of nuclear energy.

Each candidate technology is characterized and penetrates the system by cost/benefit criteria expressed as function of the objectives used and the imposed system constraints. Technology ranking is therefore

[1] Some versions of MARKAL include material, finantial and multiregional capabilities and they have been developed and applied for CANADA [Berger 1988]

obtained, based upon the simultaneous consideration of all different criteria. The approach is equivalent to the cost/benefit analysis used for characterizing different engineering projects using the present-worth method.[2]

The difference is that MARKAL allows to define the contribution of a technology to all different system resources. For example, environmental emissions constraints are necessary to preserve a sustainable environment. In MARKAL, the model user should define the allowable emission levels (constraint) necessary to sustain an environmental quality and to preserve the assimilative capacity of the environment. Then, the marginal cost of this constraint is defined and the contribution of the technology in question is valued. This valuation is contributing to the cost/ benefit balance and changes the technology ranking.

---

[2]Cost/Benefit Analysis

The engineering method to define the C/B of a project using its life cycle cost of a project is well known.

$$\frac{C_e}{B_e} = \frac{\sum_t \text{INVEST}_t * df_t + \sum_t \text{OM}_t * df_t + \sum_t \text{FUEL.COST}_t * df_t}{\sum_t \text{PRODUCT}_t * \text{PRICE}_t * df_t} \tag{1}$$

($df_t = (1+d)^{-t}$ is the discounting factor of payments or revenues at the year t. It defines the present worth of money). Usually we estimate the output price by balancing cost and benefit and for an exogenous set up of the fuel cost.

The L.P. method for C/B analysis is exactly the same formulation as the engineering method, but it uses as prices the shadow prices of all system resources.

An L.P. model is defined as:

$$\text{Max.Z} = \sum_j C_j * X_j \tag{2}$$

$$\sum_j A_{ij} * X_j \geq B_i \tag{3}$$

$$X_j \geq 0.0 \tag{4}$$

If an optimal solution exists, then $Z = \sum_i Y_i * B_i$, or $Y_i = \partial Z / \partial B_i$, Y_i is called shadow price of resource i, and it is defined as the change in the system cost Z per unit change in the resource B_i.
The reduced cost (i.e. the cost reduction necessary to make a non-competitive technology to enter the solution) is estimated as:

$$R_j = C_j - \sum_i A_{ij} Y_i = C_j - \sum_i A_{ij}^- Y_i - \sum_i A_{ij}^+ Y_i \tag{5}$$

The C/B method is based on the concept of value flow conservation in an L.P. model [M. Finnis 1984] and capitalizes on the estimated shadow prices of resources and the reduced cost of the system variables.

It can be shown that:

$$\frac{C}{B} = \frac{\sum_j X_j * C_j + \sum_{ij} A_{ij}^- Y_i * X_j}{\sum_j (X_j * \sum_i A_{ij}^+ Y_i)} \tag{6}$$

This equation is a generalized form of the engineering formula shown above. Substituting for the reduced cost we have:

$$\frac{C}{B} = \frac{\sum_j X_j * R_j + \sum_{ij} A_{ij}^+ Y_i * X_j}{\sum_j (X_j * \sum_i A_{ij}^+ Y_i)} \tag{7}$$

A project is characterized by many variables for the different periods of analysis, like total capacity, added capacity and energy flows and consumes or contributes to different system resources. In the equation above, the sum over all system resources and system variables is accounted for and an index of performance for the time horizon of analysis is estimated.

The advantage of the L.P. method is that the model specifies internally all the shadow prices as function of the marginal technologies introduced, while in the engineering formula, the input and output product prices are exogenous. In the L.P. method, the implications of the load profile and of the environmental constraints to prices are defined in a consistent way. The capacity factors are internally estimated.

3 Validation

The validation of the results obtained, by the framework described before, is not straight forward. The results of a normative approach should not be interpreted as projections of the future. The results describe how the imposed normative objectives and constraints could be satisfied at best. The optimality criteria, usually energy system costs and environmental or security constraints, are the basic principles quoted by exponents of energy policy in Switzerland. In reality, neither the systems costs nor a given environmental quality are the only criteria used in making decisions about future investments in the energy system. For this reason, the model results are always a trade-off among the different criteria. The interpretation of results and the judgment of different policy options examined, which is a learning process among the model users and the policy oriented people, is a prerequisite for the successful use of the model.
In principle, there is a possibility to validate the model predictions by optimizing the evolution in the past 20 years, fixing energy demand, fuel prices and technology availability. This exercise is not yet done.

4 Methodological problems

- L.P. specific problems
  A critique usually quoted in relation to the use of L.P. models is related to the linearization used. For example, the model selects always the cheapest solution among two candidate technologies and the market is allocated fully to this technology. This is a typical situation with L.P. models but there are two possibilities to solve the problem:
  Firstly, the market is disaggregated such that due to differences in the specific cost as function of capacity, there are always different optimal technologies to each submarket.
  Secondly, growth constraints are introduced which allow to define a maximum or minimum change per time step, in relation to the capacity which has penetrated the market in the previous time step. In that way different technologies are restricted in their penetration rates and "logistic growth functions" could be simulated, but taking into account the marginal competitiveness criteria.
  Finally, I would like to mention that non-linear effects are taken into account by using first order approximations. All these necessary changes to improve the model performance have as consequence an increased matrix size.

- General equilibrium
  SMEDE and MARKAL are loosely coupled models with difficulties to define feedbacks among economic growth, energy demand and prices. In the present status of the models, all these feedbacks are defined exogenously for different demand and supply scenarios.
  The model is not considering equilibrium problems among the energy sector and the rest of the economy. There are options in improving this weakness. One possibility is to take into account a price to economic growth elasticity and try to iterate among energy prices estimated in MARKAL and economic growth and thus energy demand. The other possibility is a formal link among a macroeconomic model with I/O structure and sufficient sectorial disaggregation. Linking macroeconomic development, sectorial demand and energy supply, we can define the prices of primary inputs and the energy prices in an iterative procedure which clears the market. Such models are already used either in conjunction to MARKAL or to similar models [O. Sato, 1988].

- Partial equilibrium among demand and supply.
  In the present formulation of the model there is no formal feed-back among energy demand and energy prices. The only option to reduce demand below the values estimated by the "Reference case" of SMEDE, is the introduction of conservation measures. These are described by "potential vs cost" functions and penetrate the market as long as the economic competitiveness is obtained. The consumer behavior as function of the internal price adjustment (shadow prices) is not modeled. Although the technique in doing that is known, econometric analysis is necessary to define the reduction of "energy services" the consumers are willing to accept, as function of the marginal

cost of the service consumed. Formal links between econometric models of final demand and the primary to final energy sypply model of the energy system are always possible [C. Berger, 1987] Of interest for Switzerland are studies performed in CANADA explaining the merits of marginal pricing versus avarage pricing for general utility management [A. Haurie, 1980], using modified versions of MARKAL.

5 Recent results obtained

The model has been used by different individuals and organizations in the past to analyse, regional, national or international problems [BNL, 1989]. It is worthwhile to say that the Commission of European Communities is proposing a quite similar approach to study the implications of the CO_2 constraint for Europe.
Some recent results for Switzerland are shortly described here. The study is published as PSI report [S. Kypreos, 1990], and refers to the analysis of the evolution of the Swiss energy system under the Nuclear, the NO_x and the CO_2 constraint.
The main conclusions of this study are: *Although CO_2 control is feasible, the required investments in the energy system are so high that the realization of the Toronto proposal seems to be quite improbable for Switzerland. On the other hand, there are options in the international level which, when combined with an appropriate national energy policy, could lead to a sustainable energy future. The reduction of the CO_2 emissions is associated with significant structural changes of the Swiss energy system and relatively high investments.*

The model results indicate that the imposed policy goals of the Toronto conference could be satisfied for the Reference and the Nuclear Moratorium cases. A higher than 20% to 25% reduction of CO_2 emissions, by the year 2025, together with a nuclear Phase-Out is almost an impossible situation.

The high CO_2 control cost for Switzerland results from the structure of the energy system i.e. the low fraction of coal in the primary energy and an electricity generation system based upon hydro- and nuclear energy. This situation makes inter-fossil fuel substitution insufficient to meet the Toronto recommendations and demands conservation and renewable energies. The nuclear constraint and the CO_2 constraint, either acting independently or simultaneously, favour conservation and renewable energies, but at considerably high costs. Effective energy policy is a prerequisite to satisfy these constraints.

Switzerland produces at the moment 6.5 tons of CO_2 per capita, without having any coal power station. In the case of a Moratorium the emissions will reach 6.9 tons/cap and this in a form of highly dispersed sources. The reduction, therefore, to 3.2 tons/cap, as proposed by the Toronto conference, has to be done by expensive conservation and electricity generation systems using renewable energies.
There are other measures more efficient in reducing the CO_2 emissions than the ones estimated in the model. Global strategies could be based, for example, on reforestation and the use of biomass as energy fuel, or regional solutions which capitalize on specific advantages in the use of renewable energy (for example Sahara desert), or extensive use of nuclear process heat for coal liquefaction in remote areas. These options should be investigated in correlation with national conservation measures and policies, in order to define a balance between the national and international actions. Although the situation in terms of the global warming effects of the CO_2 emissions and other trace gases could become critical, the formulation and realization of effective energy policy against the green-house effect is going to be a challenge requiring coordinated global analysis and actions.

The analysis done with these models indicates that the best choice is a combination of the nuclear option and an enhanced use of conservation and renewable energies, in the heating market. In the case of a nuclear Moratorium or a Phase-Out of nuclear energy, enhanced conservation

policy in the electricity market is a prerequisite. Conservation and the use of renewable energies in the heating market are to be introduced at an even higher level. Renewable energy use and conservation options are approaching their maximum allowable bounds.

Fig. 1: Contribution of various options to reduce CO_2 emissions by 33% in the year 2025 for the Moratorium and the Reference cases. The contribution of the conservation assumed in SMEDE and the interfuel switching obtained between the unconstrained case and the fuel mix of 1990, in reducing CO_2 emissions, are more significant that the gains shown in this Figure.

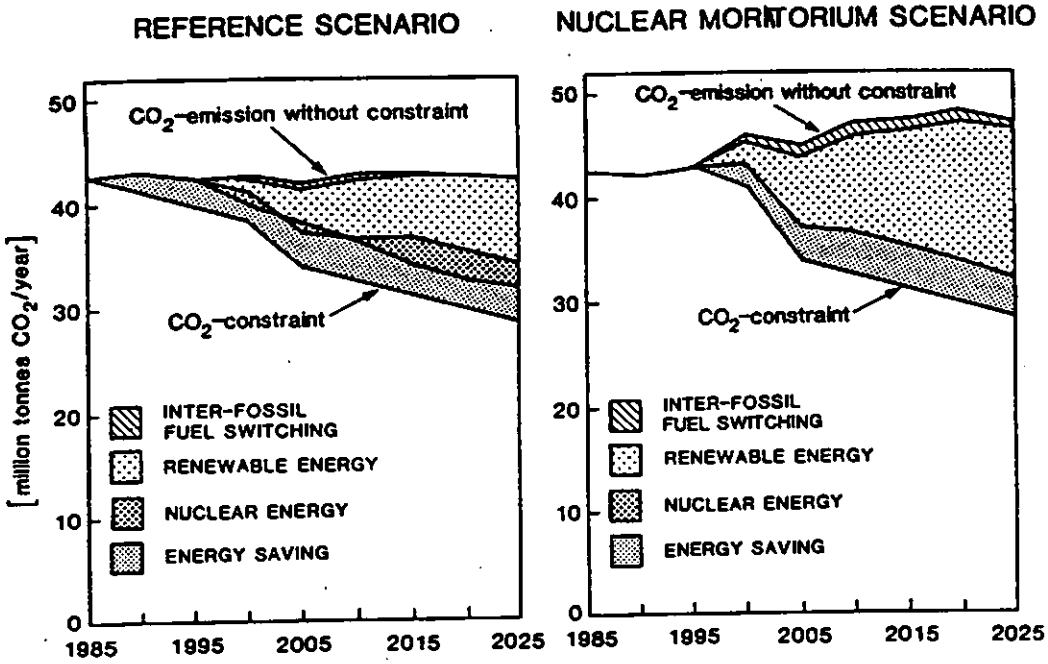
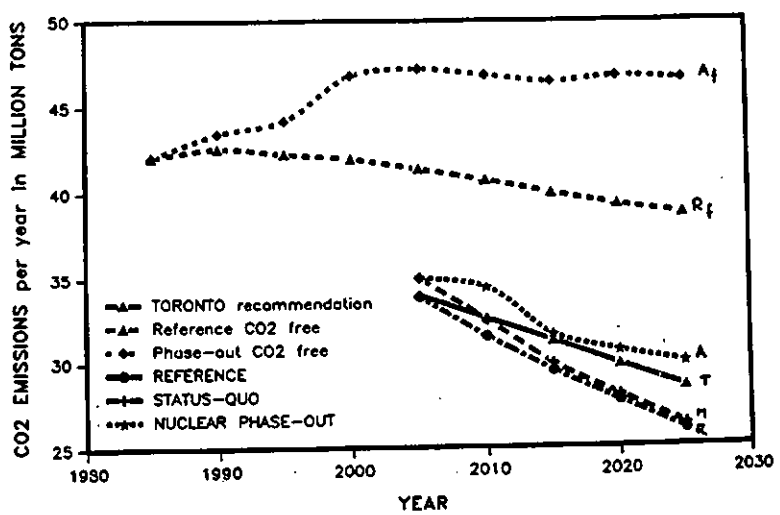


Fig. 2: Feasibility range of CO_2 reduction versus the Toronto recommendations under different scenarios.
The curves A_f and R_f show the emissions for the CO_2 unconstrained development in the nuclear Phase-Out and the Reference case, while the curves below show the maximum possible CO_2 reduction and the necessary reduction recommended by the Toronto conference, T. Since the proposed reduction is not feasible the constraint was relaxed for all cases in order to obtain comparable results. The requested range of reduction in the sensitivity cases was between 18 percent to 27 percent.



The following table is a summary of the average and marginal costs estimates corresponding to CO_2 emission reductions between 18% and 27%.

Table 1 Cost and price differences among scenarios due to CO_2 control (REference, MOratorium and Phase-Out)

definition (units)	RE	MO	PO
Annual cost difference, $10^9 Fr/a$	1.6	2.3	5.8
Average non-disc. cost, Fr/kg	.26	.22	.49
Average discounted cost, Fr/kg	.19	.17	.26
Marginal discounted cost, Fr/kg	.30	.43	.60

6 Limitations and conclusions

The basic advantages and problems accounted for when using the model have been explained and possibilities to further improve the quality of information obtained have been shortly presented. Most of the limitation concerning the data used have been also discussed before.

Models are always a simplification and abstraction of the real world. The policy makers should know the specific advantages and disadvantages of the different approaches used and they should try to get a balanced set of information by selecting the appropriate tools. Usually a set of model should be used to answer a specific question. The question imposed gives the first criteria in selecting the appropriate models. Whatever the selection is, a prerequisite of success is commitment of sufficient resources and the close cooperation among modelers and policy makers.

7 References

- BNL, September 1989. "Estimating national costs of controlling emissions from the energy system". Final draft report of the ETSAP (IEA) Project.
- M. Finnis, J. Gundermann and G. Tosato. : "Value flows in a linear economic model" AERE Harwell report TP.1065, June 1984
- L.G. Fishbone et als.: "User's guide for MARKAL (BNL/KFA Version 2.0)", BNL 51701, 1.6.1983.
- S. Kypreos: "The model MARKAL: Theory and applications"
  Presented at: EPF Lausanne, Post gratuate course on Energy, 5 April 1990
- I. Knöpfel. : "Massnahmen der effizienten Energienutzung in der Industrie" To be presented at the Geneva CUEPE meeting on October 19, 1990.
- S. Kypreos et als.: "Energienachfrage-Szenarien, bearbeitet mit dem Energiesimulations-Modell SMEDE", EIR-TM-13-87-12, 1987.
- S. Kypreos : "Energy scenarios for Switzerland and emission control estimated with a normative model". PSI-Report No. 70, June 1990.
- O. Sato, S. Yasukawa :"Combined E-I/O model and its application to energy-environment analysis", Published in the Proceedings of the joint Workshop ETSAP - IIASA, 23-26 May 1988.
- W. Hediger : "Opportunitätskosten der Umweltverschmutzung".
  (Thesis) März 1990, in publication.
- Berger C. et. als.: "MARKAL: Development of materials, finantial and multiregional capability", Published in the Proceedings of the joint Workshop ETSAP - IIASA, 23-26 May 1988.
- Berger C. et. als.: "MEDEQ-MARKAL: Un couplage entre deux modèles technoéconomique du Système Énergetique du Québec" R.A.I.R.O Recherche Opérationelle Vol. 21, No 1 Febryary 1987.
- A. Haurie, R. Loulou, G. Savard: "A two-level Systems Analysis Model of Power Cogeneration under Asymmetric Pricing". GERAD G-89-34. September 1989.

PROGRAMMATION MATHEMATIQUE ET ANALYSE DES CHOIX ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Alain Haurie
Université de Genève, Suisse

Richard Loulou
GERAD et Université McGill, Montréal, Canada

Jean-Philippe Vial
Université de Genève, Suisse

Abstract: This paper presents a mathematical programming paradigm used for the analysis of global energy-environment systems in one country or a set of interconnected regions. The following topics are developed and discussed: (i) interpretation of primal and dual solutions; (ii) shadow prices of environmental constraints; (iii) coordination and decomposition of large scale multiregional systems; (iv) computation of equilibria among different subsectors.

1 Introduction

L'analyse des choix énergétiques à long terme pour une région doit se faire selon une approche systémique et globalisante. Parmi les facteurs qui militent en faveur d'une telle approche citons :

- la grande diversité des formes énergétiques et des technologies impliquées, inter-reliées dans un réseau complexe,
- la multiplicité des filières envisageables pour transformer les formes primaires en énergies secondaires, en énergie finale puis en énergie utile,
- l'existence de nombreux *acteurs* sur la scène énergétique (gouvernement, entreprises, consommateurs).

La prise en considération des conséquences environnementales des choix énergétiques (pluies acides, effets de serre, pollution des eaux et des sols) dans les modèles de planification renforce encore ce besoin d'une méthode d'analyse systémique. En effet, de récentes analyses faites sur la meilleure façon d'atténuer les conséquences des choix énergétiques sur la pollution atmosphérique, ont montré qu'il était possible de réaliser des gains d'efficacité appréciables en cherchant à réduire d'une façon combinée plusieurs types de pollution à la fois. Nous citerons les études [21,4] où l'on montre que les contrôles des émissions de gaz acides et des gaz à effet de serre peuvent, s'il sont coordonnés, entraîner de substantielles économies.

La programmation mathématique permet une exploration rationnelle des choix technico-économiques dans des systèmes complexes. Longtemps perçus comme la manifestation d'une approche normative à la planification énergétique et, dès lors, fermement combattus par les tenants du libéralisme économique, les modèles d'optimisation des choix énergétiques et environnementaux à long terme tendent de plus en plus à devenir des outils de simulation et d'exploration de conditions de marché idéal où l'on observerait en particulier

- un accès parfait à l'information,
- une tarification des biens énergétiques effectuée au coût marginal.

Ce type de modèle s'avère particulièrement utile pour analyser les termes d'échange entre plusieurs systèmes énergétiques régionaux interconnectés. Le cas du développement des échanges d'électricité entre plusieurs réseaux interconnectés du nord-est américain et de l'est du Canada a été récemment analysé à l'aide de ce type de modèle [1]. L'établissement d'une tarification équitable nécessite une appréciation des coûts et avantages respectifs encourus ou retirés par les échangeurs. Les modèles de programmation mathématique fournissent les éléments de cette évaluation ([5,14]). Notons qu'un aspect intéressant de la problématique est lié à la prise en compte de l'offre d'électricité provenant de *cogénérateurs* industriels, ce qui pose un problème non classique d'équilibre entre producteurs, comme nous le verrons plus loin dans cet article (voir aussi [13]).

Dans une autre analyse récemment effectuée, un modèle de programmation mathématique a pu aussi servir à évaluer la rentabilité d'une technologie de production d'hydrogène à partir de ressources renouvelables dans des

régions éloignées, par exemple la Côte Nord du Québec ou le Zaire, pour être transporté vers des villes européennes où il contribuera à réduire la pollution atmosphérique due aux flottes d'autobus urbains ou aux avions. L'hydro-électricité servant à produire de l'hydrogène sur la Côte Nord du Québec pourrait d'autre part être exportée vers les états américains voisins. Le *coût d'opportunité* de cette électricité doit donc être évalué en fonction de l'usage qui pourrait en être fait dans un contexte plus large que la satisfaction de la demande locale. L'approche systémique a permis un calcul économique global et cohérent. Le modèle d'échange mentionné précédemment a donc été utilisé. Une fois transporté et utilisé dans une ville européenne (par exemple Münich) l'hydrogène va réduire la charge en carbone des émissions atmosphériques du système de transport. La valeur de l'hydrogène va donc être déterminée par l'importance accordée à Münich à la réduction marginale des émissions de carbone dans l'atmosphère. La programmation mathématique permet de prendre en compte, simultanément, l'ensemble de ces éléments et de fournir le type de réponse suivant : *Compte tenu du marché du nord-est américain pour l'électricité, des coûts des technologies de production de transport et d'utilisation de l'hydrogène dans les systèmes de transport des villes européennes, il faut envisager une taxe au contenu de carbone des émissions de $ x/tonne, qui se traduit par une taxe de $ y/litre d'essence, pour rentabiliser cette filière* ([12]).

Dans cet article nous étudierons d'un point de vue très général les structures des modèles de programmation mathématique pour l'analyse des choix énergétiques et environnementaux, Nous présenterons, dans les sections qui suivent un *paradigme de base* relevant de la programmation linéaire. Nous aborderons alors trois questions importantes de l'économie de l'énergie et de l'environnement :

- (i) la valorisation des biens environnementaux,
- (ii) la coordination des politiques de régions interconnectées par des importations et exportations d'énergie et de pollution atmosphérique,
- (iii) le calcul d'équilibre entre secteurs ou régions en interaction.

2 le paradigme de base

Définissons les variables et paramètres suivants:

x : vecteur des niveaux d'activité du système énergétique considéré,

c : vecteur des coûts unitaires des activités,

A : matrice des coefficients techniques (consommation de ressources) des activités,

b : vecteur des dotations en ressources,

D : matrice des coefficients de production des différentes formes d'énergie par les activités,

d : vecteur des demandes utiles exogènes à satisfaire,

E : matrice des coefficients d'émission des différents polluants par les activités,

e : vecteur des niveaux globaux d'émission à ne pas dépasser dans le système.

Le modèle générique s'écrit alors ainsi

$$\begin{aligned}
\min \quad & \mathbf{c}'\mathbf{x} && \text{coût total du système} && (1)\\
& \text{s.c.} \\
& \mathbf{A}\mathbf{x} \leq \mathbf{b} && \text{rareté des ressources} && (2)\\
& \mathbf{D}\mathbf{x} \geq \mathbf{d} && \text{satisfaction des demandes utiles} && (3)\\
& \mathbf{E}\mathbf{x} \leq \mathbf{e} && \text{limites imposées aux émissions} && (4)\\
& \mathbf{x} \geq 0 && && (5)
\end{aligned}$$

Dans ce modèle, les niveaux d'activité **x** peuvent représenter des capacités installées, des niveaux d'utilisation des installations, des niveaux d'investissement. Parmi les activités on peut inclure celles qui correspondent au prolongement de la vie active des équipements installés ou bien celles qui concernent spécifiquement la réduction des charges polluantes des émissions. Les formes d'énergie utile peuvent être exprimées en unités énergétiques (PJ) ou en unités physique (passagers*km par exemple). Les contraintes de rareté des ressources peuvent servir à décrire les opérations d'extraction et de transformation des différentes formes d'énergie, ainsi que les processus d'accumulation et de déclassement des capacités installées. Les contraintes de satisfaction des demandes peuvent tenir compte des modulations par saisons et postes horaires (électricité et chauffage urbain).

Comme exemple de tels modèles nous pouvons citer les différentes versions de MARKAL élaborées par le comité ETSAP de l'AIE ([8,19,2]).

L'utilisateur du modèle va devoir spécifier les paramètres $(\mathbf{c}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{D}, \mathbf{d}, \mathbf{E}, \mathbf{e})$. Pour cela il devra bâtir une banque de données qui reproduira fidèlement la situation de base du système énergétique (par exemple celle observée sur la période 1985-90), puis procèdera par extrapolation et projections pour bâtir une base de données prospective. Un tel exercice fournit un *scénario*, correspondant à un ensemble d'hypothèses portant sur les coefficients techniques (efficacités, progrès technologiques, taux d'émission), l'évolution de la demande utile (croissance économique), et l'évolution des coûts (prix du pétrole, coûts d'investissement etc...). Grâce à une technique d'optimisation, les niveaux d'activité optimaux $\mathbf{x}^*$, qui minimisent le coût (1) sous les contraintes (2) - (5) seront obtenus.

L'exploitation du modèle consiste alors à observer l'effet des changements de prospective sur l'organisation optimale du système énergétique. Dans cette analyse, la forme *duale* du problème (1) - (5) fournit tout autant d'information que la solution *primale* $\mathbf{x}^*$. Cette forme duale s'écrit ainsi

$$\max \quad -\mathbf{u}'\mathbf{b} + \mathbf{v}'\mathbf{d} - \mathbf{w}'\mathbf{e} \tag{6}$$

s.c.

$$\mathbf{u}'\mathbf{A} - \mathbf{v}'\mathbf{D} + \mathbf{w}'\mathbf{E} \geq -\mathbf{c}' \tag{7}$$

$$\mathbf{u}' \geq 0, \quad \mathbf{v}' \geq 0, \quad \mathbf{w}' \geq 0 \tag{8}$$

La solution ($\mathbf{u}^*$, $\mathbf{v}^*$, $\mathbf{w}^*$) de la forme duale fournit, comme il est bien connu ([22]), les valeurs marginales des ressources disponibles ($\mathbf{u}^*$ pour b), les coûts marginaux de satisfaction des demandes ($\mathbf{v}^*$ pour d) et les coûts marginaux de satisfaction des contraintes environnementales ($\mathbf{w}^*$ pour e). A l'optimum, une activité j aura un niveau x_j^* positif seulement si la contrainte (7) correspondante est active ([22]), c'est à dire vérifie

$$-\mathbf{u}^{*\prime}\mathbf{A}_j + \mathbf{v}^{*\prime}\mathbf{D}_j - \mathbf{w}^{*\prime}\mathbf{E}_j = c_j \tag{9}$$

Une activité j pour laquelle la contrainte (7) n'est pas active

$$-\mathbf{u}^{*\prime}\mathbf{A}_j + \mathbf{v}^{*\prime}\mathbf{D}_j - \mathbf{w}^{*\prime}E_j < c_j \tag{10}$$

ne sera pas utilisée (c'est à dire aura un niveau nul) dans la solution optimale. La différence entre le second membre (c_j) et le premier membre de (10) s'appelle le *coût réduit* de l'activité. Plus ce coût réduit est élevé plus l'activité se trouve *éloignée* de la compétitivité. En fait, le coût réduit d'une activité indique la diminution du coût unitaire qu'il faudrait observer pour que cette activité puisse apparaître avec un niveau non nul dans la solution. Ces coûts réduits fournissent ainsi un moyen très naturel de réaliser un classement compétitif des technologies (*technology ranking*).

En résumé, la solution primale propose un agencement des activités qui s'adapte au mieux à la prospective, cependant que l'analyse des coûts réduits fournit un classement de toutes les technologies n'apparaissant pas à un niveau positif dans la solution primale. Le panorama est ainsi complet.

3 Valorisation marginale des contraintes environnementales

La considération de la solution duale fournit aussi des éléments de réponse rationnelle à l'établissement d'une valeur pour les biens environnementaux. Reprenons l'exemple de l'utilisation de l'hydrogène dans les systèmes de transport urbain afin de réduire les émissions atmosphériques de carbone.

Pour l'activité consistant à utiliser un bus à hydrogène, l'inéquation (7) peut s'écrire

$$-\mathbf{w}^{*\prime}\mathbf{E}_j \leq \mathbf{u}^{*\prime}\mathbf{A}_j - \mathbf{v}^{*\prime}\mathbf{D}_j + c_j \tag{11}$$

S'il n'y a qu'une contrainte, par exemple sur l'émission de gaz carbonique, $\mathbf{E}_j$ devient un scalaire E_j et on a donc

$$w^* \geq \frac{1}{E_j}(\mathbf{v}^{*\prime}\mathbf{D}_j - \mathbf{u}^{*\prime}\mathbf{A}_j - c_j) \tag{12}$$

Si l'inégalité est stricte en (13), la technologie correspondante n'est pas compétitive. Le premier membre, w^*, correspond à la valeur marginale, pour le système, d'une réduction d'une unité de l'émission de carbone. Plus la contrainte globale e sera serrée, plus w^* sera élevé. Pour une technologie compétitive on aura exactement

$$w^* = \frac{1}{E_j}(\mathbf{v}^{*\prime}\mathbf{D}_j - \mathbf{u}^{*\prime}\mathbf{A}_j - c_j) \tag{13}$$

On peut aussi interpréter le membre de droite de (14) comme une indication de la taxe minimale au contenu de carbone qui rend compétitive, marginalement, la technologie en question. On obtient ainsi une indication de la taxe qu'il faudrait imposer sur l'essence et les autres combustibles pour permettre à l'autobus à hydrogène de devenir une technologie attrayante.

4 Coordination de politiques énergétiques et environnementales dans plusieurs régions

Les formes d'énergie s'échangent entre régions interconnectées (réseaux électriques interconnectés, oléoducs, gazoducs, ...). Les formes de pollution sont transportées par les vents, les cours d'eau et les courants. De plus en plus, l'analyse des perspectives à long terme des systèmes énergétiques et environnmentaux va nécessiter une prise en compte des interactions entre différentes régions. Les techniques de décomposition des grands programmes mathématiques fournissent des éléments intéressants pour de telles analyses. Nous présenterons ici un modèle générique à plusieurs régions et nous discuterons brièvement des techniques de résolution des problèmes d'optimisation ayant cette structure.

Définissons les variables et paramètres suivants pour chaque région $i = 1, \ldots m$:

$\mathbf{x}^i$: vecteur des niveaux d'activité du système énergétique considéré,

$\mathbf{c}^i$: vecteur des coûts unitaires des activités,

$\mathbf{A}^i$: matrice des coefficients techniques (consommations de ressources) des activités,

$\mathbf{b}^i$: vecteur des dotations en ressources,

$\mathbf{D}^i$: matrice des coefficients de production des différentes formes d'énergie par les activités,

δ^i : vecteur des demandes finales exogènes à satisfaire, par forme d'énergie,

$\mathbf{E}^i$: matrice des coefficients d'émission des différents polluants par les activités,

$\mathbf{e}^i$: vecteur des niveaux globaux d'émission à ne pas dépasser dans le système,

ε_i^{ik} et ε_i^{ki} : vecteur des exportations (importations) d'énergie de la région i vers la région k (de la région k vers la région i), décidées par la région i,

$\mathbf{B}^{ik}$: matrice des coefficients techniques des technologies de transport des différentes formes d'énergie,

$\mathbf{h}^{ik}$: vecteur des dotations en ressources d'échange entre les régions i et k,

Δ^{ik} : matrice des coefficients d'efficacité sur les lignes de transport dans les échanges allant de la région i à la région k,

$\mathbf{T}^{ik}$: matrice des coefficients de transport des différentes formes de pollution depuis la région i jusqu'à la région k.

Le modèle générique s'écrit alors ainsi

$$\min \sum_{i=1}^{m} \mathbf{c}^{i\prime}\mathbf{x}^i \qquad \text{coût total} \qquad (14)$$

s.c.

$$\mathbf{A}^i\mathbf{x}^i \leq \mathbf{b}^i, \quad i = 1,\dots m \qquad \text{rareté des ressources} \qquad (15)$$

$$\mathbf{D}^i\mathbf{x}^i - \sum_{k=1}^{m}(\varepsilon_i^{ik} - \Delta^{ik}\varepsilon_i^{ki}) \geq \delta^i, \quad i = 1,\dots m \qquad \text{demandes locales} \qquad (16)$$

$$\mathbf{B}^{ik}\varepsilon_i^{ik} \leq \mathbf{h}^{ik}, \quad i = 1,\dots m, k = 1,\dots m \qquad \text{ressources d'échange} \qquad (17)$$

$$\sum_{k=1}^{m} \mathbf{T}^{ik}\mathbf{x}^k \leq \mathbf{e}^i, \quad i = 1,\dots m \qquad \text{retombées locales} \qquad (18)$$

$$\sum_{k=1}^{m} \mathbf{E}^k\mathbf{x}^k \leq \tau \qquad \text{retombées globales} \qquad (19)$$

$$\varepsilon_i^{ik} - \varepsilon_k^{ik} = 0, \quad i = 1,\dots m, k = 1,\dots m \qquad \text{coordination échanges} \qquad (20)$$

$$\mathbf{x} \geq 0, \qquad (21)$$

$$\varepsilon_i^{ik} \geq 0, \varepsilon_i^{ki} \geq 0, i = 1,\dots m, k = 1,\dots m. \qquad (22)$$

On distinguera dans ce modèle les contraintes locales (16)-(18), qui ne font intervenir que des niveaux d'activité d'une région i donnée et les contraintes

globales (18)-(20) qui couplent toutes les régions ensemble. Parmi ces dernières figurent les contraintes relatives aux limites de différentes émissions (par exemples les gaz acides) retombant dans chacune des régions (18), celles limitant les émissions globales (par exemple les gaz à effet de serre) pour l'ensemble des régions (19) et, finalement les contraintes de coordination et de compensation des échanges (20). En l'absence des contraintes (19)-(20) le problème d'optimisation se décomposerait en m sous-problèmes complètement découplés. Pour amener chaque région i à adopter des niveaux d'activité compatibles avec les objectifs globaux on peut procéder par une tarification implicite des contraintes (19)-(20). si $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$ et ω sont les *tarifs* appliqués aux contraintes (18), (19) et (20) respectivement on peut transformer le problème par une dualisation partielle. Il est alors équivalent à un problème de point de selle

$$\max_{((\mathbf{u}^{ik}),(\mathbf{v}^i),\omega)\geq 0} \quad f((\mathbf{u}^{ik}),(\mathbf{v}^i),\omega) \tag{23}$$

où

$$f((\mathbf{u}^{ik}),(\mathbf{v}^i),\omega) = \min \quad \{\sum_{i=1}^{m}[\mathbf{c}^{i\prime}\mathbf{x}^i - \sum_{k\neq i}\mathbf{u}^{ik\prime}(\varepsilon_i^{ik} - \varepsilon_k^{ik})$$

$$-\mathbf{v}^{i\prime}\mathbf{T}^{ki}\mathbf{x}^i - \omega'\mathbf{E}^i\mathbf{x}^i]\} - \sum_{i=1}^{m}\mathbf{v}^{i\prime}\mathbf{e}^i + \omega'\tau \tag{24}$$

s.c.

$$\mathbf{A}^i\mathbf{x}^i \leq \mathbf{b}^i, \quad i = 1,\dots m \tag{25}$$

$$\mathbf{D}^i\mathbf{x}^i - \sum_{k=1}^{m}(\varepsilon_i^{ik} - \Delta^{ik}\varepsilon_i^{ki}) \geq \delta^i, \quad i = 1,\dots m \tag{26}$$

$$\mathbf{B}^{ik}\varepsilon_i^{ik} \leq \mathbf{h}^{ik}, \quad i = 1,\dots m\,, k = 1,\dots m \tag{27}$$

$$\mathbf{x} \geq 0, \tag{28}$$

$$\varepsilon_i^{ik} \geq 0, \quad \varepsilon_i^{ki} \geq 0, \quad i = 1,\dots m\,, k = 1,\dots m. \tag{29}$$

Lorsque les variables duales, $(\mathbf{u}^{ik}),(\mathbf{v}^i),\omega$, sont fixées, le problème de minimisation (24)-(29) se décompose en m sous-problèmes indépendants. Les variables duales $(\mathbf{u}^{ik})$ s'interprètent comme des prix d'échange des formes d'énergie. Les variables $(\mathbf{v}^i)$ définissent une tarification des rejets polluants atteignant la région i. Enfin, les variables ω définissent un système de prix pour les émissions globales de pollution. La détermination de ces prix duaux est le résultat d'une optimisation globale de l'ensemble du système constitué des m régions.

La méthode développée par Dantzig et Wolfe ([7]) fournit un moyen systématique d'y arriver par un processus de tâtonnement où un échange d'information s'opère entre un agent principal qui gère les contraintes communes (19)-(20) et les m agents régionnaux qui gèrent leurs propres sous-systèmes. L'agent principal envoie une information sous la forme des prix duaux $((\mathbf{u}^{ik}),(\mathbf{v}^i),\omega)$. Les agents régionnaux réagissent en indiquant la solution du problème décomposable (25)-(30) qui y correspond. L'algorithme de Dantzig et Wolfe met à jour les propositions de prix duaux en résolvant

un programme mathématique auxiliaire qui correspond à la maximisation d'une *approximation extérieure* de la fonction (23) obtenue à la suite des propositions passées faites par les agents régionnaux.

Bien que très attrayante sur le plan conceptuel, la méthode de Dantzig et Wolfe s'est avérée relativement peu performante car elle nécessite un très grand nombre d'échanges d'informations. Une mise en oeuvre avancée a cependant été réalisée [15] et appliquée à l'analyse des systèmes d'énergie de la CEE [16]. Des travaux méthodologiques récents ([11], [9], [10]), où les prix duaux sont déterminés par le principal en utilisant une *méthode intérieure* du type de celle développée par Karmarkar ([18]), laissent présager de sensibles améliorations de performances.

5 Calcul d'équilibres entre sous-secteurs en interaction

Un modèle de programmation mathématique peut servir à définir de manière implicite la *courbe d'offre* d'un système de production. Si une fonction de demande décrit la relation entre les prix des formes d'énergie et leurs niveaux de consommation, un équilibre offre-demande peut être calculé par une technique de programmation mathématique. Des applications de cette technique à des modèles énergétiques ont déjà été réalisées ([17], [6]). Un calcul d'équilibre offre-demande entre un système de production décrit par un programme linéaire et un système de demande décrit par un simulateur des comportements des utilisateurs (MEDEE) a aussi été proposé [3]. Une dernière possibilité, jusqu'ici peu exploitée, consiste à décrire la demande d'énergie finale comme une demande dérivée résultant d'une optimisation des usages par un secteur d'utilisation. Cela est bien adapté, en particulier, à la description des consommations d'énergie dans les secteurs industriels. On fait alors face à un problème de calcul d'équilibre offre-demande entre deux secteurs, tous deux décrits par des modèles de programmation mathématique. A cette classe de problèmes se rattache celle, encore plus générale, du calcul d'équilibres non-coopératifs dans des jeux où les joueurs sont décrits par des programmes mathématiques. La récente étude des relations entre cogénérateurs industriels et compagnies de production d'électricité (*utilities*) de la Nouvelle Angleterre, régies par la législation PURPA ([13]), montre que des heuristiques efficaces peuvent être développées pour effectuer de tels calculs.

[1]Recherche subventionnée par CRSNG-Canada, FCAR-Québec et par FNRS-Suisse

References

[1] C. BERGER, R. DUBOIS, A. HAURIE, E. LESSARD AND R. LOULOU, *Assessing the Dividends of Power Exchange Between Quebec and New York State: A systems Analysis Approach*, **Int. J. of Energy Research** Vol. 14, pp. 253-273, 1990.

[2] C. BERGER, D. FULLER, A. HAURIE, R. LOULOU, D. LUTHRA AND J.-P. WAAUB, *Modelling Energy Use in the Mineral Processing Industries of Ontario with MARKAL-Ontario*,**Energy**, Vol. 15, No. 9 , pp. 741-758, 1990.

[3] C. BERGER, A. HAURIE, G. SAVARD, R. LOULOU, G. LAFRANCE ET J.-P. SURPRENANT, *MEDEQ-MARKAL: Un couplage entre deux modèles techno-économiques du système énergétique du Québec*, **RAIRO, Recherche opérationnelle**, Vol. 21, pp. 21-50, 1987.

[4] C. BERGER, E. LESSARD, R. LOULOU AND J.-P. WAAUB, *Exploring Acid Gas Emission Reductions in the Province of Quebec via MARKAL-Québec*, Chap. 4 of **Estimating National Costs of Controlling Emissions from the Energy System**, BNL, Upton, 1989.

[5] A. BRETON, A. HAURIE AND R. KALOCSAY, *Efficient Management of Interconnected Power Systems: A Game Theoretic Approach*, **Automatica**, Vol. 14, 1978, pp. 443-452.

[6] T.E. DANIEL AND H.M. GOLDBERG, *Dynamic Equilibrium Energy Modeling: The Canadian BALANCE Model*, **Operations Research**, Vol. 29, pp. 829-852, 1981.

[7] G.B. DANTZIG AND P. WOLFE, *The Decomposition Algorithm for Linear Programming*, **Econometrica**, Vol. 29, pp. 767-778, 1961.

[8] L.G. FISHBONE AND H. HABILOCK, *MARKAL, a Linear Programming Model for Energy System Analysis: Technical Description of the BNL Version*, **Int. J. of Energy Research**, Vol. 5, 1981, pp. 353-375.

[9] J.L. GOFFIN, A. HAURIE AND J.-P. VIAL, *Decomposition and Nondifferentiable Optimization with the Projective Algorithm*, **Management Science**, to appear.

[10] J.L. GOFFIN, A. HAURIE AND J.-P. VIAL, *Using Central Prices in the Decomposition of Linear programs*, **Europ. J. of Operational Research**, to appear.

[11] J.L. GOFFIN AND J.-P. VIAL, *Cutting Planes and Column Generation Techniques with the Projective Algorithm*, **J. Opt. Theory and App.**, to appear.

[12] A. HAURIE AND R. LOULOU, *Hydrogen Production and Exportation in Quebec: A Techno-Economic Analysis*, GERAD, May 1990.

[13] A. HAURIE, R. LOULOU AND G. SAVARD, *A Two Player Game Model of Power Cogeneration in New England*, **IEEE Transactions on Automatic Control**, to appear.

[14] A. HAURIE AND G. ZACCOUR, *A Differential Game Model of Power Between Interconnected Utilities*, **Proc. 25th IEEE CDC**, Athens, Dec. 1986.

[15] J.K. HO AND E. LOUTE, *An Advanced Implementation of the Dantzig-Wolfe Algorithm for Linear Programming* **Mathematical Programming**, Vol. 20, 1981, pp. 94-101.

[16] J.K. HO, E. LOUTE, Y. SMEERS AND E. VAN DER VOURT *The Use of Decomposition Techniques for Large-Scale Energy Models*, **Energy Policy**, special issue on energy models for the European Community, A. Strub (ed.) June 1979, pp. 94-101.

[17] W.W. HOGAN, *Energy Policy Modelsfor Project Independence*, **Computers and Op. Research**, Vol. 2, pp. 251-271, 1975.

[18] N. KARMARKAR, *A New Polynomial-Time Algorithm for Linear programming*, **Combinatorica**, Vol. 4, pp. 373-395, 1984.

[19] S. KYPREOS, *The Influence of Proposed Energy Policies to the Swiss System*, in D.M. Gerachty (ed.) **Energy Markets in the Long Term: Planning under Uncertainty**, Elsevier, 1985.

[20] T. LARSSON AND C-O. WENE, *The Greenhouse Effect as an Uncertainty in Energy Planning: Case Study Sweden*, **Proc. Risö Int. Conf. on Environmental Models: Emissions and Consequences**, 22-25 May 1989, Risö, Denmark, Elsevier, Amsterdam.

[21] T. LARSSON AND C-O. WENE, *Strategies to Control Emissions from the Energy System: Case Study Sweden*, 12th Annual International Coference of the International Association for Energy Economics, New Delhi, India, Jan. 4-6-1990.

[22] D.G. LUENBERGER, **Introduction to Linear and Nonlinear Programming**, Addison Wesley 1973.

SYNTHESE DES CONTRIBUTIONS ECRITES

Gonzague Pillet, Institut Paul Scherrer, Villigen

Pour cette session, les contributions ont été classées en ordre séquentiel dans le but de les "placer" dans le tableau ci-après et de faire ainsi ressortir complémentarités et différences dans la panoplie des modèles à disposition.

Les clefs de lecture qui furent présentées par les organisateurs de la journée ont été les suivantes:

1. le sujet adressé (le "motto" ci-après);
2. les contraintes retenues;
3. l'accent porté (emphasis);
4. les résultats.

Une clef supplémentaire a été la référence aux contraintes de l'environnement.

Chaque contribution est résumée ci-après en fonction de ces critères d'analyse.

E. Amthauer, Modell der Elektrizitätsversorgung der Schweiz

Motto. This paper is devoted to the analysis - by means of a forecast accounting model - of problems relative to provisioning the electricity sector in Switzerland.

Constraints are end-use energy as electricity and available primary energy sources.

The *emphasis* is put on self-reliance vs. electricity overall requisites for the country.

Results. Predictions show, over a time horizon of 20 years, the possible new partition between domestic and foreign electricity generations to meet future end-users demand markets. The figures obtained show a huge gap between demand and domestic electricity generations.

One should stick to this market analysis; however, the link with overall environmental constraints is missing. The policy question addressed is a goal in itself.

M. Ferrari, P. Zweifel, Multiple Energy Supply Risks and Optimal Reserves.

The *motto* of the paper is in deriving – using objective functions and according to economic theory – optimal adjustments of oil stocks and electricity production capacities to a changing environment.

Constraints lie in the trade-off between the security of supply and the cost of stockpiling imported energy and of building up domestic capacity of production.

The *emphasis* is placed on the decision problem of the policy maker vis-à-vis the expected direct cost and loss to minimize, on the one hand, while running, on the other hand, into some other, capital as well as environmentally oriented, costs.

The *results* highlight the need for more a global analysis, namely a multi-dimensional policy accounting for simultaneous adjustments of oil stocks and electricity production capacities.

A policy question is addressed together with an inbuilt environmental feedback. Then the relationships between policy constraints and policy options are translated into decision-makings.

T. Bürki, Energie-Modell Zürich. Konzept einer Energeversengrup für die Wirtschaft in der Stadt Zürich, mit besonderem Schwerpunkt der Elektrizitätsversorgung

Motto. Analyzing - using a forecast model - problems relative to balancing energy demand and supply for the City of Zurich economic space (eight out of the largest privately owned end-users - as regards the first version of the model) with due reference to possible future capacity shortages.

Constraints are economically, politically as well as environmentally oriented and grounded.

The *emphasis* is placed on how to make a way for less future electricity use and emissions of pollutants into the environment.

Yet the model seems to be a mix of top-down and bottom-up approaches. There is no reason why these two approaches could not be married. The question is: What goes as technology costs and savings, and what goes as energy systems costs and benefits?

Finally, the *results* show that energy savings can go up to 23% of the electricity use in the year 2000.

This contribution tackles problems (first line on the table) more than policy constraints. This is an effort at delineating the size of energy supply and demand relative to some economic space.

W. Baumgartner, Pragmatisches Modell zur Untersuchung von energie- und umweltrelevanten Massnahmen im Verkehr.

Motto. This is the Swiss contribution to the C.O.S.T. project (Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique); that is, to the implementation of a rationale for analyzing and testing the validity of energy instruments designated to large-scale automotive traffic by their practical results.

Constraints put on what finally looks like a simulation game are, #1 energy, traffic, and environment related constraints, and #2 economic and social constraints.

The *emphasis* is thus on the ranking of these constraints and the resulting instruments and practical actions.

To get *results*, a rather eclectic model (eclectic means picking up the best parts of various standard models) is suggested which will lead to a catalogue of actions.

More explanation about the ins and outs of the question is needed in as far as what I got was more a descriptive brochure of a project than the ultimate runs of a model. Anyway, this contribution is an effort to translate problems into policy options and actions.

G. Antille, F. Carlevaro, T. Müller, MEGA-Suisse: un modèle d'équilibre général appliqué pour l'évaluation des impacts économiques des politiques énergétiques.

Motto. Assessing - using a general equilibrium model - the effects of EGES energy policy scenarios in the macro domain.

Constraints are two alternative policy options phasing out nuclear energy, the first one depending upon the technical obsolescence of actual nuclear power plants, the second one being attached to a general stop of nuclear energy production in Switzerland.

The *emphasis* is placed on the economic-real activity (to the exclusion of financial flows) according to a social-accounting framework encompassing all economic-real transactions.

Finally, *results* show that the above mentioned policy options prove almost neutral in relation to macroeconomic aggregates.

This paper addresses a policy question. However, it is complementary to the next one – although there is no formal linkage between the two. This paper points out the effects of energy policy scenarios in the macro domain while the next one analyzes constraints on emissions with respect to similar policy options.

S. Kypreos, The Combined Energy Demand and Supply Models SMESE and MARKAL.

Motto. Analyzing – by means of joint energy demand and supply models – problems related to the development of energy use in Switzerland under different policy constraints.

Constraints like restrictions on total allowable emissions or technology constraints are imposed in the energy allocation model. In particular, constraints on CO_2 emissions are at issue.

The *emphasis* is placed on the (marginal) cost of policy constraints and on the internal adjustment of fuel prices reflecting these constraints. The analysis leads to the choice of the "best" combination of policy options in the energy system, that is, a combination of the nuclear option and an enhanced use of conservation and renewable energies in the heating market when addressing CO_2 control.

Additional *results* regard the international allocation of greenhouse gas emission reduction and a change in the "quality form" of the constraints – that is, going towards systems constraints from policy constraints.

A. Haurie, J.-P. Vial, R. Loulou, Programmation mathématique et analyse des choix énergétiques et environnementaux.

Motto. Presentation of the mathematical programming paradigm used for the analysis of global energy-environment systems – either in one country or for a set of interconnected regions.

Constraints primarily are resource scarcity, restriction on emissions into the environment, and satisfaction of useful demand.

The *emphasis* is put on the economic interpretation of the solutions attached to the mathematical programming paradigm such as the shadow-prices of environmental constraints. A significant interpretation regards the way to valuate environmental goods.

Results can be viewed in the extension of the paradigm to the coordination and decomposition of large-scale multiregional systems and the computation of equilibria among different subsectors.

The results are "official" results. I'd like to stress that results relative to the valuation of environmental goods go very much to the point. To sum up, the paper is a "procedure" paper with respect to the summary table. However, connections are made - although theoretically - with problems and policy implications.

Conclusions

The sequence of papers goes to valuating environmental goods from pursuing the adequation between supply and demand for the Swiss electricity sector.

Generally, constraints are well designed. However they are changing along the sequence. First they are policy constraints whereas, at the end, they become more or less environmentally-oriented capacity constraints.

Yet the models used suffer form substantial limitations. Some are, in principle, negligible like the assumption that the energy market works well or that there is perfect competition; that is to say, the market drives efficiency up, and prices down. What is more an important reservation is #1 the tendency of current models to estimate the costs without any meaningful presentation of the benefits, and #2 the tendency to allocate costs, resources, and technologies without any presentation or computation aimed at

seizing economic activity relative to global environmental constraints – e.g. global warming potential or the assimilative capacity of the environment. Moreover, risk, uncertainty, irreversibility as well as dynamic considerations cannot be easily disconnected from environmental–economic analyses.

As a way out or just to follow up, a rather fundamental new question we have to deal with from now on is how big is the economy relative to the environment. The models we are used to run are allocation models, that is, in one way or another, microeconomic procedures. Yet, optimal scale of the whole economy relative to the ecosystem is an entirely different problem – it is a macro problem.

With respect to decision–makings, there are at least two distinct values in conflict (among others): #1 is the search for efficient allocation – what we're used to do – and #2 is the search for the optimal scale of aggregate resource use relative to the ecosystem or the environment generally. The #2 value is – in my opinion – an emerging value with growing interest in the field of environmental and energy economics. What is at stake in these conflicting values is that *scale* is acting as an overall constraints upon allocation whereas microeconomic tools cannot be expected to answer a macroeconomic question.

What the summary table shows is that we are in need of a new generation of energy models which are more environment–economic joint models, some being oriented towards the scale of the economy relative to the ecosystem, other still running as allocation models.

SUMMARY TABLE

ITEMS	FEATURES	QUESTION ADDRESSED	PAPER 1	2	3	4	5	6	7
			GOING TO THE POINT						
1. PROBLEMS	e.g. CAPACITY CONSTRAINTS	Overall goals ? Scale ? Environmental constraints ?		↑	Bi	↓	?	↑	↕
2. POLICY CONSTRAINTS	TRANSLATION OF PROBLEMS OR POLICY QUESTIONS ADDRESSED AS A GOAL IN ITSELF	Policy intention ? Allocation as the purpose toward which the effort is directed ? Forecasting, predicting, sketching out ?	A	F/Z		Bt	A/ C/M	K	
3. PROCEDURE	MODEL USED, ALGORITHM	Computational procedure, Methodological problems?			|				H/ V/L
4. RESULTS	KIND ; e.g. DUAL VARIABLES	The model says ...	A	F/Z	|				⋮
5. POLICY IMPLICATIONS	THE COURSE OF ACTION REQUIRED	Relationship between policy intentions and policy options	?	↓		?			↓
6. LIMITATIONS	ASSUMPTIONS	What's in, What's out Range: The area in which actions take place, Focus: What's in - what's left out, Watchfulness: In delivering policy actions.							
7. FOLLOW-UP		The means used or needed to reinforce the effectiveness of previous runs							H/ V/L

INTERVENTIONS DES CONTRIBUTEURS[1]

E. Amthauer

"Je remercie Monsieur Pillet pour son introduction de mon modèle – Vielleicht direkt zu meinem Modell, das ist jetzt seit mittlerweile zehn Jahren erprobt und ich glaube, ich brauche dem nicht viel hinzuzufügen. Es ist bekannt und in verschiedenen Publikationen ausführlicher als in meiner "communication écrite" für dieses Meeting beschrieben. Eine generelle Bemerkung zu der Frage, in wie weit jetzt diese von Herrn Pillet aufgezeigten Defizite der einzelnen Modelle oder auch die Vorteile dieser Modelle sich in einen Gesamtzusammenhang integrieren. Mir scheint es sehr wichtig, dass nicht ein Modell alle Probleme lösen kann, sondern dass wir durchaus mit verschiedenen Modellen leben können, die ihre Defizite haben, die nicht alles lösen können, die aber die Idee geben, wie wir an die Energiepolitik des Zukunft herangehen müssen. Ich glaube, wir können mit gewissen Defiziten der Modelle durchaus leben, wenn es nicht unbedingt unmittelbar zum Übergang von dem Ergebnis des Modells in eine Politik kommt. Dazwischen kommt eine Phase des Nachdenkens über die Ergebnisse des Modells und eben auch über das Funktionieren des Modells. Ich glaube, es ist ganz wichtig, dass auch derjenige, der die Entscheidungen nachher trifft, verstanden hat, welche Funktionen die Modelle hatten. Ohne dieses Verständnis wird man nicht weiterkommen."

M. Ferrari

"Une version précédente (en allemand) de notre contribution a déjà été publiée (Revue Suisse d'Economie politique, Janvier 1989, p. 1–17). Dans cette première version on traitait aussi les aspects spécifiques de la situation suisse en matière d'approvisionnement énergétique. La version présentée ici a été dépourvue presque de toute référence spécifique au cas suisse.

[1]Transcriptions vérifiées par les contributeurs

Le point de départ de notre analyse a été le constat que dans la politique d'approvisionnement en agents énergétiques, et surtout en ce qui concerne la production indigène d'électricité, on partait toujours du critère que l'autarcie était le seul but à atteindre: l'autarcie à tout prix.

Notre modélisation des choix à faire dans ces domaines a été un petit peu plus générale. On a souligné que les règles appliquées jusqu'à maintenant – par exemple la règle de l'Agence Internationale de l'Energie pour le pétrole ou la règle de la Société Suisse des Producteurs d'Electricité – ont été de nature unidimensionelle, c'est à dire qu'elles s'occupaient toujours d'un agent énergétique à la fois. Il y a là le danger d'une action erronnée ou pour le moins suboptimale si on cherche à réagir avec un instrument seulement lorsqu'on dispose de plusieurs instruments similaires ayant des interactions les uns avec les autres.

La méthode proposée n'est pas appliquable uniquement au domaine de la politique énergétique, elle est toujours à conseiller lorsque le décideur doit faire face à un changement des conditions extérieures en disposant de plusieurs instruments. Il s'agit ici seulement d'une application exemplaire dans le cas de la politique d'approvisionnement énergétique.

Dans notre analyse nous avons dû constater qu'un usage économiquement efficient des différents instruments (dans notre cas les réserves en pétrole et la capacité indigène de production d'électricité) doit tenir compte, sans doute, de facteurs qui jusqu'à maintenant ont été parfois oubliés ou pas assez pris en considération.

En ce qui concerne directement l'étranger, on doit en outre faire deux constatations importantes. En première ligne il y a le processus d'intégration européenne qui tôt ou tard va sans doute englober la Suisse également: on se demande si cela a un sens de poursuivre cette "autarcie à tout prix" dans le domaine énergétique lorsqu'on sait déjà très bien que dans d'autres domaines (par exemple l'agriculture) on ne pourra pas, pour des raisons politiques, atteindre un degré d'autarcie comparable. Le deuxième constat, est qu'on oublie trop facilement celle qu'on appelle "énergie grise", c'est-à-dire l'énergie qui est déjà contenue dans les produits semi-élavorés importés en Suisse et qui représente aussi une forte dépendance implicite de l'étranger en matière énergétique.

Notre contribution comporte principalement deux limites. La première c'est d'avoir tenu compte de deux instruments seulement: les stockages de pétrole et la production indigène d'électricité. Il y a naturellement d'autres instruments qui sont à disposition du décideur, qui a la possibilité d'influencer la demande et l'offre d'énergie par des lois cadres ou des lois spécifiques (l'article sur l'énergie) en agissant surtout sur la formation des prix des agents énergétiques. On pourrait citer ici le cas de la hausse des prix du pétrole, qui a conduit dans les années septante à revoir de manière conséquente les prévisions de la consommation globale d'énergie vers le bas. Dans la situation actuelle ce serait surtout la tarification de la consommation d'électricité aux coûts marginaux de production qui pourrait aider à contenir l'augmentation de cette consommation. La deuxième grande limite de notre modèle réside dans le fait qu'il ne considère que partiellement les contraintes environnementales: elles sont contenues dans les coûts marginaux de l'augmentation de stockage du pétrole et dans les coûts marginaux de l'augmentation de la production indigène d'électricité mais on les a maintenu constants pendant toute l'analyse. Il serait sans doute possible de les faire varier et, en ayant recours à la même technique avec laquelle notre contribution analyse plusieurs situations, de voir quels effets aurait un changement de ces contraintes sur l'action optimale du décideur. Je pense qu'en Suisse surtout les coûts marginaux socio-politiques de la production indigène d'électricité sont en train d'augmenter, c'est-à-dire que la proposition d'accroître cette production engendre toujours plus de résistance et le décideur ne peut plus ne pas en tenir compte".

G. Pillet

"Au sujet des coûts marginaux, des shadow prices, il est intéressant de savoir les interpréter en fin de compte, ce que vous faites plus loin, car il s'agit vraiment du résultat du modèle. Ils ne se trouvent en effet pas à l'entrée, mais seulement à la sortie comme variables duales".

T. Bürki

"I would like to take over the proposition of Mr Pillet to speak English. I think what Mr Pillet has pointed out for the beginning of our model is absolutely correct; there were political, energetical and environmental constraints that leaded to this model. But I would like to say that the goal of the model is not only to solve the problems of the eight entreprises who worked at that model, but the idea is to show a way how the political and environmental constraints can be solved in the region of Zürich for all consumers of energy and pollutors of the environment. The result of the idea is, that at the time the action group consits of 14 entreprises and we hope that the number will increase like an avalanche. I think one sign of the model is, that it is not only a mathematical model, it also considers effects which are more qualitative than quantitative sense. That is to say constraints which are expected in future are already anticipated today to prevent more severe constraints in future, i.e. some kind of precaution towards the future. One point that seems very important to me is that one element of the model consists in the cooperation between several entreprises, that is to say we have looked at measurements than can be realised by a certain number of entreprises, measurements whose realization is not possible in an economic way for one single entreprise. Especially entreprises with complementary energy demands can work together to resolve some problems".

G. Pillet

"So you really are dealing with systems constraints".

W. Baumgartner

"Ich möchte zunächst Herrn Pillet für die Präsentation unseres Modells danken".

Mit unserem Modell-Ansatz wollen wir bestehendes Modell-know-how in der Schweiz zusammentragen, um aktuelle Fragen im Zusammenhang mit der Verkehrspolitik auch modellmässig beantworten zu können. Es gibt eine Reihe von Modellen mit ganz unterschiedlichen Ansätzen, wie wir heute schon gehört haben, vom bottom up im einen Extrem bis zur Oekonometrie im anderen. Diese Modelle haben unterschiedliche Amwendungvoraussetzungen; sie sind auch unterschiedlich in ihrer Modellierungsgüte und in ihrer Komplexität. Es schien uns interessant, verschiedene Modelle einander gegenüber zu stellen und so zu zeigen, dass sie zu den selben Fragen durch aus unterschiechliche Antworten liefern können. Es gilt also ein Puzzle, bestehendaus einzelnen aus dem urspuünglichen Modellzusammenhang herausgelösten Modellbausteineen zusammenzusetzen. Das Ganze spielt sich in einem textuellen Zusammenhang ab. Startpunkt ist ein Massnahmenkatalog, in dem recht ausführilch die verschiedensten Massnahmen im Verkehrsbereich dargestellt werden: Was sind die Voraussetzungen, Wirkungen, Implementationshindernisse, Akteptanzhindernisse, etc... ? Als zusätzliche Information sind passende Modellbausteine eingebaut. Ein Ziel ist es, dabei den Anwendern den Respekt vor Modellen zu nehmen. Sie sollten verstehenen können, was die grundsätzlichen Modell-Ansätze sind. Und wenn es nicht möglich ist, diese einem Anwender klarzumachen, könnte man sich mindestens fragen, ob das ein Modell ist, welches für die Politik-Beratung verwendet werden soll. Wir möchten also enreichen, dass Modellanwender in eigener Regie gewisse Rechnungen durchführen und alternative Szenarien bezogen auf irgendwelche Massnahmen sich anschauen können, um so einerseits ein bisschen den Respekt vor den Modellen zu verlieren und andererseits auch ein bisschen besser zu verstehen, wie die Massnahmen wirken".

G. Pillet

"Il y a un grand débat qui pourrait s'ouvrir, parce que d'un côté on a l'éclectisme, c'est-à-dire utiliser tous les modèles disponibles - c'est l'avantage de la journée du CUEPE aussi d'avoir cet overview - mais d'un autre côté la proposition de M. Giovannini d'aller vers un langage commun qui ne devrait pas être un modèle commun j'imagine, mais un passage entre différents modèles. Alors changeons un petit peu d'échelle: entre le modèle Carlevaro et le modèle Kypreos est-ce qu'il aurait un passage ? Est-ce qu'on pourrait envisager ce point là ou est-ce qu'il est trop particulier ?"

F. Carlevaro

"Je voudrais remercier Monsieur Pillet, d'avoir posé une question qui me paraît assez fondamentale: celle de l'orientation dans le cadre des travaux de modélisation, des objectifs qui sont poursuivis. Effectivement la notion de modèle n'est pas la même pour tout le monde. Par exemple, une interprétation que j'ai découvert dans mon expérience d'interdisciplinarité c'est que la notion de modèle des ingénieurs peut être très différente de la notion de modèle des économistes ou des économètres. En effet, pour un ingénieur un modèle est avant tout un outil, un artifice qui permet de simuler une réalité qu'autrement on ne pourrait pas expérimenter.C'est ce que les mathématiciens appellent un isomorphisme. On va remplacer des comportements d'êtres humains par des comportements d'électrons dans un ordinateur en leur imposant des contraintes par des équations. C'est probablement ça l'objectif fondamental que l'ingénieur attribue au modèle. C'est aussi, ce qui me semble expliquer son attrait pour les méthodes bottom up par exemple. Son idéal serait ainsi de pouvoir reconstruire, par le modèle, la réalité telle qu'elle est effectivement. Pour les économistes au contraire, le modèle est avant tout une maquette, quelque chose qui simplifie la réalité. On ne veut inscrire dans le modèle que les dimensions importantes. En ce sens le modèle des économistes est une construction très marquée par le type de politiques que l'on se propose de simuler. Cela dit, il faut quant même nuancer: un modèle n'est pas construit uniquement pour simuler une politique particulière. Par exemple le nôtre a une structure de base qui peut servir à simuler toutes sortes d'autres politiques. Pour simuler de nouvelles politique il y a tout de même un travail d'adaptation à réaliser. Dans la mesure où certaines politiques focalisent certains aspects, il faut développer davantage ces aspects dans le modèle et en contrepartie diminuer l'importance d'autres aspects".

G. Pillet

"La structure est plus large que l'emploi qu'on en fait; c'est là l'intérêt".

F. Carlevaro

"Monsieur Pillet a aussi soulevé la question de la relation qu'il peut exister entre les modèles d'équilibre général et les modèles d'optimisation qui sont présentés par Messieurs Kypreos, Vial, Haurie et Loulou. Il existe clairement une relation, en ce sens que les modèles d'équilibre général constituent en quelque sorte les contraintes des modèles d'optimisation. Les modèles d'optimisation introduisent une fonction objectif dans l'analyse tandis que les modèles d'équilibre général n'introduisent pas de fonction objectif permettant d'apprécier globalement l'effet des politiques simulées. On pourrait très bien faire d'un modèle d'équilibre général un modèle d'optimisation. Il suffirait d'ajouter une fonction objectif".

G. Pillet

"En fait ce n'est pas tellement ça qu'il faudrait faire. Dans le fond, si on Fa le modèle d'équilibre général où l'on a le *scale*, la grandeur, l'échelle d'une activité tandis que le modèle d'optimisation *alloue* à l'intérieur. C'est cette relation là qui pourrait être intéressante soit à l'intérieur d'un même modèle soit entre deux modèles. Est-ce qu'on peut envisager cela?"

F. Carlevaro

"Disons que moi je verrais plutôt le modèle d'équilibre général contribuer aux modèles optimisation les contraintes qu'ils doivent prendre en considération en vue de l'optimisation. Il y a un aspect technique qui différencie les deux approches c'est que les contraintes qui sont introduites dans le modèle d'optimisation sont des contraintes d'inégalité tandis que les contraintes dans le modèle d'équilibre général sont des équations, des égalités. On fait donc l'hypothèse implicite que toutes les contraintes présentes dans un modèle d'équilibre général sont serrées. Au contraire, dans un modèle d'optimisation il pourrait se produire que dans une solution optimale, seulement une partie des contraintes sont serrées.

Un troisième point soulevé par M. Pillet c'est de savoir pourquoi tous ces modèles se préoccupent d'avantage d'évaluer les coûts sans prendre en considération les bénéfices. La réponse est simple: pour les économistes les bénéfices ne sont qu'un coût négatif. Pour savoir si un train de mesures entraîne un coût ou apporte un bénéfice dans un secteur particulier de l'économie ou dans l'ensemble de l'économie il faut faire une comparaison entre un scénario référentiel et un scénario contrafactuel ou alternatif dans lequel on a introduit des politiques. La comparaison consiste tout simplement à évaluer les différences du niveau des variables dans les deux simulations. Si, par exemple, la consommation dans le scénario alternatif a diminué la différence sera négative et donc il s'agira d'un coût, tandis que si elle a augmenté il s'agira d'un bénéfice.
En ce qui concerne les contraintes environnementales, je tiens à souligner que dans notre modèle elles sont inscrites dans les politiques qui sont simulées. Dans la mesure où l'EGES, qui nous a livré ces politiques pour en évaluer les impacts, a intégré des considérations environnementales, il est clair qu'elles se trouvent alors inscrites dans les résultats qui sortent du modèle. Effectivement, certaines contraintes environnementales ont été prises en compte dans ces politiques, en particulier le niveau de pollution."

S. Kypreos

"My personal opinion is that models should be as simple as possible adressing exactly the question that the policymaker is asking the modelers. This has been done in the past. There were some problems in terms of interpreting the scientific value of different approaches and the different results obtained. Policies are always a very difficult business, and thus the modeling work to assess policy options, also. You know the situation in Switzerland. In principle everything is polarized concerning nuclear energy and if you have some people getting results, they get either pronuclear results or antinuclear results while not all the work done is unblased. Now, what I want to say is that first the model should be simple adressing the policy question. But, if the policy question is related to some complex

problems like, for example the CO2 problem, then it is important to go and adress not only the problem of energy supply or of energy demand but you should go and adress the whole economy and see the implications of such as constraints in terms of the overall economic evolution. You can not analyse the problem of policy related to CO2 it's a very severe constraint for Swizerland, without having a marriage between complex models. And this could be general equilibrium models or input-output models combined with macroeconomic models but having also in the side a model which is adressing the energy supply system and the energy demand system and try to get the equilibrium between of all these submodels. I believe it is important of being able to adress such policy questions like: which are the implications of the Toronto recommendation or Montreal recommendation or what comes afterwards, how the CO2-tax revenue is going to be used? The possibility to adress such a question needs the merits of complex models and the cooperation between the different researchers involved in that business. That was my conclusion".

A. Haurie

"Ce que nous avons voulu faire ressortir, Jean-Philippe, Richard Loulou et moi-même, c'était la grande versatilité des modèles de programmation mathématique et la possibilité qu'il y a d'en tirer des indications (ce qu'on appelle en anglais des "insights") concernant des politiques énergétiques et environnementales à long terme pour une région ou plusieurs régions, en prenant des sous-systèmes isolés ou en essayant éventuellement d'établir des équilibres économiques. On a traité, dans le papier, rapidement de la recherche d'équilibres offre-demande dans le contexte d'équilibres partiels. Comme l'a bien fait ressortir M. Carlevaro, on peut aussi étendre le concept à la recherche d'équilibres plus généraux. On sait cependant que le secteur énergétique est relativement petit dans l'ensemble de l'économie et qu'éventuellement il y a là un effort colossal de modélisation pour finalement des résultats relativement modestes.

Ce qui est particulièrement intéressant et ce qui a été mis en évidence par M. Kypreos dans son papier, c'est le fait que pour beaucoup de problèmes liés aux politiques environnementales à long terme la solution ne se trouve pas uniquement au niveau de régions isolées. Il y a la possibilité d'imaginer donc ainsi des coopérations internationales, je dirai même la nécessité de considérer de telles coopérations. Des modèles qui permettent de faire des analyse technico-économiques impliquant plusieurs nations à la fois sont absolument nécessaires. Ceci redonne un élan tout à fait nouveau et considérable à toute l'analyse de l'optimisation de grands systèmes présentant une interconnexion relativement faible. Dans notre contexte l'interconnexion provient évidemment des échanges d'énergie et des transferts de pollution. C'est dans cette optique là que les travaux que nous menons ici à Genève en collaboration avec des groupes en Belgique et au Canada sur les techniques de décomposition basées sur des méthodes avancées de programmation linéaire, en particulier des méthodes qu'on appelle de point intérieur sont prometteuses pour la considération de tels gros modèles. On travaille avec des grands modèles qui mettent en interconnexion, par exemple, 5 ou 6 modèles, chacun étant de 10'000 équations. Et nous disposons d'une technologie, à l'heure actuelle, pour optimiser de réels systèmes. Une limitation évidente provient des bases de données. Ces gros modèles calculent des optima et on en tire des conséquences et des interprétations économiques mais il faut les nourrir de données. D'où l'importance d'avoir une approche absolument structurée et rationnelle pour accumuler des données qui soient compatibles, cohérentes et dont on puisse faire la maintenance au cours des années qui passent".

G. Pillet

"Ce qui était important à voir là c'est que si on a un problème de coopération entre région ou entre nations au sujet de l'environnement et de l'énergie, c'est que les modèles se développent en même temps que le problème se pose plus fortement. C'est ça l'intérêt. Bien sûr le problème des données est entier, parce que ça démarre. Mais l'intérêt en somme comme disait S. Kypreos de passer de la question politique que l'on essaye de

résoudre aux contraintes environnementales plus larges, quitte à utiliser des modèles plus complexes, si l'on veut, mais qui sont toujours des modèles d'optimisation et qui sont simples en ce sens là, permet de donner une réponse ou de fournir des résultats ou des interprétations à des questions qui se posent par ailleurs sur le plan politique. Quel genre d'agreement est-ce qu'on va faire entre les pays européens si on n'a pas quelque chose à apporter avec soi comme résultats de modèles sur une table où comme interprétation. Ça c'est l'élan que tu viens d'évoquer au moins pour ma part, celui que je vois".

SESSION III

BESOINS ET PROBLEMES EN MATIERE D'OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR LA POLITIQUE ENERGETIQUE SUISSE

WÜNSCHE UND VORSTELLUNGEN VON MODELLBAUERN UND MODELLBENUTZERN

Daniel Spreng

Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH – Zentrum, Zürich

Modellbauer und Modellbenuzter können in ihrer Arbeit durch verschiedene Wünsche und Vorstellungen motiviert sein. Bei Modellbauern steht sehr oft der Wunsch im Vordergrund, die Welt besser verstehen zu lernen. Sie möchten, dass ihr Modell ein nützliches Abbild der realen Welt darstellt, oder mindestens ein getreues Abbild eines bestimmten Aspektes. Um ihr Modell zu bauen brauchen sie möglichst viele Daten, sie brauchen aber auch gute theoretische Ansätze. Ein Modell ist meist nur in der Lage eine ganz bestimmte Frage zu beantworten und die Antwort gilt nur unter ganz besonderen Voraussetzungen.

Modellbenutzer sind in unserem Fall politische Instanzen. Sie stehen an einem bestimmten Punkt eines politischen Prozesses. Sie erwarten Klärung oder Unterstützung für den nächsten Schritt in diesem Prozess. Alle Randbedingungen sind durch die momentane Situation gegeben. Die Fragen, die an einen Modellbauer gestellt werden sind nicht steril, auch wenn sie einfach formuliert sind. Es sind Fragen, die aus der aktuellen Situation heraus kommen, Gesicht und Charakter haben und nie genau zu einem theoretischen Modell passen.

Ein Modell stellt immer eine Reduktion der Komplexität der Wirklichkeit dar. Die Komplexitätsreduktion muss nicht nur der Fragestellung angepasst sein, sondern auch der Umgebung, in der die Fragestellung eingebettet ist. Dies ist äusserts schwierig: Die Abstimmung zwischen Modell und Realität ist das zentrale Problem sowohl für den Modellbauer als auch für den Modellbenutzer.

Dieses Problem kann aufgrund von zwei Grundhaltungen angegangen werden: Aufgrund des humanistischen Ideals des ganzheitlichen Denkens von Modellbauern und -benutzern, oder aufgrund des technokratischen Ideals der optimalen Aufteilung der Arbeit auf verschiedene Experten, inklusive eine Reihe von Experten, die weder Modellbauer noch Modellbenutzer sind, die sich aber dem Raum zwischen Realität und Modell widmen.

Gemäss dem humanistischen Ideal sind alle an Problemstellung und -lösung Beteiligten Generalisten. Sie verstehen sowohl die Probleme, die zu lösen sind, als auch die Probleme, die sich durch diese oder jene Wahl von Vereinfachungen ergeben. D.h. der Modellbauer ist nicht nur Wissenschafter, sondern auch in der Politik und Verwaltung zuhause und der Modellbenutzer ist nicht nur Politiker oder Mitarbeiter einer Behörde, sondern auch Wissenschafter und an Funktionsweise und Aussagekraft der Modelle brennend interessiert.

Die technokratische Idealvorstellung sieht für die Lösung des Problems eine Methode und Organisation vor: Die Übersetzung von politischen Fragestellungen in wissenschaftliche Fragestellungen und die Rückübersetzung der Antworten wird von spezialisierten Personen und Organisationen gemäss eigens entwickelter Methoden vorgenommen.

In den USA gibt es viele "think-tanks", die im Bereich zwischen Politik und Wissenschaft tätig sind. Resources for the Future, ist beispielsweise eine Organisation, die ausgezeichnete Arbeit in der Rückübersetzung von sozio-ökonomischen Forschungsergebnissen in den Bereichen Energie, Ressourcen und Umwelt leistet. Auf populärerem Niveau arbeitet das Worldwatch Institut, dessen Publikationen in riesigen Auflagen und vielen Sprachen Absatz finden.

Eine Organisation, die dafür geschaffen wurde, aus politischen Fragestellungen wissenschaftliche Fragen herauszuschälen, beantworten zu lassen — oft durch die Einberufung einer wissenschaftlichen Kommission — und dann wieder in die politische Sprache zu übersetzen, ist das OTA (Office for Technology Assessment des Kongresses). Der Leiter des OTA fröhnt aber keineswegs dem technokratischen Modell. Er weiss, dass eine gute Organisation mit genügend Spezialisten für die Aufgabe des OTA nicht genügt. Er ist sich des Umstandes bewusst, dass sowohl in der Politik als auch in der Wissenschaft Menschen stehen, mit ihrer eigenen Geschichte, ihren Empfindlichkeiten und ihren Machtansprüchen.

Spezielle Methoden zur Erleichterung der Übersetzung von Problemstellungen aus der Politik in die Wissenschaft und der und Rückübersetzung von Antworten sind nur sehr bedingt nützlich, obwohl beispielsweise die Meta-Analysis [1] ein interessanter Ansatz darstellt. Wichtig ist, dass auch bei organisierten Bemühungen, den Graben zwischen Politik und Wissenschaft zu überbrücken, das ganzheitliche Denken — mit linker und rechter Gehirnhälfte — angewandt wird.

Ein Wunsch jeden Modellbauers ist selbst verständlich, dass die Resultate seiner Arbeiten Beachtung finden. Hiezu ist vielleicht folgende Beobachtung von Interesse: Fazettenreiche Forschungsergebnisse des Autors zum Thema Energiebedarf der Informationsgesellschaft[2] fanden kaum Beachtung. Auch eine eigens vorgenommene "Übersetzung" der Ergebnisse in den politischen Kontext[3] zeitigte nur bescheidene Wirkung. Andererseits wurde die ausführliche Darstellung eines einzigen, leicht verständlichen Aspektes der Arbeit[4], in allen Medien rapportiert. Diese Beobachtung zeigt sowohl wie weit mit der Umsetzung gegangen werden muss und auch wie

gross der Bedarf an umgesetzten Resultaten ist.

In der Schweiz wurde bis anhin implizit dem humanistischen Ideal nachgelebt, man ging davon aus, dass Modellbauer und -benutzer einander gut genug verstehen. Die "Übersetzung" oder Umsetzung vom politischen Bereich in den wissenschaftlichen Bereich und zurück erfolgte mit bescheidenem Aufwand. Es wäre zu prüfen, inwiefern vermehrte professionelle, strukturierte Umsetzungen nützlich und effektiv wären, um die unterschiedlichen Vorstellungen und Wünsche von Modellbauern und Modellbenutzern besser aufeinander abzustimmen.

Referenzen

[1] *Mann Charles*, "Meta-Analysis in the Breech", Science, vol. 249, p. 476, 3. August 1990

[2] *Spreng D./W. Hediger*, "Energiebedarf der Informationsgesellschaft", Verlag der Fachvereine Zürich, 1987

[3] *Lutz Chr., D. Spreng et al.*, Szenario Kommunikationsgesellschaft in "Neue gesellschaftliche Prioritäten und Energiepolitik", Expertengruppe Energieszenarien, Schriftenreihe Nr. 15, EDMZ Bern, 1988

[4] *Spreng D.*, "Personal Computer und ihr Stromverbrauch", Forschungsbericht Nr. 1/1989, Auftrag der Kommission für Rationelle Elektrizitätsanwendung, INFEL, Postfach, 8023 Zürich

METHODISCHE PROBLEME/ANSÄTZE BEI ENERGIEPROGNOSEN

Beat Schmid

Hochschule St. Gallen

Le résumé qui suit a été réalisé à partir de l'enregistrement de l'intervention orale du conférencier. L'auteur n'a pas jugé opportun de soumettre un texte écrit de sa communication ni de corriger la transcription réalisée à partir de l'enregistrement.

Résumé

Dans son exposé sur les problèmes méthodologiques liés à la modélisation Beat Schmid s'est référé à la représentation schématique suivante:

realité -> modèles -> prévisions -> système politique -> décisions

où le processus de modélisation proprement dit est constitué par la description de la réalité par des modèles qui permettent d'établir des prévisions.

Pour mieux faire ressentir la nécessité d'une méthodologie adéquate, l'orateur a cité deux exemples, l'un lié au problème de la mort des forêts, l'autre aux problèmes climatiques dus à l'effet de serre. Dans le premier cas les ingénieurs forestiers ont – sans disposer de données suffisantes et en l'absence d'une méthodologie appropriée – fait des prévisions qui se sont révélées exagérément alarmistes. Dans le deuxième cas, les chercheurs – météorologues et climatalogues – se sont montrés beaucoup plus prudent en reconnaissant de ne pas encore être en mesure de fournir la preuve d'une relation de cause à effet entre le CO_2 et le réchauffement de la température. Beat Schmid attribue cette prudence à une meilleure prise de conscience des problèmes méthodologiques par les chercheurs impliqués.

Finalement, les débats sur la politique énergétique suisse, de par la multitude des prévisions discordantes dont ils font état, se situent nettement dans le voisinage du premier exemple. L'orateur en conclut à la nécessité d'une clarification sur le fondement des modèles et des prévisions qu'ils permettent d'établir.

Fondamentalement un modèle est une théorie. Il est constitué d'un ensemble d'énoncés qui peuvent être soit de caractère singulier et donc vérifiables, soit de caractère général, comme par exemple une fonction de

demande, et donc non vérifiables. Les prévisions sont – ou devraient être – des conclusions logiques de l'ensemble des énoncés théoriques qui constituent les modèles. Des modèles différents impliquent donc des prévisions différentes.

Sachant que les prévisions seront erronées si l'un des énoncés du modèle est faux, il est nécessaire d'introduire le concept de conclusion probabiliste. La probabilité d'une prévision est égale au produit des probabilités des énoncés théoriques de base du modèle, pour autant que ces derniers soient indépendants entre eux. Etant donné qu'on ne saurait attribuer une probabilité de un à la majorité des énoncés d'un modèle, les prévisions obtenues auront donc une probabilité proche de zéro; d'où la nécessité de s'interroger de manière très critique sur les énoncés d'un modèle. Afin d'assurer une meilleure transmission des prévisions issues des modèles au système politique, il faut à la fois améliorer la communication et clarifier le caractère probabiliste des prévisions.

Pour procéder de manière constructive, il faut prendre en compte l'hétérogénéité et l'ampleur de la réalité à laquelle se réfèrent les modèles énergétiques. Ce sont des parties de ce système énergétique complexe, qui inclut notamment le système physique et le système économique, qui sont modélisées. Dans cette modélisation on utilise de nombreux concepts, tels que par exemple la production d'énergie, l'utilisation finale ou intermédiaire d'énergie, les énergies renouvelables, etc. – concepts pour lesquels une clarification s'impose. A la fois dans le cadre de recherches scientifiques et de leur traduction pour le système politique, il est primordial d'adopter un langage commun. Une première étape consisterait en une clarification et une unification de la terminologie utilisée. La deuxième étape, la plus importante, concerne les énoncés qui constituent les modèles. Dans un premier temps, il s'agirait de répertorier et de définir l'ensemble des énoncés communs retenus par tous les modélisateurs, notamment dans les modèles physiques. Pour les modèles économiques, où différents énoncés sont envisageables, il est indispensable de préciser les hypothèses sur lesquelles se fondent les calculs des modèles: c'est sur ces énoncés théoriques que devrait porter le débat scientifique.

Beat Schmid a conclu son exposé en souhaitant l'élaboration d'un programme ayant pour objet d'ordonner et de structurer les énoncés théoriques des modèles et de clarifier le "degré de confiance" qu'on leur attribue.

SESSION IV

ROLE ET PORTEE DES METHODES SCIENTIFIQUES DANS LA PLANIFICATION ENERGETIQUE SUISSE

ENERGIE ELECTRIQUE DANS LE BATIMENT

PROJET SIA 380/4

Charles Weinmann

Miklos Kiss

Communauté d'ingénieurs EEB

Weinmann-Energies et Elektrowatt

Ingenieurunternehmung AG, Echallens

Résumé

Le projet SIA 380/4, "L'énergie électrique dans le bâtiment (EEB)" a pour but de préparer une recommandation concernant l'utilisation de l'énergie électrique dans les bâtiments.

Une analyse de la consommation d'électricité doit tenir compte de la diversité des besoins, des prestations fournies et des catégories d'utilisateurs. Nous présentons la structure des données de consommations proposée par la Commission SIA 380/4 avec quelques exemples du secteur tertiaire.

Nous souhaitons que cette structure permette dorénavant de rassembler des données sur les consommations d'électricité spécifiques aux prestations et d'effectuer des comparaisons de manière unifiée. Elle permet le calcul prévisionnel de la consommation dans un bâtiment et peut également servir de base à l'élaboration d'un modèle de calcul de la consommation sur une plus large échelle.

1. INTRODUCTION

Le but de la recommandation SIA 380/4 est en premier lieu de devenir un outil pour les planificateurs. L'application d'une démarche systématique doit permettre d'éviter les erreurs de planification et faire en sorte que les besoins des utilisateurs puissent être couverts avec une consommation minimale d'énergie.

En deuxième lieu, elle doit être une aide à l'utilisateur lui permettant d'éviter les erreurs d'exploitation grâce à un contrôle continu des consommations.

La recommandation peut également servir de base aux autorités pour l'élaboration de prescriptions bien définies et équitables.

2. PRESTATIONS ET UNITES D'EXPLOITATION

Les prestations fournies par les équipements peuvent être décomposées en deux classes:

- les prestations fournies par les **installations techniques (IT)** du bâtiment

- les prestations fournies par les **équipements de production (EP)** et de service.

Les installations du bâtiment sont planifiées par l'architecte et les ingénieurs spécialisés au cours des phases de conception, planification et réalisation des constructions. Les équipements de production sont directement liés à l'utilisation des bâtiments et aux activités des usagers.

2.1 Prestations des installations techniques du bâtiment

Les prestations des installations se décomposent en 6 catégories:

Le **chauffage (CH)** et
la **préparation d'eau chaude sanitaire (ECS)** concernent la consommation finale d'énergie pour la chaleur et font l'objet de la recommandation SIA 380/1.

Les **diverses techniques (DT)** comprennent les équipements électriques auxiliaires nécessaires pour la production et le transport de la chaleur et de l'eau chaude sanitaire d'une part, les ascenseurs, stores électriques, etc... d'autre part.

Le **renouvellement d'air (RN)** concerne le transport d'air jusqu'au volume nécessaire par personne (50 m3/h/pers. par exemple).

Le **conditionnement (CO)** comprend le transport d'air pour le renouvellement et pour le recyclage, ainsi que le froid, l'humidification et la déshumidification (FH).

Nous distinguons le renouvellement d'air du conditionnement des locaux parce que ce sont deux prestations très différentes, bien qu'elles soient souvent délivrées par un seul et même équipement de ventilation.

La **lumière (LU)** concerne l'éclairage intérieur et extérieur, y compris l'éclairage décoratif (dans les commerces et restaurants par exemple).

2.2 Prestations des équipements de production

Les équipements de production sont répartis en deux catégories:

Les **équipements individuels (EI)** sont répartis sur toute la surface des unités d'exploitation et comprennent les machines à écrire, ordinateurs personnels, imprimantes, photocopieurs, télécopieurs, meubles frigorifiques dans les magasins.

Les **services centralisés (SC)** sont les centres de calcul, cuisines, ateliers, d'héliographie, imprimeries, etc...

2.3 Unités d'exploitation

Les prestations sont distribuées dans des locaux ou unités d'exploitation selon le tableau 1. Il s'agit d'une matrice qui a pour colonne les différentes prestations et pour ligne les différentes unités d'exploitation.

Les unités d'exploitation peuvent être regroupées en trois classes d'utilisation:

Les **surfaces principales (SP)** (c'est-à-dire les bureaux dans un immeuble administratif, les salles de classe dans une école)

Les **surfaces spéciales (SS)** (restaurant, cafétéria, centre de calcul)

Les **surfaces annexes (SA)** (couloirs, escaliers, dépôts, archives)

Ces surfaces sont brutes. Leur somme correspond à la surface de référence (SRE) selon SIA 180/4.

Il s'y ajoute encore des surfaces non chauffées: locaux techniques, parking et garages.

L'ensemble constitue finalement la surface totale brute de plancher du bâtiment (SBP).

PUISSANCES MOYENNES P_m [W/m²]

Communauté d'Ing. EEB
WEINMANN-ENERGIES &
Elektrowatt Ing. Untern. AG

Objet :
Lieu :
Date :

SIA 380/4

PRESTATION / UNITE D'EXPLOITATION	A [m²]	h_a [h/a]	Installations techniques DT VP MV VL	RN Cl. VP MV VL	CO Cl. VP MV VL	LU Cl. VP MV VL	Equipements de production EI VP	SC VP
Surfaces principales: BUREAUX				1 2 3 S	1 2 3 S	1 2 3 S		
SURFACE DE VENTE				1 2 3 S	1 2 3 S	1 2 3 S		
SALLE DE COURS								
CHAMBRES (Hôtels, home...)								
SURFACES SPECIALES: SALLE DE CONFERENCE								
AULA								
RESTAURANT								
Surfaces annexes: CIRCULATION								
DEPOTS, ARCHIVES								
TOTAL POUR SRE								
PARKING								
TOTAL POUR SBP								

Tableau 1: Puissances moyennes pour les différentes prestations et unités d'exploitation.

3. ANALYSE DE LA CONSOMMATION

La consommation pour une prestation j peut s'illustrer par le profil de puissance appelée représenté pour un jour ouvrable à la figure 2.

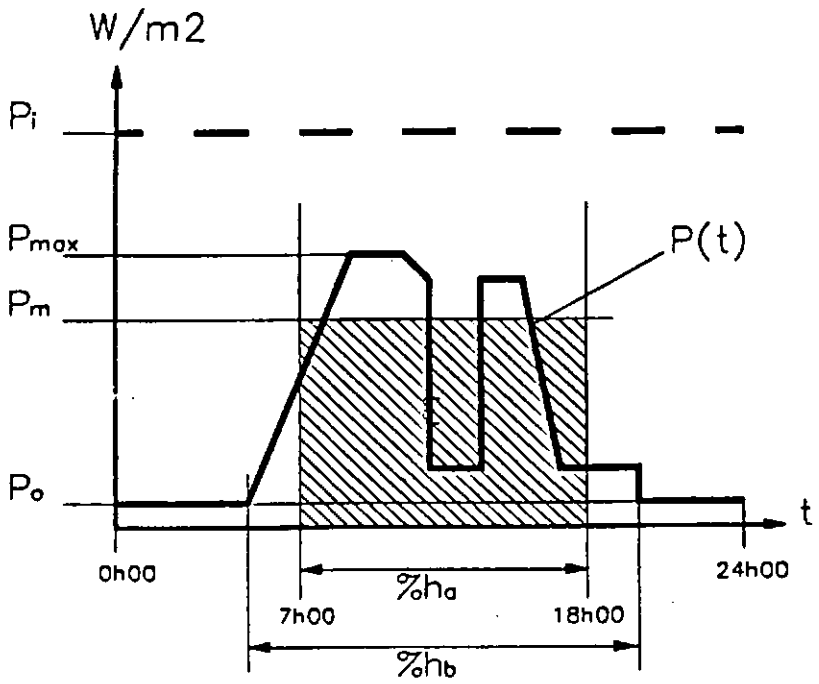


Figure 2: profil de la puissance appelée pour une prestation

La consommation annuelle est $Q_j = A \int_0^{an} P(t)\,dt$ ou $E_j = \int_0^{an} P(t)\,dt$

A est ici la surface des unités d'exploitation concernées par la prestation, exprimée en m^2.

Les consommations par prestation sont rapportées aux espaces bénéficiant de la prestation, par exemple la consommation d'un équipement de ventilation se rapportera à la surface ventilée ou au nombre de postes de travail ventilés par l'installation considérée. Seules ces consommations par prestation peuvent faire l'objet de comparaisons valables pour juger de la qualité des systèmes.

Pour permettre ces comparaisons, nous définissons les grandeurs suivantes:

P_i = puissance installée exprimée en W/m^2

P_{max} = puissance maximale mesurée lorsque l'installation fonctionne à plein régime

P_m = puissance moyenne, quotient de l'énergie consommée E_j par la durée d'utilisation des locaux h_a

h_a = durée d'utilisation standard des locaux. Pour des bureaux par exemple, on admet une durée d'utilisation de 250 jours à 11 h/jour, donc 2'750 heures

f_b = facteur d'exploitation, c'est le rapport entre la puissance moyenne et la puissance maximale. Ce facteur f_b traduit l'effet des commandes et régulations permettant d'adapter la puissance aux besoins réels durant la période d'utilisation. Il est sans dimension. Il contient aussi les besoins pour le maintien de la disponibilité de la prestation.

Les **valeurs de planification (VP)** exprimées en **puissances moyennes** pourront alors être comparées avec des valeurs de références définies par la recommandation SIA.

Nous distinguons les **valeurs limites (VL)** qui représentent les exigences pour un bon bâtiment du point de vue énergétique, exigences pouvant être atteintes par des investissements justifiés et une exploitation correcte des installations.

Les **meilleures valeurs (MV)** représentent les objectifs atteignables aujourd'hui avec les combinaisons les plus judicieuses des meilleurs produits ou systèmes existants sur le marché, sans considération de rentabilité.

La consommation pour une prestation j peut donc en général s'exprimer par le produit de la surface A par une durée d'utilisation h_a et une puissance moyenne P_m:

$$Q_j = A\ h_a\ P_m\ /\ 1000 \qquad [kWh] \qquad (1)$$

La consommation totale Q_e d'un bâtiment résulte de la somme des consommations partielles Q_j pour chaque prestation et unités d'exploitation.

$$Q_e = \sum_j Q_j$$

On obtient ainsi le **budget énergétique** pour le bâtiment entier.

4. EXEMPLES

4.1 Bâtiment administratif

Nous illustrons les résultats obtenus par l'exemple d'un grand bâtiment d'une société d'assurances [1].

Dans le tableau 3, construit de manière similaire au tableau 1, nous avons représenté les résultats des mesures, décomposés en puissance maximale P_{max} et facteur d'exploitation f_b.

PUISSANCES ET FACTEURS D'EXPLOITATION											Communauté d'Ing. EEB WEINMANN-ENERGIES & Elektrowatt Ing. Untern. AG
OBJET : SCHWEIZERISCHE MOBILIAR DATE : 02.06.90 LIEU : BERN											SIA 380/4
PRESTATION / UNITE D'EXPLOITATION	A	h_a	CO RN		CO FH		EC		EI		
			P_{max}	f_b	P_{max}	f_b	P_{max}	f_b	P_{max}	f_b	
	m2	h/a	W/m2	-	W/m2	-	W/m2	-	W/m2	-	
BUREAUX	13662	2750	5.0	0.38	-	-	13	0.7	20	0.47	
SURFACES DE VENTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SALLES DE COURS	1400	2750	10.3	1.14	15.7	0.26*	15	0.8	20	0.47	
CHAMBRES (hôtel, home...)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SALLES DE CONFERENCE	250	1900	11.3	1.13	15.7	0.26*	13	1	-	-	
AULAS	260	100	19.4	11.2	47.2	0.26*	40	1	-	-	
ENTREES, GUICHETS	500	2750	10.3	1.14	5.2	0.26*	33	1	-	-	
RESTAURANTS	760	730	14.2	3.21	62.9	0.26*	6	1	-	-	
CIRCULATION	10000	2750	-	-	-	-	5	1	-	-	
DEPOTS, ARCHIVES	1730	200	4.7	17.9	-	-	1.7	1	-	-	
PARKINGS	16500	7300	2.1	0.15	-	-	1.6	1	-	-	

Tableau 3: Puissances moyennes d'exploitation pour les différentes prestations et unités d'exploitation. Les taux de renouvellement d'air sont de n = 1,4 pour les bureaux, n = 4,8 pour les salles de cours et le hall d'entrée, n = 5,3 pour le restaurant, pas mesurés dans les autres cas.
* Valeur moyenne calculée pour les machines de froid.

Pour obtenir la consommation totale du bâtiment, il s'agira de déterminer les consommations par prestation et unité d'exploitation et diverses consommations, en particulier celles des diverses techniques et ceslles des services centralisés.

On obtient ainsi le tableau 3 qui correspond au budget énergétique du bâtiment planifié. Dans le cas d'un bâtiment mesuré, il ne s'agit plus d'un budget mais d'un bilan de la consommation d'électricité.

Le bilan total peut aussi être représenté graphiquement. La figure 4 comprend 3 parties:

- La partie du haut représente la consommation totale d'électricité subdivisée par prestations, elles-mêmes décomposées en besoins pour les surfaces principales, spéciales et annexes. Les valeurs sont des valeurs absolues exprimées en kWh par année.

- La partie médiane indique les surfaces qui constituent ce bâtiment et illustre leurs proportions.

- La partie inférieure comprend un certain nombre de données supplémentaires concernant les équipements et l'exploitation. Elle est complétée par l'indication de la consommation totale et de l'indice de dépense d'énergie calculé selon les recommandations SIA 180/4 et 380/1.

L'acquisition des données dans les bâtiments a montré qu'il n'est souvent pas aisé de différencier la consommation pour l'éclairage de celle des équipements individuels, alimentés à partir des mêmes tableaux électriques. Si la somme est bien définie, la répartition entre ces deux prestations est en général entachée d'une incertitude (marquée par ⟨ sur la figure 4).

Il n'est de même pas toujours facile de distinguer le renouvellement d'air du conditionnement. Dans le cas particulier étudié, les taux de renouvellement sont réduits et il n'y a pas de recyclage de l'air. L'entier du transport d'air correspond à la prestation du renouvellement d'air. Pour le conditionnement, une seule installation de froid dessert tous les locaux refroidis. Pour cette raison le facteur d'exploitation est le même pour toutes les unités d'exploitation concernées. La valeur de 0,26 a été calculée à partir de la mesure de la consommation d'énergie et de la puissance installée des équipements concernés et en appliquant la formule (1).

Précisons encore que le bilan a été établi à partir des mesures effectuées au cours de quelques semaines-types. Il n'a pas été nécessaire de poursuivre les mesures durant une année entière [1].

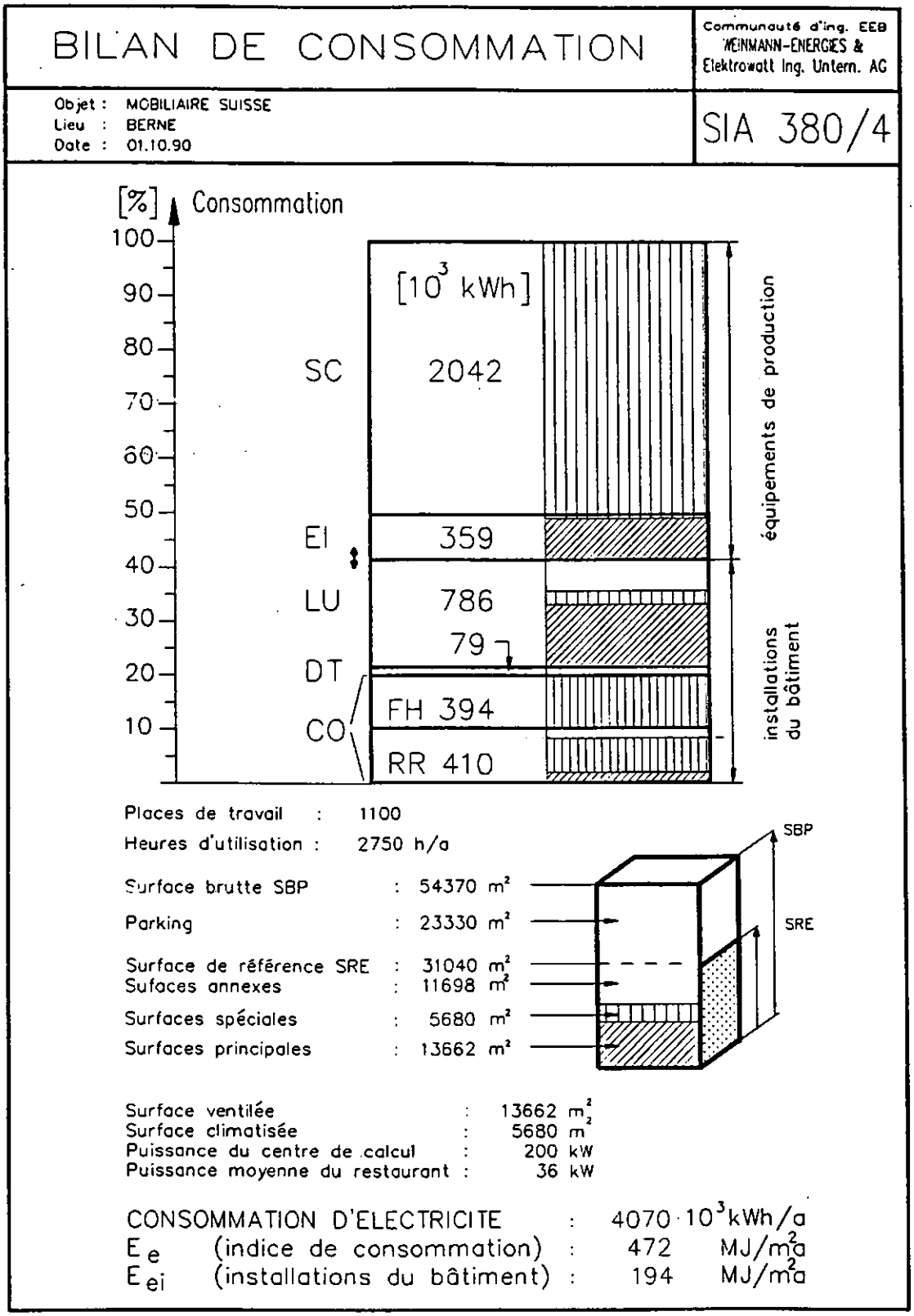


Figure 4: bilan de la consommation d'électricité d'un immeuble administratif.

3.2 Eclairage

Nous étudions ici des consommations spécifiques relatives à l'éclairage de bureaux. Nous avons rassemblé au tableau 4 nos résultats de mesures effectuées dans 3 bâtiments et quelques-uns provenant d'autres sources [2], [3].

Le facteur d'exploitation est de 1 lorsque les lumières restent allumées pendant toute la période d'occupation des locaux, hiver comme été. Il pourrait même être supérieur à 1 lorsque les bureaux restent par exemple encore éclairés pendant des heures de nettoyage en soirée. Ce facteur est inférieur à 1 lorsqu'il existe des systèmes ou des comportements crédibles qui limitent les heures d'enclenchement ou la puissance pendant les heures d'occupation usuelle des locaux. C'est le cas pour les bureaux 3,5,6 et 7. Le bureau 5 se distingue par de fréquentes absences de ses occupants.

Le tableau révèle une grande dispersion pour les puissances installées comme pour les consommations d'électricité, ce qui démontre qu'un grand potentiel d'économie est réalisable dans bien des cas.

ECLAIRAGE DE BUREAUX		lux	Pmax W/m2	fb -	Pmax*fb W/m2
bureau no 1		400	13,60	1,00	13,60
bureau no 2		400	14,20	1,00	14,20
bureau no 3		500	22,00	1,00	22,00
bureau no 4		550	22,30	1,00	22,30
bureau no 5	[2]	400	11,00	0,23	2,53
bureau no 6	[3]	400	23,00	1,00	23,00
bureau no 7	[3]	400	35,00	0,43	15,05
bureau no 8	[3]	400	41,00	0,56	22,96
bureau no 9	[3]	450	19,00	0,36	6,84

Tableau 4: Eclairements, puissance maximale P_{max}, facteur d'exploitation f_b et puissance moyenne $P_m = P_{max} \; f_b$ pour l'éclairage de différents bureaux.

* Les cas No 7 et 8 résultent de luminaires ayant une efficacité misérable.

Ce sont des analyses de ce genre, basées sur des installations modernes et performantes qui, ajoutées à l'examen des besoins réels en éclairage selon les différentes catégories d'utilisation, nous permettront de proposer des valeurs-limites réalistes pour la recommandation SIA [4].

La procédure sera semblable pour les autres prestations des installations électriques du bâtiment.

5. CONCLUSIONS

Nous présentons dans cet exposé une partie des travaux effectués dans le cadre du projet SIA 380/4.

Contrairement à l'énergie nécessaire pour le chauffage et la préparation d'eau chaude qui peut être représentée par un seul indice de dépense d'énergie, l'énergie électrique consommée dans un bâtiment ne peut valablement être représentée que par une matrice de prestations rapportées aux diverses unités d'exploitation qui constituent un bâtiment.

Les exemples illustrent sous quelle forme les valeurs projetées et les résultats d'analyse de consommation d'électricité pourraient être présentés. Nous souhaitons vivement que cette structuration des résultats soit dorénavant adoptée par les planificateurs et par ceux qui effectuent des analyses de l'utilisation de l'électricité dans les bâtiments. Cela facilitera les comparaisons et augmentera la quantité et la qualité des données disponibles à ce jour.

5. REMERCIEMENTS

Les travaux effectués dans le cadre du projet SIA 380/4 sont financés par l'Office fédéral de l'Energie, par le Fonds National de la recherche énergétique NEFF et par la SIA.

Nous tenons également à remercier les membres de la Commission SIA et en particulier son Président R. LANG pour leurs conseils avisés.

Echallens, le 3 octobre 1990, CW/mw.

6. REFERENCES

1. WEINMANN, Ch.; l'énergie électrique dans les bâtiments, Ingénieurs et architectes suisses 5, 67, 1990.

2. BACHOFEN, A., et al.; PRESANZ-Feinanalyse, Hochbauinspektorat der Stadt Zürich, 31.01.1989.

3. GASSER, S., et al.; Elektrizitäts-Feinanalysen, BEW-Projekt, Amstein + Walthert, INTEP, 1990.

4. WEINMANN, Ch. et KISS, M.: Energie électrique dans le bâtiment, rapport intermédiaire SIA 380/4, janvier 1990.

EVALUATION COMPARATIVE DES DIVERS MOYENS DE PRODUCTION DE L'ELECTRICITE: REFLEXION SUR LES POSSIBILITES ET LES LIMITES D'UNE ANALYSE MULTICRITERE

J.-F. Dupont
S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse
Service analyses et prospective

1. Préambule : énergie, quel est le problème ?

Le programme de cette journée CUEPE 1990 met en évidence quelques mots-clés tels que :

- politique énergétique suisse
- aide à la décision
- méthodes scientifiques.

Ces mots-clés sont autant de défis, stimulants d'ailleurs, pour les acteurs de la scène énergétique, que ces acteurs soient technique, économique ou politique. Ils m'inspirent donc quelques réflexions très générales que j'aimerais exposer en préambule. Elles seront obligatoirement très succinctes dans le cadre limité de cet exposé.

D'abord, il me semble percevoir de vrais problèmes et de faux problèmes.

Vrais problèmes

J'aimerais en mentionner deux.

Le premier, je le désignerai par

"résoudre l'équation démographie - niveau de vie - environnement".

Cette équation est, et va rester encore longtemps, difficile à résoudre. Pour en donner une idée, faisons une projection très modeste en terme de croissance. Admettons que dans le cours de la première moitié du siècle prochain :

1°) le monde occidental (pays industrialisés) stabilise sa consommation d'énergie au niveau moyen des Suisses de 1970,

2°) le reste du monde (pays en voie de développement) élève sa consommation jusqu'au niveau des Suisses de 1950,

et compte tenu d'une croissance pratiquement inévitable de la population mondiale de 5 à 8 milliards, on débouche sur un doublement de la consommation globale d'énergie à l'échelle mondiale.

Cette équation sera donc difficile à résoudre parce que le développement des combustibles fossiles va se heurter aux questions de pollution atmosphérique par les gaz de combustion et d'effet de serre par le CO_2. Le développement des énergies renouvelables sera limité, dans ces délais du moins et pour les pays ayant exploité leur potentiel hydraulique, par des questions de coût et d'impact en territoire (surfaces de captage). Les progrès en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie sont lents et, de plus, le niveau de vie ne se laisse pas complètement découpler de la ration énergétique de tout un chacun. Enfin, le nucléaire fait l'objet, à tort ou à raison, d'une crise de confiance qui en limite sévèrement le développement.

La question posée par cette équation "démographie - niveau de vie - environnement" est en somme la suivante : pourra-t-on laisser monter et se stabiliser le niveau de vie au niveau souhaité par chacun selon ses aspirations, ou bien faudra-t-il limiter ce niveau de vie par un rationnement énergétique nécessité par des contraintes écologiques ?

S'il faut limiter finalement le niveau de vie, comment le faire ? Qui distinguera entre le strict nécessaire, le confortable et le superflu ? Qui fera la répartition entre régions et entre catégories sociales ?

Le problème est donc grave.

Le deuxième vrai problème m'apparaît être celui du processus de décision. Plus précisément : comment concilier méthodes scientifiques d'aide à la décision, auxquelles nous sommes certainement tous attachés ici, et votations populaires ? Je pense que c'est tout au moins difficile dans un domaine où le déficit en information de base des citoyens est considérable. L'impact de courants d'opinions pourra dépendre davantage de l'écho médiatique et de son orchestration, que de la réalité des faits et de la rigueur des analyses. Il y a un risque de "procès sommaire".

Faux problèmes

J'en évoquerai deux :

Le premier c'est l'opposition entre "économiser et produire", ou encore entre "économiseurs" et "productivistes" pour prendre une terminologie que j'ai entendue au CUEPE.

Le deuxième faux problème, faux problème jumeau du précédent d'ailleurs, c'est l'opposition entre "énergies renouvelables" et "énergies classiques", particulièrement entre "solaire" et "nucléaire".

Ces faux problèmes conduisent à des luttes stériles et à un gaspillage des ressources tant intellectuelles que physiques.

Ce sont des faux problèmes parce que les solutions de l'équation "démographie - niveau de vie - environnement", ne sont pas si nombreuses que l'on puisse se permettre le luxe d'en écarter l'une ou l'autre a priori ou de les jouer les unes contre les autres. Pour l'avenir prévisible, il y en a en gros quatre qu'il vaut la peine de rappeler :

- les économies (au sens d'utilisation rationnelle de l'énergie)
- le fossile (dépollué)
- le solaire et autres formes d'énergie renouvelable (vents, biomasse, etc.)
- le nucléaire (sous des conditions strictes de sécurité et de gestion des déchets).

Il y a tout intérêt à additionner ces solutions plutôt que les jouer les unes contre les autres.

La situation politique en Suisse au lendemain des votations sur l'énergie, de septembre 1990

L'abandon inconditionnel de l'énergie nucléaire a été repoussé. C'est un vote de bon sens parce qu'il confirme :

1°) qu'il n'est pas judicieux de se priver, a priori, d'une des solutions du problème énergétique

2°) que les questions de sécurité des technologies à risques (dont le nucléaire n'est qu'un cas particulier) ne doivent pas être réglées par des interdictions dans la constitution mais par des normes de sécurité accompagnées de garanties adéquates de leur respect.

Mais le résultat du vote est serré. Le "procès sommaire" évoqué plus haut a failli tourner au "lynchage".

Le moratoire de 10 ans est accepté : il met politiquement le nucléaire en sursis. Il met également en sursis une politique énergétique basée exclusivement sur les économies d'énergie et le développement des énergies renouvelables : les partisans de ce moratoire ont dix ans pour confirmer les espoirs qu'ils ont de pouvoir résoudre l'équation énergétique par ces seuls moyens. Les Suédois ont déjà tenté l'expérience et leurs conclusions doivent nous faire réfléchir.

Ils constatent que vouloir à la fois :

- élever le niveau de vie,
- bloquer l'hydraulique,
- limiter les émissions de CO_2 et
- abandonner le nucléaire

est incompatible; il y a une exigence de trop. Ils ont encore à décider laquelle de ces exigences ils préfèrent écarter.

Le moratoire n'est pas une solution parce qu'il ne permet ni de faire une politique avec nucléaire, ni sans nucléaire. C'est donc l'absence de politique, le blocage prolongé pour dix ans. Mais c'est une période qu'il faut mettre à profit pour préparer les décisions qui permettront d'en sortir.

L'article énergétique a été pratiquement plébiscité. Il a le mérite d'ancrer dans la constitution des objectifs fondamentaux de politique énergétique. Ces objectifs font l'objet d'un large consensus puisqu'ils ont déjà été définis en 1978 par l'ancienne Commission pour une conception globale de l'énergie et qu'ils ont été repris, dans son titre surtout, par l'initiative énergétique de 1984. Ces objectifs sont :

un approvisionnement énergétique

- suffisant
- diversifié
- sûr
- économique et
- compatible avec les exigences de la protection de l'environnement.

Les quatre solutions évoquées précédemment :

- économies
- fossile
- solaire
- nucléaire

sont autant de moyens à mettre en oeuvre pour satisfaire ces objectifs. La vocation première des outils scientifiques d'aide à la décision est donc d'évaluer les contributions possibles et souhaitables de tous ces moyens, ainsi que leur évolution dans le temps.

2. Evaluation comparative des diverses filières de production de l'électricité

Cette évaluation comparative est un moyen d'aborder la question "comment produire mieux, et cas échéant plus.." à laquelle le producteur d'électricité reste confronté.

L'électricité peut être produite pratiquement à partir de toutes les sources d'énergie :

- les énergies fossiles de combustion (pétrole, gaz, charbon)
- l'énergie nucléaire (uranium)
- les énergies renouvelables (hydraulique, vent, solaire photovoltaique, solaire thermique, biomasse, etc..).

Le producteur d'électricité a donc le choix. Il n'est pas inféodé à un agent. Les plaidoyers et les réquisitoires doivent faire place à l'analyse.

Mérites de l'analyse multicritère

C'est une méthode bien connue [1] qui consiste pour l'essentiel à analyser les performances des diverses filières de production de l'électricité par rapport à un ensemble de critères.

Ces critères doivent représenter d'une manière aussi complète que possible les aspirations et valeurs de la société, en l'occurrence les objectifs généraux de politique énergétique.

---

[1] A. Schärlig. Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère.
Ed. Presses polytechniques romandes, Lausanne, 1985

Ces critères sont principalement :

- le coût
- la disponibilité (réserves, potentiel)
- la sécurité
- l'impact sur l'environnement.

Les avantages principaux de l'analyse multicritère sont :

1°) de permettre une comparaison objective et vérifiable des mérites respectifs des différentes filières par rapport à chaque critère.

2°) de mettre les connaissances des experts sous une forme utilisable et compréhensible par des décideurs non spécialisés.

Les associations de consommateurs ont compris depuis longtemps les avantages de l'analyse multicritère en la pratiquant sous forme de tests comparatifs. C'est une des meilleures bases d'information du citoyen-consommateur, qui reste l'ultime décideur dans notre démocratie directe.

Limites et difficultés de l'analyse multicritère

Les critères doivent être acceptés et compris par le non-spécialiste. Ceci est relativement facile au niveau des critères généraux, tels que ceux évoqués précédemment. Mais certains critères ne sont pas directement quantifiables : il faut pour cela leur associer des indicateurs qui eux doivent être quantifiables ou du moins ordonnables.

Par exemple, le critère coût est facilement quantifiable avec le prix du kWh. Mais qu'en est-il du critère "écologie" ou "impact sur l'environnement"? Demandez dans le public à quelqu'un, même bien motivé par l'écologie, de vous proposer un indicateur : il aura souvent de la peine à vous préciser comment mesurer le degré de qualité écologique d'une solution. Un indicateur, utilisé dans l'exemple donné plus loin, est le volume d'air nécessaire pour diluer les émissions associées à la production de un kWh jusqu'à concentration autorisée par les normes de protection sanitaire. L'indicateur doit souvent, par la nature des choses, être proposé par le spécialiste. Mais il doit être accepté par le non-spécialiste. C'est peut-être là que se joue l'essentiel du dialogue entre expert et décideur (non-expert souvent), et donc la crédibilité de l'analyse.

Une autre difficulté est liée à la combinaison des critères. Leur pondération échappe en général à une démarche strictement rationnelle. Une manière de remédier à ces difficultés consiste à ajouter à l'analyse multicritère un processus de négociation multidécideurs [2].

Une autre difficulté est que, en matière d'électricité, il ne s'agit pas de choisir une solution unique, comme par exemple dans le cas du choix du meilleur appareil de photo. Il s'agit de composer un cocktail de moyens de production qui va être influencé par les caractéristiques de la consommation.

C'est ici que l'analyse de la consommation et des besoins rejoint l'analyse des moyens de production.

3. Exemple d'analyse multicritère des moyens de production de l'électricité

Un exemple d'analyse effectué par EOS sur la base d'une compilation de données disponibles dans la littérature scientifique est résumé dans les tableaux 1 et 2 (voir aussi l'annexe distribuée aux participants, non reproduite ici faute de place et qui peut être obtenue auprès de l'auteur).

Je ne présente pas les résultats ici en détail, ayant préféré discuter les motivations, les mérites et les limites d'une telle approche dans le contexte actuel de politique énergétique. Je relèverai cependant un aspect des résultats qui peut surprendre : les avantages les plus marquants de la filière nucléaire apparaissent, au niveau de l'analyse, vis-à-vis des critères auxquels on s'attend probablement le moins, à savoir : la protection de l'environnement et la maîtrise des risques aux générations futures. Ceci s'explique par le fait que si il met en jeu des substances potentiellement dangereuses, le processus de fission a aussi le mérite, d'une part, de nécessiter comparativement très peu de matière par unité d'énergie et, d'autre part, de pouvoir être exploité avec un très faible impact sur la biosphère. Ceci est valable tant au niveau du fonctionnement des installations que de la gestion des déchets, à condition de prendre les précautions nécessaires.

---

[2] Jean Simos
Evaluer l'impact sur l'environnement : une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1990

EOS collabore actuellement avec l'EPFL (Laboratoire des systèmes énergétiques et Institut de Génie de l'environnement) pour approfondir cette analyse et réaliser une première approche de dialogue multi-décideurs associant des experts et des non-experts.

4. Conclusions

Une politique énergétique cohérente doit comporter un volet "économies" et un volet "production". Ces deux volets doivent être additionnés et non pas opposés.

En regard de l'équation "démographie - niveau de vie - environnement", la question :

"Comment fournir une prestation avec le minimum d'énergie ?"

ne doit pas dispenser de la question :

"Comment produire cette énergie avec un minimum de coût tant financier qu'écologique ?"

Les "productivistes" dont je fais partie, reconnaissent et se réjouissent de l'effort entrepris par les "économiseurs" sur la première question. Je souhaite que cette reconnaissance soit réciproque.

En matière de production d'électricité, l'analyse multicritère permet une comparaison efficace et rigoureuse des performances effectives des diverses filières par rapport à l'ensemble des critères et objectifs reconnus. Elle constitue donc une méthode scientifique de base d'aide à la décision. Son extension sous forme de négociation multi-décideurs doit être développée pour améliorer la communication entre les experts et le citoyen, décideur final dans notre démocratie directe.

Adresse de l'auteur : J.-F. Dupont
Chef du service analyses et prospective
S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse
Case postale 570
1001 Lausanne

TABLEAU DE COMPARAISON DES MOYENS DE PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

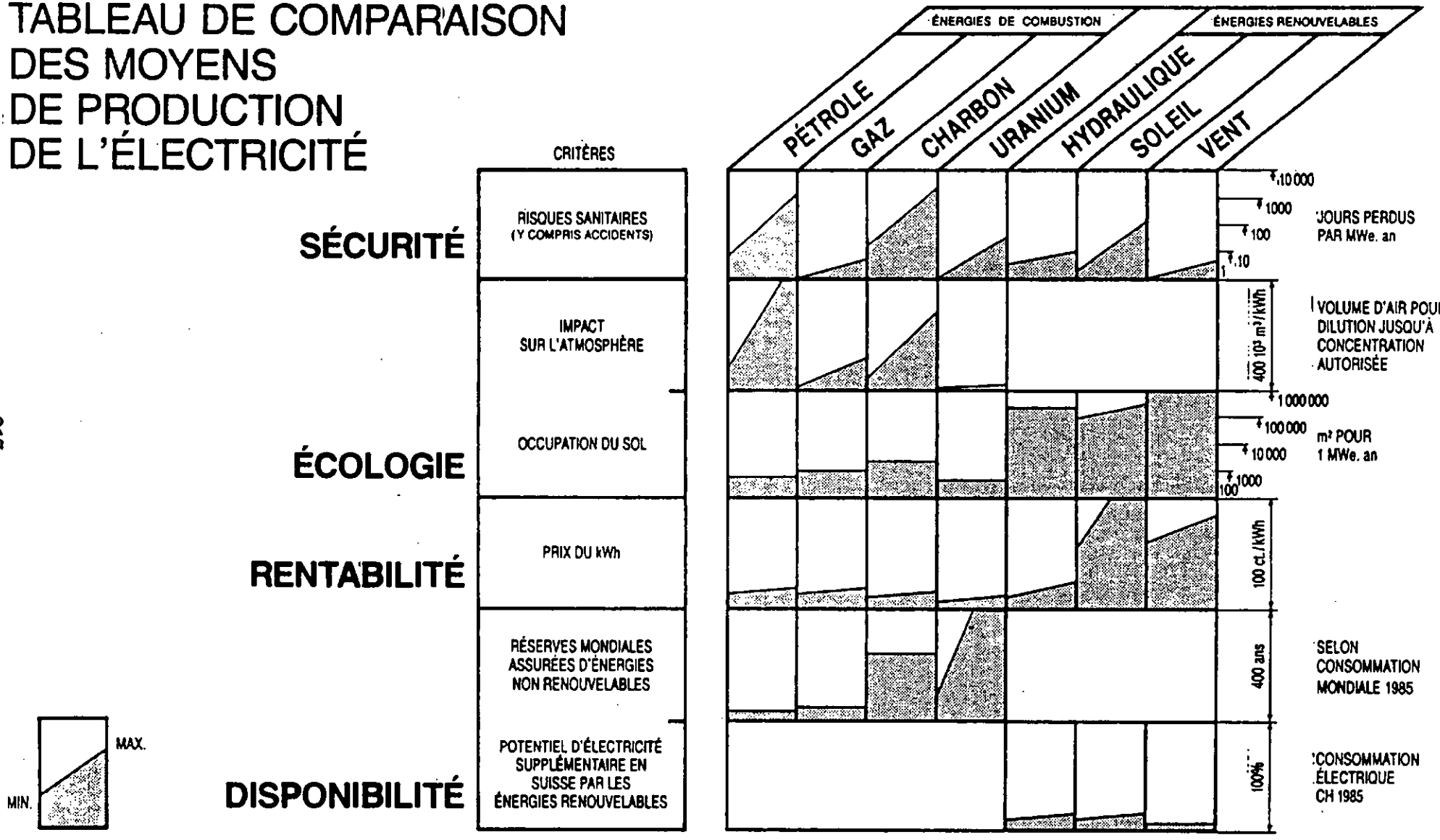


Tableau 1

RISQUES POUR LES GÉNÉRATIONS FUTURES

(voir tableau suivant)

RISQUES POUR LES GÉNÉRATIONS FUTURES

TYPE D'ÉNERGIE	RISQUES	PARADES	EFFICACITÉ[1] DES PARADES
ÉNERGIES DE COMBUSTION	ÉPUISEMENT DES RÉSERVES	PROSPECTION DE NOUVEAUX GISEMENTS	* * *
	POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE	ÉPURATION DES GAZ	*
	DÉCHETS SOLIDES (VOLUME)	DÉPÔTS, RECYCLAGE	* *
	CO_2, EFFET DE SERRE	— —	— —
ÉNERGIE NUCLÉAIRE (FISSION)	ÉPUISEMENT DES RÉSERVES	SURGÉNÉRATEURS PROSPECTION	* * *
	SÉCURITÉ DES CENTRALES (ACCIDENTS)	SÉCURITÉ DES INSTALLATIONS	* * *
	DÉCHETS	GESTION/DÉPÔTS	* * (*)
ÉNERGIES RENOUVELABLES	POTENTIEL INDIGÈNE LIMITÉ	CAPTAGES ÉLOIGNÉS	*
	COÛTS ÉLEVÉS	ABAISSEMENT DES COÛTS	*
		ÉLÉVATION DU NIVEAU DE VIE	* *

[1] * * * EFFICACITÉ DÉMONTRÉE
* * EFFICACITÉ PROBABLE, À CONFIRMER
* EFFICACITÉ INSUFFISANTE (EN L'ÉTAT ACTUEL DES CONNAISSANCES)

ANALYSE DES MECANISMES DE PRISE DE DECISION: L'EXEMPLE DE L'ARTICLE SUR L'ENERGIE

René Longet

Conseiller national, Genève

Introduction: Quinze ans de blocage

A l'origine du débat sur un article constitutionnel sur l'énergie, nous trouvons la conjonction du premier choc pétrolier et des premières oppositions au nucléaire, au tout début des années 70. Ces éléments en effet ont fait qu'assez brutalement la question de l'énergie, de sa production, de son emploi, sortait des apparentes certitudes de la facilité et des évidences techniques pour entrer de plain-pied dans le débat politique.

Les années 70, c'était la période des conceptions globales: des transports, des médias, de l'énergie; de la révision totale de la Constitution... On voulait une approche d'ensemble, une vue synthétique et cohérente des choses. En matière d'énergie, la recherche des points d'accord était d'emblée très difficile. Les milieux anti-nucléaires assez forts pour empêcher, sur le terrain, les projets d'installations atomiques, ne l'étaient pas assez pour imposer une politique de l'énergie fondée sur les économies et sur les énergies renouvelables. De leur côté, les pro-nucléaires étaient assez forts pour empêcher une telle politique mais pas assez pour imposer de nouvelles centrales nucléaires. Les tentatives de déblocage n'ont pas manqué pourtant, autour de l'idée que le courant d'origine nucléaire était bien trop précieux pour être simplement livré au gaspillage, et que de toute manière la part du nucléaire plafonnerait à 15% environ - le simple examen des chiffres commandant que l'on s'occupe en priorité d'économiser l'énergie.

Ni la commission fédérale de l'énergie (CFE) ni le groupe d'experts du Conseil fédéral pour l'étude des scénarios énergétiques (GESE) ne parvinrent à ébranler les dogmes des milieux économiques, ni à réduire le pouvoir de ceux qui font profession de vendre l'énergie.

L'article sur l'énergie: première version

La commission pour une *conception globale de l'énergie* (CGE) présenta en 1978 ses travaux. Parmi les conclusions auxquelles elle parvint, la proposition d'un article sur l'énergie. Le texte en est assez détaillé, et repose sur les quatre postulats de la CGE: recherche, substitution, économies, sécurité d'approvisionnement. Cette première mouture est fortement marquée par la conception majoritaire de la CGE, qui est une politique, dans la pratique, principalement de substitution (partielle nécessairement) du pétrole par l'électricité d'origine nucléaire, et d'interventionnisme assez prononcé. Evidemment, les uns s'en prenaient à la direction de cet interventionnisme - en faveur du nucléaire, les autres rejetaient le principe même de l'intervention.

Le *Conseil fédéral* proposa par la suite un texte d'article sur l'énergie aux Chambres fédérales, par *son message du 25.3.81* (FF 1981 II 299), adopté avec de légères modifications par les chambres. *Il échoua toutefois en votation, le 27.2.83*. Ce fut d'ailleurs un des rares cas d'échec d'un article constitutionnel en raison de non-obtention de la majorité des cantons, alors que la majorité du peuple avait été atteinte. Ce n'était toutefois pas vraiment un rejet accidentel. Le texte peu concret, la contestation des travaux et de l'esprit de la CGE, les espoirs mis dans les initiatives "pour un approvisionnement en énergie sûr, économique et respectueux de l'environnement" et "pour un avenir sans nouvelles centrales nucléaires" démobilisaient ceux qui voulaient plus. Ceux qui voulaient moins n'avaient, bien sûr de leur côté, guère d'intérêt au succès de ce texte.

Dès 1984, et plus particulièrement dans le sillage de l'accident de Tchernobyl (session extraordinaire du Conseil national, 9-11.10.86), des interventions parlementaires furent développées et transmises au gouvernement, demandant de soumettre un nouvel article sur l'énergie. Dans un message du 7.12.87, le Conseil fédéral proposa un deuxième projet.

L'argumentation à l'appui d'un article sur l'énergie

Le but immédiat d'un tel article est évident: donner à la Confédération une nouvelle compétence, qu'elle ne pourrait exercer sinon. Mais pourquoi cette nouvelle compétence de l'Etat fédéral ?
Il y a en réalité deux questions:
A) La Confédération doit-elle intervenir ?
B) De quelles bases concrètes doit-elle disposer ?

A) Il apparaît à l'analyse de la situation que *le marché laissé à son étas actuel* ne conduit pas à des économies d'énergie significatives:
   - pour le pétrole, il est en mains de compagnies dont la finalité est de vendre le plus possible
   - pour l'électricité, la situation est exactement la même, aggravée par le caractère monopolistique des compagnies d'électricité (par ailleurs en mains publiques)
   - dans de nombreux cas, les usagers finaux de l'énergie n'ont ni le choix d'installations économisant l'énergie (cas de l'équipement des immeubles locatifs), ni intérêt à économiser.

Il faut ainsi un correctif, agissant idéalement sur le double plan de l'action normative, et des distorsions économiques (augmentation des prix de l'énergie par rapport aux autres facteurs de production, incitations économiques, principes tarifaires, soutien à la recherche et au développement, informations et conseils). De telles actions sont à mener à tous les niveaux, mais *nécessitent tout particulièrement une intervention de la Confédération*, à la fois parce que le marché est, au moins, national (cas des normes techniques, par exemple) et que l'ampleur des problèmes dépasse la capacité des seuls cantons et communes.

B) Le message du Conseil fédéral à l'appui d'un article sur l'énergie, 2e version, expose que:

- les bases actuelles pour une intervention de la Confédération ne suffisent pas pour mener une politique d'ensemble
- en particulier il n'est pas possible de soutenir le développement de technologies énergétiques, ou de définir des normes de consommation; pour ces deux points une compétence nouvelle est nécessaire
- il faut politiquement exprimer une volonté cohérente, et juridiquement affirmer que les motifs de politique énergétique sont des motifs pouvant limiter la liberté du commerce et de l'industrie dans l'intérêt général. Sans ce point, la marge de manoeuvre des cantons se réduit très rapidement; des contestations juridiques ont déjà eu lieu.

Sur le fond, les bilans réguliers de l'état d'avancement de la politique de l'énergie dans les cantons montrent que pratiquement tous les cantons ont certes une loi sur l'énergie, mais que le contenu de ces législations reste bien en deça des nécessités. Ainsi, au 1.1.1990, 75% de la population suisse ne connaissaient pas de décompte individuel des frais de chauffage ni de tarifs conformes aux principes d'économie d'énergie.

Analyse du texte à la lumière des débats parlementaires

Alinéa 1)

Là où le Conseil fédéral avait proposé "créent les conditions", le parlement décide d'écrire "s'emploient à promouvoir". Il s'agit là de bien souligner le caractère programmatique de cet alinéa, qui ne vise pas à donner de nouvelles compétences, mais à concourir, dans le domaine de la politique énergétique, à la définition de la manière dont l'Etat a à assumer ses tâches, dans une perspective d'ensemble: une telle définition "représente une plate-forme d'entente" (FF 1988 I 333).

Autre changement: au lieu de "ménageant l'environnement", on trouve "compatibles avec les exigences de la protection de l'environnement". Il s'agissait d'exprimer l'idée de l'adéquation aux exigences matérielles du droit régissant l'environnement, au sens de l'étude d'impact. La notion devient ainsi plus précise, et se rapproche d'une norme. C'est en tout cas davantage qu'une déclaration d'intention: c'est un critère impératif pour toute politique de l'énergie.

Alinéa 2) ***lettre b)***

L'objectif de l'emploi de l'énergie (devenu "consommation") est explicité: "économe et rationnel".

Par ailleurs, toute compétence fédérale relative aux tarifs est biffée: c'est le sens de la suppression de la notion de "fourniture" d'énergie, alors que le Conseil fédéral avait voulu, par exemple, "prendre davantage en considération les coûts marginaux dans la tarification" (FF 1988 I 337).

Alinéa 3) ***lettre b)***
Autre explicitation de l'orientation à donner à la politique en matière d'énergie: les Chambres ajoutent "en particulier en matière d'économie d'énergie et d'énergies renouvelables".

Enfin à l'**alinéa 4**, on reprend textuellement une phrase de l'article de 1983 commandant de tenir compte des disparités entre régions et des limites de ce qui est "économiquement supportable".

En résumé: une rédaction qui explicite mieux les intentions poursuivies, au prix du refus d'un instrument essentiel: l'action sur les tarifs.

Le débat parlementaire

C'est le 21 septembre 1988 que le Conseil national, conseil prioritaire, commence l'examen du projet soumis par le Conseil fédéral. D'emblée, deux propositions de non-entrée en matière sont présentées par les conseillers Leuba (lib, VD) et Blocher (UDC, ZH).

"Dans ce domaine, il n'y a aucune pénurie, aucune crise, déclare M. Leuba (BO CN 1988 II 1059), les mécanismes du marché ont donné les impulsions nécessaires (...) (on veut) instituer de nouvelles contraintes en matière d'approvisionnement énergétique". "Accepter un article constitutionnel, c'est poser le constat que le marché n'est pas aussi transparent et n'existe pas d'une manière aussi définitive qu'on l'affirme parfois à cette tribune (...) Il y a aussi, malgré toutes les initiatives qui peuvent être prises à l'échelon communal et cantonal, des domaines qui échappent à leur bonne volonté", rétorque M. Couchepin (Rad, VS) (BO CN 1988 II 1073). Et le rapporteur de langue française de préciser: "Je ne suis pas persuadé que l'énergie soit aussi infinie qu'on veut bien le dire (...) Je ne suis pas persuadé non plus que l'économie de marché règlera tout d'elle-même" (G. Theubet, PDC-JU, p. 1088).
Sur ce, l'entrée en matière passe largement, par 136 à 26.

Comme déjà indiqué, la principale controverse porta sur les compétences en matière de principes tarifaires. On traita d'abord de l'amendement d'une minorité voulant, à la lettre b de l'alinéa 2, permettre aussi à la Confédération d'établir des principes sur "l'importation et l'exportation d'énergie". Propositon qui "vise à mettre les entreprises d'électricité dans une situation qui deviendrait alors franchement une situation de dépendance (...). Ceci est incontestablement l'organisation de la pénurie ce que nous ne pouvons en aucun cas accepter", estime M. Maitre (DC, GE) (BO p. 1110). La proposition, émanant du PS, est rejetée par 99 contre 61.

Cependant, la majorité de la commission, par une seule voix de différence (12:11), avait maintenu l'idée du gouvernement de compétences quant à la fourniture d'énergie. Supprimez cela, déclare le rapporteur de langue française de la commission, et "en éliminant le problème de la tarification (on) affaiblirait considérablement l'article". Ce point de vue l'emporte, après une

série de votes sur diverses variantes, par 100 contre 67; toutes les propositions de biffage et d'atténuation échouent. En revanche, l'idée d'une taxation de l'énergie, que le Conseil fédéral ne proposait pas tout en en admettant la nécessité ("Il faudrait prélever une taxe sur l'énergie pour renforcer l'effet de l'article énergétique", FF 1988 I 300), est rejetée avec le score de 120 contre 72. "Nous étions très nettement opposés à toute taxe affectée, prélevée d'une façon générale sur l'énergie (...). Nous pensons que l'ensemble des conditions-cadre qui vont découler de cet article énergétique sont déjà suffisamment contraignantes pour ne pas y ajouter encore des dispositions de caractère financier" argumente, par exemple, le libéral genevois Gilbert Coutau (BO p. 1069).

Le rôle du Conseil des Etats

En fait, le rôle du Conseil des Etats, deuxième conseil dans ce dossier, se limita à exiger la suppression des compétences tarifaires! Son plénum n'accorda que 8 voix à la solution retenue par le Conseil national, et vota même, par 22 contre 15, la suppression de toute la lette b) de l'alinéa 2...

Dans la procédure de l'élimination des divergences, le 19 septembre 1989, le Conseil national se prononça sur les positions du Conseil des Etats (BO 1989 II 1283).

Les électriciens "se comportent (...) comme des marchands de tabac qui placarderaient sur leurs vitrines de la publicité pour arrêter de fumer et qui à l'intérieur vendraient trois paquets pour le prix de deux" s'indigne Daniel Brélaz, écologiste vaudois (p. 1287). C'est bien le groupe PDC qui détint la clé de la décision: se rallier, ou tenir bon, face à l'autre chambre, où le groupe DC est particulièrement fort et particulièrement opposé à toute instrumentation économique. Ecoutons Fulvio Caccia, PDC tessinois, ancien président de la commission fédérale de l'énergie: "J'étais, et je suis, avec beaucoup de mes amis et collègues démocrates-chrétiens de ce Conseil national, convaincu de l'utilité de principes tarifaires dans la politique énergétique, mais nous devons finalement constater qu'il y a des blocages même dans les rapports entre les deux conseils, même à l'intérieur des partis, qui ne permettent pas de réaliser les désirs, les souhaits, les idées auxquelles on croit" (BO p. 1292). Et *le Conseil national de biffer les compétences tarifaires*, tout en gardant le reste de la lettre b), *par 107 à 84*. Deux semaines plus tard, le 6 octobre 1989, c'est le vote final: 30 à 1 au Conseil des ETats, 96 à 25, avec 48 abstentions, au Conseil national.

D'un vote sans enthousiasme au triomphe populaire

Au Conseil national, l'ensemble des opposants se prononcent à partir d'une position de refus de toute compétence fédérale. Deux tiers du groupe radical (12 oppositions), 4/5 du groupe UDC (4 oppositions), la totalité des écologistes, de l'extrême-gauche, des nationalistes et des démocrates-chrétiens *soutiennent l'article*. S'y opposent l'ensemble des libéraux et les deux élus du parti des automobilistes.

Favorables à un article comprenant des instruments économiques - taxe sur l'énergie et orientation des tarifs - les socialistes et les indépendants veulent exprimer leur déception devant la suppression de ces moyens en s'abstenant. Au sein du groupe socialiste, il est vrai, partisans de l'acceptation et partisans du refus sont pratiquement à égalité, et l'abstention est ici aussi le moyen de préserver l'unité sur une question sur laquelle les positions n'étaient pas décantées. Au sein des organisations de protection de l'environnement, puis des instances internes du PSS, c'est finalement le Oui qui l'emporta, avec la stratégie du triple oui pour la votation populaire du 23 septembre. Ne pas voter cet article, c'était se condamner à attendre un troisième projet d'article avant toute possibilité d'action... alors que les contenus qu'il recelait restaient importants.

26 conseillers nationaux avaient refusé l'entrée en matière, 25 voté contre: la campagne s'annonçait molle pour un article mou. En réalité, une forte opposition se manifesta, notamment d'une bonne partie d'organisations faîtières de l'économie, et divisait les partis UDC, PDC et radical. Les milieux pétroliers combattirent de front cet article, de même que le parti libéral suisse. C'est finalement la conjonction de cette opposition, de la victoire, contre toute attente, de l'initiative populaire pour le moratoire, et le score triomphal de 71% de oui qui donne, aujourd'hui, à cet article présenté par d'aucuns comme un alibi, un poids politique certain.

La Confédération, et les cantons, disposent de compétences qui ne leur laisseraient plus aucune excuse si leur inaction devait se poursuivre. Il est temps de comprendre que l'énergie est un bien rare, qu'il est irresponsable de continuer à gaspiller ce qui, bientôt, va manquer. Le Conseil fédéral le dit timidement entre les lignes. Le parlement est resté bloqué sur cette question, et majoritairement aveuglé par le mythe du nucléaire dont nous savons aujourd'hui qu'il restera marginal et transitoire. C'est le vote populaire qui a clairement défini les priorités, en lieu et place d'autorités prisonnières d'intérêts sectoriels et de considérations dogmatiques.

DEBAT GENERAL[1]

Hans-Luzius Schmid, Office fédéral de l'énergie

Pour introduire la discussion sur le rôle et la portée des méthodes scientifiques dans la planification de la politique énergétique suisse, il convient de faire un bref historique de la méthodologie utilisée au niveau fédéral en Suisse. Avant 1973 ils ne furent pas utilisés de véritables modèles pour planifier la politique énergétique; les prévisions de la demande d'énergie étaient basées sur des extrapolations des taux d'accroissement annuels moyens. Bien que simple, cette méthode donna des résultats satisfaisants. Après le choc pétrolier de 1973 et la création de la commission pour la conception globale de l'énergie, la méthodologie fut perfectionnée. Les prévisions qui furent établies par cette commission étaient fondées sur l'hypothèse qu'il existe une relation assez étroite entre la consommation d'énergie et la croissance économique du pays. Les prévisions "non-influencées" furent déduites de cette relation sur la base de prévisions économiques établies par le SGZZ et à partir de là il fut estimé le potentiel d'économie d'énergie. On parvient ainsi aux prévisions "influencées" par des mesures de politique énergétique. La conception globale de l'énergie fut à l'origine de l'article constitutionel sur l'énergie (1983), refusé en votation populaire par la majorité des Cantons. La Commission pour la conception globale de l'énergie fut dissoute en 1979 et substituée par la Commission fédérale de l'énergie, qui comme première tâche dut examiner la clause du besoin pour la centrale nucléaire de Kaiseraugst. A cette occasion ils furent utilisés pour la première fois des méthodes économétriques et technico-économiques développées à l'Université de Genève. Cette analyse fut à la base du message du Conseil fédéral sur la clause du besoin pour la centrale de Kaiseraugst. L'accident de Tschernobyl a ouvert une nouvelle étape dans le développement des méthodes scientifiques qui sont à la base du processus de décision politique. Les travaux du Groupe d'Experts Scénarios Energétiques (GESE) ont fait appel à différentes méthodologies. Du côté de la demande, on utilisa à la fois les modèles

[1]Transcription vérifiée par les intervenants.

économétriques et technico-économiques, du côté de l'offre, on utilisa le modèle présenté par M. E. Amthauer; enfin, pour vérifier l'équilibre offre-demande, ils furent appliqués des méthodes de programmation linéaire. Pour évaluer les effets macro-économiques de la politique énergétique ils furent aussi utilisé les modèles élaborés par Prognos et les modèles input-output de Genève.

Comment ces scénarios ont-ils été utilisés dans le processus de décision politique? Bien que le rapport du GESE avant sa publication fut très controversé, le 3 juin 1988 le Conseil fédéral décida de préparer un Arrêté fédéral allant dans le sens des économies d'énergie. C'était le grand message du GESE. Dans son message sur les initiatives sur le moratoire et l'abandon du nucléaire le Conseil fédéral choisit le scénarios renforcé, prévoyant de fortes économies d'énergie, la substitution de pétrole par les autres sources d'énergie. Selon ce scénario, il ne faut plus construire de nouvelles centrales nucléaires jusqu'à 2010. La votation du 23 septembre passé n'a pas amené le Conseil fédéral à développer de nouveaux scénarios. En réalité les 18 scénarios du GESE dont on dispose déjà, notamment celui du moratoire et celui prévoyant des économies d'énergie renforcées, suffisent largement pour mettre en place la politique énergétique des prochaines années. Tout de suite après la votation du 23 septembre Monsieur Ogi a déclaré qu'il est temps de terminer la guerre de l'énergie de ces dernières 15 années et qu'il faut trouver une collaboration entre les différents acteurs en jeu. Nous comptons nous orienter dans cette direction.

Pour conclure, je voudrais souligner l'importance de disposer de plusieurs modèles afin d'avoir une vue d'ensemble des problèmes. Les modèles doivent cependant être transparents pour que l'utilisateur puisse connaître les hypothèses qui ont été retenues et comprendre la valeur des résultats qu'ils fournissent.

P. Bremer, SEDE SA

Quelqu'un a affirmé qu'il faut terminer la guerre de l'énergie. J'en conviens mais ma perception politique des choses me dit que chacun restera

dans sa tranchée. Pour s'en sortir il faut un élément catalysateur, peut-être une nouvelle GESE (je ne sais pas). Personnellement j'étais dans ma tranchée; je suis prêt à sortir si les autres font de même.

F. Carlevaro, CUEPE

Quelqu'un dit que l'on fabrique des scénarios pour mettre en lumière le degré d'incertitude de l'évolution future. Je ne crois pas que les scénarios ont ce rôle là. Je pense plutôt que les scénarios doivent représenter des stratégies. Plus précisément, ils doivent fournir une description très détaillée de ce qui doit se passer si certaines conditions initiales se vérifient. Un scénarios n'a pas nécessairement une probabilité d'être plus vrai qu'un autre. Il serait dangereux de vouloir attribuer une probabilité à un scénario. Il s'agit là d'un élément qui doit être signalé à l'utilisateur. Il faut faire jouer aux scénarios leur rôle propre: les considérer comme des stratégies d'action. Par exemple, si les conditions qui ont régi la fabrication du scénario particulier changent, alors il faut disposer d'autres stratégies qui nous montrent quelles peuvent être les alternatives.

J'ai une deuxième remarque. Aujourd'hui on a beaucoup parlé de "prestations". Je crois que ce concept a été un progrès énorme dans l'analyse énergétique. Ce qui me chagrine est de constater que ce concept n'est pas encore utilisé pour définir les objectifs des compagnies d'électricité suisses. Traditionnellement la compagnie d'électricité avait inscrit dans son statut de satisfaire la demande. Elle semble avoir pris ceci à la lettre, en se faisant un devoir de prévoir une demande de façon "naturelle" et de la couvrir de manière optimale. Or, grâce à la notion de "prestation", on voit que la consommation d'électricité a pour but de fournir des prestations pour faire quelque chose d'utile. Pour faire des choix optimaux il faut donc se référer au critère de la prestation. En étudiant l'allocation optimale des ressources selon ce critère on peut arriver à la conclusion qu'il peut être plus intéressant de ne pas produire d'électricité en faisant des économies. C'est le résultat auquel ont abouti certaines compagnies d'électricité aux Etats-Unis. Plutôt que de délivrer l'électricité, elles fournissent des conseils sur comment économiser l'électricité (qu'elles facturent, bien évidemment). Pour en arriver là, il faut cependant changer d'objectif. Je voudrais savoir pourquoi en Suisse les compagnies électriques n'envisagent pas cette démarche.

H.-L. Schmid, Office fédéral de l'énergie

Je partage l'avis de Monsieur Carlevaro selon lequel les scénarios représentent avant tout des choix d'action. Je pense toutefois que les scénarios peuvent aussi être utilisés pour mettre en évidence les situations d'incertitude. Dans ce sens, nous attachons beaucoup d'importance à l'analyse de différentes variantes d'évolution du PIB et des prix de l'énergie.

J.-F. Dupont, EOS

On a regardé de très près les expériences américaines et il se trouve qu'elles arrivent aux mêmes conclusions qu'en Suisse. Les programmes même les plus importants d'économie d'électricité réduisent, à prestations égales, de 1% environ par an la consommation d'électricité. La croissance des besoins augmente toutefois en raison de 2-3% par an. Les économies réduisent donc l'accroissement de la consommation, mais ne la compensent pas complètement. Les américains lancent souvent des expériences dont l'écho médiatique est spectaculaire. On parle moins en revanche des résultats chiffrés. En Suisse il n'y a pas absence totale d'efforts dans ce sens. Les BKW par exemple ont lancé l'initiative du "Stromsparclub"; malheureusement EOS ne peut pas mener elle-même d'actions de ce genre. Nous avons un seul client direct, l'Aluminium de Martigny, auquel nous avons proposé des avantages tarifaires en échange d'une diminution des appels de pointes obtenue au moyen de perfectionnements technologiques. Donc des efforts sont faits. Mais EOS n'est qu'une coopérative de production, dont les coopérateurs sont les sociétés de distributions. Elles-seules sont en contact direct avec les consommateurs et ainsi en mesure de contribuer à jouer la carte des économies. On a parlé de mettre fin à la guerre des tranchées. Pour moi "sortir des tranchées" signifie ne plus être opposés les uns contre les autres. Sur ce point je vous assure que les gens qui sont pour le nucléaire ne sont pas contre le solaire ou contre les économies d'énergie, car ils en reconnaissent la necessité. De plus tant le développement du solaire que les économies d'énergie ont tendance globalement à accroître la consommation d'électricité. On y a même intérêt! Est-ce que la réciproque est vraie? Ceux qui sont pour le solaire et les économies sont-ils prêt à accepter l'idée qu'un peu de nucléaire pourrait être utile vu les problèmes globaux qui se posent?

P. Benoit, Service Industriels de Genève

Economiquement on sait que l'on n'a pas avantage à une croissance de la consommation d'énergie. On se porterait beaucoup mieux financièrement sans une telle croissance du réseau. En ce qui concerne une action auprès de l'usager pour lui permettre d'utiliser le mieux possible le produit fournit, elle existe depuis très longtemps, on a des équipes qui sont capables de donner des conseils très précis aux usagers. Il s'agit d'une action qui est en cours de développement: Il faut sortir de ce schéma selon lequel les électriciens veulent faire un maximum de profit par un maximum de livraison de KWh.

C. Weinmann, SIA

C'est une des tâches du programme d'impulsion RAVEL (auquel les électriciens sont très associés) de définir les prestations ainsi que de développer et enseigner comment satisfaire ces prestations avec un minimum de consommation. Il y a néanmoins deux sortes d'obstacles très importants qu'il faut prendre en considération. Tout d'abord il existe tout une série de prescriptions en matière de sécurité, de trafic, de normes etc. qui sont un frein aux économies. Il y a des normes qui imposent 500 LUX quand en réalité il en faut beaucoup moins (peut-être 300 de meilleure qualité). L'autre obstacle est représenté par le souci de protection de l'environnement. Par exemple on ne veut pas passer avec l'autoroute au milieu de Neuchâtel, et on passera sous La Vue des Alpes. C'est un désir légitime. Mais les besoins pour ventiler et éclairer ces tunnels représenteront le 7% de la consommation d'énergie électrique du Canton de Neuchâtel. Dans la définition des prestations et des buts à atteindre il faut donc être très prudent. Dans les modèles d'évolution de la consommation, il sera important de juger de l'évolution de la demande en prestation et non seulement des rendements des équipements. Il est vrai que pour une prestation donnée, on pourra beaucoup diminuer la consommation (par un facteur de 2, 3 ou 5 en ce qui concerne l'éclairage, la ventilation et la climatisation, par rapport à certains cas relativement médiocres mais fréquents que l'on rencontre aujourd'hui), mais il faut également considérer l'évolution de la demande en prestations.

P. Bachmann, CUEPE

Depuis le 23 septembre on a un article constitutionnel sur l'énergie et depuis quelques années on a des scénarios, dont le scénario du moratoire. Est-ce que avec ces deux choses plus le vote sur le moratoire on peut s'attendre maintenant à ce que le Conseil Fédéral dise de façon claire quelle est la politique qu'il entend suivre?

H.-L. Schmid, Office Fédéral de l'Energie

Je crois que ce n'est pas seulement le Conseil Fédéral qui est visé mais surtout les Chambres Fédérales. Le Conseil Fédéral a déjà publié en 1988 un Arrêté sur les économies d'énergie. Maintenant, cet Arrêté est devant la Commission du Conseil des Etats. Il est clair que d'autres mesures doivent être prises. Il faut sortir de la situation d'impasse dans laquelle l'on se trouve. Il faut éviter le danger de ne rien faire, que la situation de moratoire dans laquelle l'on se trouve pourrait produire. Il faut donc réaliser de nouvelles mesures et agir, à tous les niveaux.

B. Guillelmon, BKW

On a beaucoup parlé de tarification au coût marginal. J'ai l'impression que la prestation qui sera demandée d'effectuer des économies à des moments pendant lesquels l'électricité sera très chère (périodes de pointe) augmentera avec la différenciation des tarifs.

F. Carlevaro, CUEPE

Je suis heureux d'apprendre que des efforts sont entrepris au niveau des compagnies d'électricité pour favoriser la pénétration de règles d'utilisation rationelle de l'énergie. J'ai toutefois le sentiment que c'est une action qui est faite parce que l'air du temps veut que l'on fasse cela. C'est une sorte de prestation gratuite. Il y a là le danger de traiter l'action visant les économies d'énergie de façon asymétrique par rapport à la livraison de l'électricité. Si l'on introduit la notion de prestation comme étant l'objectif à poursuivre, l'idéal serait que l'on paye la prestation et pas que l'on paye l'électricité. Si l'on pouvait faire payer le nombre de lumens livrés dans une salle au lieu de faire payer les kWh qui

allume l'ampoule, il est clair qu'à ce moment là la rationalité économique aiderait à faire pénétrer les économies d'énergie d'un point de vue de l'allocation optimale des ressources. Je suis conscient qu'il y a là des difficultés. Je pense toutefois que par exemple dans le cas de l'illumination, si un client est relativement précis dans sa demande (nature de l'éclairage) et dans la mesure où la compagnie d'électricité serait associée à l'installation des lampadaires, à ce moment là le calcul économique conduirait à des résultats tout à fait différent. Actuellement en revanche la compagnie d'électricité privilégie la livraison maximale d'électricité, car c'est grâce à cette vente qu'elle vit, qu'elle paie ses ouvriers, qu'elle assure sa croissance et sa puissance. Le problème fondamental réside au niveau des objectifs que l'on se fixe.

C. Weinmann, SIA

Je saisis l'occasion Monsieur Carlevaro pour apporter un exemple qui va dans le sens de ce qu'il ne faut pas faire et qui peut être un effet pervers de la législation. Il a été proposé il y a quelques années à propos du chauffage de facturer non pas la quantité de chaleur délivrée mais la température donnée dans les locaux en fonction du volume chauffé. L'effet pervers de la législation (l'un des responsables est l'Office fédéral de l'énergie) c'est qu'en édictant une liste d'appareils conformes aux tests établis pour les appareils de décompte individuel des frais de chauffage, on ne prend pas en considération d'autres types d'appareils comme par exemple les appareils de mesure de température dans les appartements. Comme ces appareils ne sont pas dans la liste de l'office fédéral de l'énergie, le système est écarté. Avec cela, on décourage les nouveautés.

J.-F. Dupont, EOS

Je trouve stimulant la réflexion de Monsieur Carlevaro, mais je me pose la question de savoir comment cela pourrait marcher. Aujourd'hui l'électricien s'arrête à la prise de courant et le consommateur peut décider de gérer sa consommation, choisir ses appareils, performants ou pas. Avec le système que vous envisagez, vous transférez le pouvoir de décision au gérant d'immeubles. Est-on prêt à faire ce transfert? C'est une question essentiellement politique, que pour le moment je ne veux pas approfondir.

Votre réflexion soulève une autre question, beaucoup plus générale liée à la grande incertitude de pronostic sur les économies d'énergie. J'assimilerais un plan anti-gaspillage à un plan anti-chômage. Il peut y avoir un consensus politique là-dessus, mais il y a par nature une incertitude considérable sur le résultat effectif de ces mesures. Ce qui me trouble un peu - et je pose la question à Monsieur Longet - c'est qu'il semble admettre qu'en ayant voté le moratoire le peuple suisse aurait voté pour les mesures du scénarios moratoire contenues dans le rapport GESE. Objectivement ce n'est pas le cas. Je pose la question aux politiciens: pourquoi n'avez-vous pas proposé un moratoire sur la consommation, qui aurait contenu les mesures proposées par le scénario au GESE? On aurait alors eu une triple vérification: premièrement est-ce que le citoyen veut ces mesures; deuxièmement, si oui, comment réagirait-il à l'application de ces mesures (les gardera-t-il longtemps?); enfin, on bénéficierait d'une vérification réelle, grandeur nature, de l'effet de ces mesures. Malheureusement cette vérification n'existe pas, car il s'agit d'un moratoire à l'envers. Il fallait un moratoire sur la consommation, et on a proposé un moratoire sur la production. La semaine passée au Conseil d'Administration d'EOS il y avait une décision concrète à prendre. J'aimerais poser la question à Monsieur Schmid, aux politiciens et à tous les auteurs de modèles, quelle devait être notre décision. La question posée était la suivante: EDF nous offrait de lever une option supplémentaire de 100 MW, mais le délai était limité à fin septembre. Il s'agissait d'un contrat à long terme. Si on ne prenait pas ces 100 MW aujourd'hui on risquait de ne plus pouvoir en disposer demain ou après demain (le marché européen est en train de se tendre). Ou alors à un prix plus élevé. D'autre part, en étant dans une situation de moratoire, avec la consommation qui "théoriquement" devrait baisser, il faudrait renoncer à les acheter. Questions à toutes les personnes compétentes (décideurs, conseillers politiques, modélisateurs): fallait-il voter oui ou non sur cette option de 100 MW?

H.-L. Schmid, de l'Office fédéral de l'énergie

Le problème soulevé par M. Dupont ne concerne pas le Conseil fédéral mais seulement EOS. Si on avait demandé mon avis, comme le Conseil fédéral ne veut pas accroître la dépendance énergétique de l'étranger, j'aurais répondu négativement. Il ne fallait pas acheter les 100 MW.

P. Bettens, Electricité Neuchâteloise SA

Je voudrais préciser une chose suite au sceptiscisme réitéré de Monsieur Carlevaro concernant les objectifs des distributeurs d'électricité. Je viens d'un distributeur qui a une grande proportion de son réseau dans des zones rurales. Ce réseau est ainsi en large partie déficitaire et il faut vendre beaucoup d'énergie en zone semi-urbaine pour compenser les pertes en zone rurale. Je crois que dans le raisonnement tenu il y a une dimension qui manque. C'est le côté service public que nous assumons. Il y a des obligations et des règlements qui nous imposent de faire notre travail pour tout le monde et aux meilleures conditions économiques.

R. Longet, conseiller national

Puisque Monsieur Dupont m'interroge je voudrais répondre d'abord par une boutade: la prochaine fois que l'on fera une initiative on demandera à M. Dupont de nous rédiger un texte. Sur le fond je voudrais souligner qu'en votant le moratoire on ne se trouve pas les mains nues. "Moratoire" n'est en tout cas pas synonyme de ne rien décider et le scénario "moratoire" a été clairement établi bien avant la votation. Il a été rappelé par Monsieur Schmid, il existe, et nous nous attendons que ce scénario soit maintenant sorti des tiroirs et matérialisé. C'est lui qui a été légitimé; c'est lui qui se situe, quelque part, entre le scénario abandon et le scénario statu quo. Le peuple suisse a opté pour la voie médiane et maintenant il s'agit de l'appliquer. Mais ce qui m'inquiète en vous entendant c'est que j'ai l'impression que vous n'y croyez pas du tout et que vous allez tout faire pour ne pas l'appliquer. Ceci n'est pas acceptable et nous n'accepterons pas que les électriciens sabotent des décisions populaires simplement parce que ça ne leur plaît pas. Au niveau politique les autorités, les élus sont tenus à respecter les décisions; moi en tout cas je les respecte. Je me suis souvent battu pour des causes, que j'ai perdu. Il faut accepter de perdre; je n'aimerais pas qu'ici il y a des mauvais perdants, car l'enjeu est essentiel. Si le moratoire est saboté par les électriciens, alors je peux vous garantir qu'il sera définitif. Là, il y a aussi un enjeu au niveau de la justification dans dix ans; la balle n'est pas tellement dans le camp du consommateur car celui-ci n'a pas beaucoup de marge de manoeuvre. La balle est dans le camp de ceux qui font les normes, que ce soit les normes de construction, que d'appareils. Elle est dans le camp des vendeurs

d'électricité, de pétrole etc. Tous ensemble on doit trouver des solutions au problème qui nous est posé. On ne peut pas se retrancher derrière le fait qu'"on ne le saurait pas"; le scénario existe et à vous Messieurs de l'appliquer. Ce qu'on peut faire au plan politique (et je le ferai très volontiers) c'est d'expliquer, et de veiller à ce que, le consensus populaire existe aussi pour les mesures positives. Le fait de "sortir des tranchées" peut par exemple signifier que les gens qui sont contre le nucléaire soient conscients qu'il faut être aussi dans la vie de tous les jours pour les économies et pour les énergies renouvelables. Nous avons dans cette salle 2/9e de la Commission des scénarios énergétiques. C'est plutôt aux experts de dire dans quelle mesure ce scénario moratoire est opérationnel maintenant. Je crois que le Conseil fédéral devrait en dire un peu plus; pas simplement renvoyer la balle au Parlement, mais accepter le verdict populaire et donner force au scénario moratoire.

B. Giovannini, CUEPE

Je voudrais signaler à Monsieur Dupont comment le Conseil d'Administration d'EOS aurait dû affronter le problème. Il aurait dû dire: «j'ai l'option entre économiser 100 MW dans dix ans ou les produire; qu'est-ce qu'il vaut mieux du point de vue économique et pour le pays ?». Je vous rappelle que vous électriciens vous avez été très longtemps favorables à l'autarcie électrique. Il ne faut pas abandonner trop vite cet objectif. Alors examinez de façon approfondie cette option et seulement après prenez une décision.

J.-F. Dupont, EOS

Je voudrais rassurer Monsieur Longet quand il dit que "Les électriciens vont saboter le moratoire". Tout simplement parce que notre possibilité d'action (donc de saboter!) s'arrête en grande partie à la prise. Pour pouvoir agir en aval de la prise il faut un mandat politique, dont l'éxécution ne nous appartiendrait d'ailleurs pas directement. Cela appartient aux fabricants d'appareils, aux bureaux d'ingénieurs, etc. En amont de la prise on fait un grand effort pour être le plus efficace possible. Il y a un nombre de MW important qui sont gaspillés quotidiennement à cause des lignes saturées. Les oppositions à la construction de lignes plus performantes ne sont pas prêtes de se lever. Il y a là un premier gaspillage sur lequel on devrait dégager nos responsabilités.

B. Saugy, CREM

Monsieur Dupont a parlé de leur client Aluminium-Martigny. Nous avons eu récemment des discussions avec eux pour envisager de la cogénération au profit du chauffage urbain. Malheureusement comme ils payent le courant aux environs de 4 ct/kWh alors que nous avons des tarifs d'électricité lumière allant jusqu'à 38 cts/kWh la discussion a tourné court tant leurs tarifs sont privilégiés. Je ne pense pas qu'il faille multiplier les réglementations tatillonnes pour régler nos problèmes et manifestement quand on a des écarts d'un facteur 10 entre deux consommateurs sur la même commune, il suffirait de libéraliser le commerce de l'électricité pour que les meilleures solutions s'imposent d'elle même. En matière d'incitation, que je préfère aux contraintes, la Confédération doit avoir une politique, mais peut-être devrait elle mieux valoriser celle des communes et des cantons. En effet des solutions novatrices existent et nous avons abordé récemment des problèmes de transport avec EOS. C'est typiquement un cas où l'électricien pourrait vendre une prestation en tkm et non de l'énergie. Malheureusement la direction d'EOS m'a encore confirmé qu'elle n'entend pas entrer en matière sur cette solution. Or s'il est parfois difficile de vendre une prestation d'éclairage ou des lux, en termes de transport on pourrait facilement vendre des tkm. Les électriciens pourraient alors mettre leur capacité de réalisation et d'investissement au service d'un système de transport performant et économique. Malheureusement il y a encore beaucoup à faire à EOS pour que les voeux d'ouverture évoqués ne se traduisent dans la réalité.

PROGRAMME DE LA JOURNEE

9h.30 **Introduction:** Fabrizio Carlevaro

9h.45 **Session I:** Evaluation des besoins énergétiques.

Synthèse des contributions écrites, Charles Spierer, CUEPE.

- Energiemodell der Schweiz auf der Basis von QUANTOR. Erstellung des Statistik und Rechnen von Szenarien.
  Adrian Stäger, Informata, Zürich.
- Energiekennzahlen.
  Bruno Wick, Widen.
- Méthode de décomposition des sources de changement dans l'utilisation de l'énergie.
  Gabrielle Antille, Département d'économétrie, Université de Genève.
- "Bottom-up" - Modell für den Stromverbrauch im Dienstleistungssektor. Beschreibung eines Forschungsprojekts und Diskussion von wesentlichen Fragen beim "Bottom-up" - Ansatz.
  Bernard Aebischer, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH, Zürich.
- Massnahmen der effizienten Energienutzung in der Industrie. Möglichkeiten und Grenzen von technischen Untersuchungen.
  Ivo Knöpfel, Paul Scherrer Institut, Villigen.
- Méthodes technico-économiques et technico-économétriques pour la modélisation de la consommation d'énergie.
  Bernard Giovannini, CUEPE, Université de Genève.
- Modèle de prestation énergétique.
  B. Saugy, R. Groux, J.-M. Revaz, S. Storelli, CREM, Martigny.
- Modélisation économétrique de la demande d'énergie en Suisse et à Genève: bilan et perspectives.
  Fabrizio Carlevaro, Jean-Luc Bertholet, Jean-Paul Chaze, Charles Spierer, CUEPE, Université de Genève.

Interventions des contributeurs et discussion.

11h.00 **Pause café.**

11h.15 **Session II:** Analyse et planification de l'approvisionnement en énergie

Synthèse des contributions écrites, Gonzague Pillet, PSI, Villigen.

- Modell der Elektrizitätversorgung der Schweiz.
  E. Amthauer, Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg.
- Multiple Energy Supply Risks and Optimal Reserves.
  Peter Zweifel, Matteo Ferrari, Institut für Empirische Wirtschaftsforschung, Universität Zürich.
- Energie-Modell Zürich. Konzept einerr. Energieversorgung für die Wirtschaft in der Stadt Zürich, mit besonderem Schwerpunkt der Elektrizitätsversorgung.
  Thomas Bürki, Basler & Partner, Zollikon.
- Pragmatisches Modell zur Untersuchung von energie - und umweltrelevanten Massnahmen im Verkehr, (COST 307).
  Walter Baumgartner, Basler & Hofmann, Zurich.
- MEGA-Suisse: Un modèle d'équilibre général appliqué pour l'évaluation des impacts économiques des politiques énergétiques.
  Fabrizio Carlevaro, CUEPE, Université de Genève
  Gabrielle Antille, Tobias Müller, Département d'économétrie, Université de Genève.
- The Combined Energy Demand and Supply Models SMEDE and MARKAL.
  Socrates Kypreos, Paul Scherrer Institut, Villigen.
- Programmation mathémathique et analyse des choix énergétiques et environnementaux.
  Alain Haurie, Jean-Philippe Vial, Département des sciences commerciales et industrielles, Université de Genève.
  Richard Loulou, GERAD et Université McGill, Montréal.

Interventions des contributeurs et discussion.

12h.30 **Repas.**

14h.30 **Session III:** Besoins et problèmes en matière d'outils d'aide à la décision pour la politique énergétique suisse.

- Wünsche und Vorstellungen von Modellbauern und Modellbenutzern.
  Daniel Spreng, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH, Zurich.
- Methodische Probleme / Ansätze bei Energieprognosen.
  Beat Schmid, Hochschule St. Gallen.

Questions et discussion

15h.30 **Session IV:** Rôle et portée des méthodes scientifiques dans la planification énergétique suisse.

Première partie: Exposés introductifs

- Eénergie électrique dans le bâtiment. Projet SIA 380/4:
  Charles Weinmann, Communauté d'ingénieurs EEB, Weinmann-Energies et Elektrowatt, Echallens.
- Evaluation comparative des divers moyens de production de l'électricité: réflexion sur les possibilités et les limites d'une analyse multicritère.
  Jean-François Dupont, S.A. L'Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne.
- Analyse des mécanismes de prise de décision: l'exemple de l'article sur l'énergie.
  René Longet, conseiller national, Genève.

16h.30 **Pause café**

17h.00 ***Deuxième partie: Débat général,*** introduit et présidé par
Hans -Luzius Schmid, vice-directeur, Office fédéral de l'énergie.

18h.00 **Clôture de la journée suivie d'un vin d'honneur.**

LISTE DES PARTICIPANTS

AEBISCHER Bernard, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH-Zentrum/ETL, 8092 Zürich

AMTHAUER Edgar, Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg, 4335 Laufenburg

ANCAY Camille, Service des bâtiments Etat du Valais, 1950 Sion

ANTILLE Gabrielle, Département d'économétrie, Université de Genève, Rue Dancet 2, 1211 Genève 4

ARNOLD Josef, Architecte UTS, Chemin Bois-Caran 4 bis, 1222 Vésenaz

BACHMANN Pierre, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

BAHIENSE Heitor, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

BAHN Olivier, Département d'économie commerciale et industrielle, Université de Genève, Rue de Candolle 2, 1211 Genève 4

BANIRIAH Naghi, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

BARANZINI Andrea, Département d'économie politique, Université de Genève, C.P. 266, 1227 Carouge

BARI Jean-Paul, Département de science politique, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

BAUMGARTNER Walter, Basler & Hofmann, Forschstr. 395, 8029 Zürich

BECK Rémy, Département de l'économie publique de l'Etat de Genève, C.P. 252, 1211 Genève 3

BELAZ Charles, COLENCO AG, Parkstr. 27, 5401 Baden

BENOIT Pierre, Services industriels de Genève, C.P. 16, 1211 Genève 11

BERTHOLET Jean-Luc, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

BETTENS Philippe, Electricité Neuchâteloise SA, Les Vernets, 2035 Cercelles

BREMER Pierre, SEDE SA, Rue de Midi 33, 1003 Lausanne

BUERKI Thomas, Ernst Basler & Partner AG, Zollikerstr. 65, 8702 Zollikon

CARLEVARO Fabrizio, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

CESINSKI-ZENDER J., Rue le Corbusier 28, 1208 Genève

CHAZE Jean-Paul, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

CORAJOD Charles, Département de l'économie publique de l'Etat de Genève, C.P. 252, 1211 Genève 3

DOLECEK S., OFEN, 3003 Berne

DUNANT Micel, -Transport Publics Genevois, Av. de la Jonction, C.P. 237, 1211 Genève 8

DUPONT Jean-François, Energie de l'Ouest-Suisse SA, C.P. 570, 1000 Lausanne

EGLOFF Roger, COPER, Centre International, B.P. 70, 1211 Genève 20

FAVEZ Jean-Claude, Recteur de l'Université de Genève, Rue Général Dufour 24, 1211 Genève 4

FERRARI Matteo, IEW, Université de Zürich, Kleinstr. 15, 8008 Zürich

FRAGNIERE Emmanuel, Département d'économie commerciale et industrielle, Université de Genève, Rue de Candolle 2, 1211 Genève 4

GARBELY Myriam, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

GIOVANNINI Benard, Vice-recteur de l'Université de Genève, Rue Général Dufour 24, 1211 Genève 4

GNASOUNOU Edgar, LASEN - Dpt Génie Civil, EPFL, 1015 Lausanne

GOSTELI Véronique, OFEN, Seftigenstr. 7, 3003 Berne

GUILLELMON Bernard, BKW, Viktoriaplatz 2, 3000 Berne 25

GUISAN Olivier, GAP/CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

HALDI Pierre-André, LASEN - Dpt Génie Civil, EPFL, 1015 Lausanne

HAURIE Alain, Département d'économie commerciale et industrielle, Université de Genève, Rue de Candolle 2, 1211 Genève 4

HURNI Jean-Pierre, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

JUILLERAT Tristan, Services industriels de Genève, C.P. 16, 1211 Genève 11

KANALA Roman, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

KNOEPFEL Ivo, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

KYPREOS Sokrates, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

LACHAL Bernard, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

LAGIER Jean-Claude, Service industrielles de Genève, C.P. 16, 1211 Genève 11

LANGLO Erik, Perreten & Milleret SA, Rue J. Grosselin, 1227 Carouge

LESOURD Jean-Baptiste, Rue de Rome 180, F-13006 Marseille

LONGET René, Conseiller national, Genève

MAMANE Gabrielle, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

MARQUEZ Martha, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

MUELLER Tabias, Département d'économétrie, Université de Genève, Rue Dancet 2, 1211 Genève 4

MUTZNER Jürg, Union des Centrales Suisses d'Electricité, Bahnhofplatz 3, 8023 Zürich

PAIN Dominique, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

PAQUIER Serge, Département d'histoire économique, Université de Genève, Route de Drize 7, 1227 Carouge

PASZTOR Janos, UNCED, C.P. 80, 1231 Conches

PILLET Gonzague, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

RENS Ivo, Département d'histoire du droit, Université de Genève, Rue John-Rehfous, 1208 Genève

ROMERIO Franco, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

ROYER Jacques, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

RUPRECHT Gustav, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Parkstrasse 23, 5400 Baden

SAUGY Bernard, CREM, Rue des Morasses 5, C.P. 960, 1920 Martigny

SCHMID Beat, Hochschule St. Gallen, 9000 St. Gallen

SCHMID Hans-Lucius, OFEN, Berne

SPIERER Charles, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

SPRENG Daniel, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

STAEGER Adrian, Informata AG, Hofwiesenstr. 26, 8057 Zürich

STETTLER Martin, Vice-recteur de l'Université de Genève, Rue Général Dufour 24, 1211 Genève 4

STRYJENSKI Jean, AGA-FAS-SIA, Rue des Noirettes 32, 1200 Genève

TAFFE Patrick, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

VIAL Jean-Philippe, Département d'économie commerciale et industrielle, Université de Genève, Rue de Candolle 2, 1211 Genève 4

VITALI Bruno, Dipartimento dell'ambiente, 6500 Bellinzona

WEINMANN Charles, SIA-Vaud, Route d'Yverdon 4, 1040 Echalens

WEBER Willi, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches

WICK Bruno, Ing. Büro Wick, 8967 Widen

ZHOU Jianhua, CUEPE, Université de Genève, Chemin de Conches 4, 1231 Conches