

# Méthodes de prévision et de décomposition

Autor(en): **Kaltio, S.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **74 (1983)**

Heft 2

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904748>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Méthodes de prévision et de décomposition

Rapport du Groupe d'experts pour l'analyse des séries historiques de la demande d'électricité\*)

*La mise au point de prévisions à court et à long terme concernant les besoins en puissance et en énergie dans le secteur de l'électricité se fait selon des méthodes différentes dans les pays membres de l'UNIPED. De telles méthodes prévisionnelles sont brièvement décrites dans le rapport du Groupe d'experts du Comité d'études des statistiques.*

*Die Erarbeitung der kurz- und langfristigen Entwicklungsprognosen für den Energie- und Leistungsbedarf auf dem Elektrizitätssektor erfolgt in den UNIPED-Ländern nach unterschiedlichen Methoden. Im Bericht der Expertengruppe des Studienkomitees für Statistik werden solche Prognosemethoden kurz beschrieben.*

## 1. Méthodes autoprojectives

Les méthodes autoprojectives comprennent la classe des méthodes formelles quantitatives. Elles utilisent des données qui sont collectées et analysées de façon systématique. Les modèles reposent sur des données quantitatives du passé.

Les méthodes autoprojectives n'utilisent qu'une seule série chronologique. Le modèle est basé sur l'hypothèse que les caractéristiques présentées resteront valables dans le futur. Ces méthodes sont aussi appelées méthodes univariées.

### 1.1 Moyenne mobile

Un certain nombre de séries chronologiques, en raison d'une foule de causes (actions humaines, fin de semaine, grèves, conditions climatiques, durée inégale des mois, nouvelles internationales et autres événements exceptionnels) présentent des irrégularités qui sont sans intérêt pour celui qui prend les décisions et dont les actions doivent réagir doucement. Dans une série chronologique donnée, il faut éliminer ces irrégularités et fluctuations superposées, ou bruit de courte période, et ne détecter que les changements persistants. Ce procédé de détection s'appelle lissage ou établissement de moyenne.

Cependant, le lissage même entraîne les retards dans la chaîne des informations et modifie la sensibilité des résultats aux diverses périodicités qui peuvent exister dans les fluctuations des données d'entrée. Il s'ensuit que le lissage entraîne un certain degré de distorsion dans les informations contenues dans les données d'origine. Plus de lissage conduit à un bruit réduit et à un retard accru dans l'élaboration des informations significatives que l'on recherche. Moins de lissage conduit à un bruit accru et à un retard réduit.

Il existe des méthodes numériques formelles de lissage et des méthodes informelles ou intuitives.

La moyenne mobile est une méthode de lissage dans laquelle un poids

(ou importance) égal est attribué à chaque valeur du passé d'une série chronologique jusqu'à un moment de rupture avant lequel on attribue un poids nul.

Dans le cas général d'une moyenne mobile obtenue sur des périodes  $T$ , la moyenne mobile (MM) est ainsi calculée:

$$MM = \frac{1}{T} (S_1 + S_2 + \dots + S_T)$$

Pour une vraie valeur, uniformément croissante, de la variable  $S$ , la valeur moyenne est égale à chaque instant à celle que la vraie valeur avait auparavant au milieu de la période  $T$ . Le retard de lissage est dans ce cas égal à  $T/2$ .

La méthode de la moyenne mobile est facile à expliquer et peut facilement être appliquée lorsque les données sont tenues manuellement, en utilisant des méthodes manuelles de calcul. Les niveaux d'activité moyenne (production d'électricité) hebdomadaires, mensuels, annuels, etc. ... sont des moyennes mobiles dans le sens qu'ils attribuent un poids égal à toutes les données dans un intervalle considéré. Cette méthode peut être utilisée en combinaison avec d'autres techniques de prévision, par exemple la méthode d'extrapolation.

### 1.2 Extrapolation de la tendance

Pour l'extrapolation de la tendance, on commence par supposer que l'évolution d'une valeur observée jusqu'à alors restera constante dans un avenir proche, et on en tire une prévision à moyen terme.

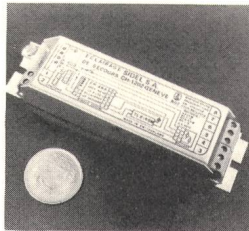
Dans l'extrapolation de la tendance, comme pour toute prévision, on évolue entre deux concepts extrêmes: les «possibilités de l'évolution» et les «limites pour l'évolution», on accepte néanmoins ici volontiers la contrainte de chiffrer l'information parce qu'elle facilite d'une part l'analyse et qu'elle constitue d'autre part un instrument de travail mathématique. La valeur n'est ici utile que pour analyser les phéno-

\*) Président du Groupe d'experts: (subordonné au Comité d'études des statistiques) S. Kallio, TMT-Team Oy, Kalevankatu 33A1, SF-00101 Helsinki 10.

## Notbeleuchtung

**kaufen Sie nicht mit verbundenen Augen!**

- hohe Zuverlässigkeit
  - sehr kompakt
  - hoher Wirkungsgrad
  - passt für alle TL von 8 bis 65 W, auch Lumilux (ohne Zündhilfe)
  - Masse: 35×120×28 mm
  - Verlangen Sie unsere technischen Unterlagen
- Jetzt auch lieferbar mit Hochtemperatur-Batterien



## Eclairage de secours

**n'achetez pas les yeux fermés!**

- haute fiabilité
  - très compact
  - rendement élevé
  - fonctionne avec tous les TL de 8 à 65 W, y compris Lumilux (sans aide d'amorçage)
  - dimensions: 35×120×28 mm
  - demandez notre rapport technique
- maintenant livrable aussi avec batteries hautes températures

ch. des Palattes 41 **SIDEL**sa 1212 Genève, Tél. 022/96 86 58

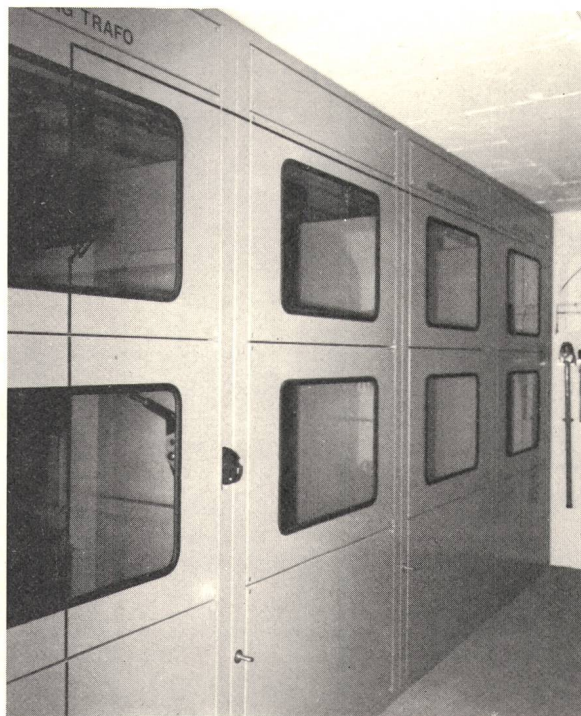
**Elektrobau I. Huser AG 9572 Busswil TG** Telefon (073) 23 46 46

**Ihr zuverlässiger Partner für:**

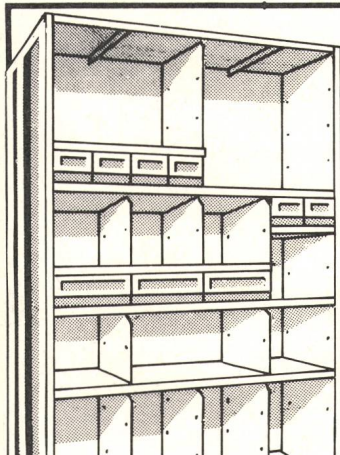
- Kabelverteilkabinen
- Vorfabrizierte Transformatorenstationen

**Votre partenaire sûr et consciencieux pour:**

- Cabines de distribution de câbles
- Stations de transformateurs préfabriqués



**Elektrobau I. Huser AG 9572 Busswil TG** Telefon (073) 23 46 46



### Element - Lagergestell Typ 01

Man sieht es auf den ersten Blick!  
Dieses Gestell wurde vom erfahrenen Praktiker für die Praxis entwickelt. Weil das Lagergut die Konstruktion bestimmte, bietet nur dieses Gestell eine solche zweckmässige Vielfalt an Einteilungsmöglichkeiten.

Verlangen Sie ausführliche Unterlagen bei:

**Wehrle System AG**  
Betriebseinrichtungen, 9230 Flawil, Telefon 071 / 83 31 11

Aus unserem Programm

- Vollwandgestelle
- Palettengestelle
- Garderobenschränke
- Rohrgestelle
- Kabelrollenstände
- Verschiebeanlagen elektronisch gesteuert

**WEHRLE**  
**SYSTEM**

# Störi

an der SWISS-BAU Basel 2.-6. Februar 1983  
Halle 15 / Stand 365

Das vollständige Geräteprogramm  
für Elektroheizung und  
Warmwasserbereitung

STÖRI & Co. AG  
Qualitätsfabrikate für die  
Elektrische Raumheizung  
und die Wasserbereitung  
8820 Wädenswil  
Telefon 01 - 780 77 33

	Elektro-Bodenheizung und Direktheizgeräte	Einzelpeicher schmalste Ausführung	Feststoff-Zentral Zentralspeicher	Wasser- Zentralspeicher	Wochenendspeicher NEU!	Wärmepumpen monovalent	Wärmepumpen bivalent	Elektro- Wandboiler	Elektro- Stehboiler	Kombiboiler für Alternativenergien	Wärmerück- gewinnungsanlagen
STÖRI-Elektroheizung	X	X	X	X	X		X X				X
STÖRI-Wärmepumpen								X X	X X	X X	X X
STÖRI-Warmwasserbereitung							X			X X	X X
STÖRI- Alternativenergienutzung											

**Gutschein**

Bei Vorweisen dieses Inserates  
erwartet Sie am Störi-Stand eine kleine Überraschung!

## Sie kennen AGRO? Kennen Sie aber auch ihr umfassendes Sortiment an Kabelverschraubungen?

- aus Messing, Chromstahl und Kunststoff
- mit Panzergewinde kurz oder lang, Gasrohrgewinde, metrischem Gewinde, amerik. NPT Gewinde, konisch & zylindrisch
- mit durchgehender Vollsichtisolation .60
- für Kabel von 2 bis 90 mm Durchmesser
- mit Mehrfach-Kabeldurchführungen
- mit Vollgummi für individuelle Bohrungen
- kaltebeständig bis -40° C, wärmebeständig bis +300° C
- druckgekapselt für explosions sichere Anlagen
- öl-, laugen-, meerwasser- und brackwasserbeständige Ausführung
- für flache, runde, armierte- und abschirmumflochtene Kabel
- mit Knickschutztülle, Trompete und Zugentlastungsbride
- Backenverschraubungen, Winkel- und Ypsilon-Abzweiger

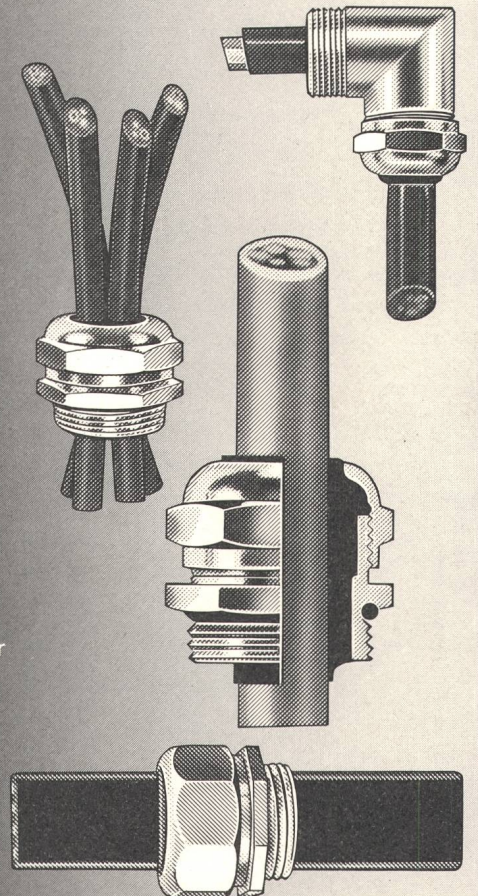
Zur Lösung Ihrer Anschlussprobleme stehen Ihnen unsere Anwendungstechniker jederzeit zur Verfügung. Ein Anruf genügt.

Verkauf durch VLE-Grossisten oder direkt durch

# AGRO

AGRO AG  
5502 Hunzenschwil  
Tel. 064/47 21 61

Ihr Spezialist für Kabelverschraubungen, Kabelschutzhäute, Nippel  
und Bauteile für Elektroinstallationen.



mènes visibles du passé et non pour une analyse détaillée.

Les phénomènes particuliers sont considérés comme des perturbations dont l'influence est exclue autant que possible par le calcul quand on peut prendre comme base une période sans perturbation qui soit suffisamment longue.

Les mathématiques apportent une aide, dans ce sens qu'elles décrivent, sous forme de formules, des courbes auxquelles on a donné la préférence: la tendance linéaire est certes la plus simple à employer; mais elle n'est pratiquement pas utilisée dans la pratique (à cause de sa validité limitée); on se sert plus souvent de la forme exponentielle de la tendance; on emploie souvent la courbe logistique. Il est évident que, pour toutes les courbes, la durée de la période couverte par la prévision est déterminée par l'objectif lui-même.

Les valeurs du passé et les valeurs prévisionnelles sont presque toujours représentées sous forme de graphique; c'est en effet visuellement que la continuité supposée peut être le mieux vérifiée.

On devrait toujours se poser la question de savoir si une valeur peut être décomposée en secteurs et si ces secteurs seraient plus faciles à étudier et à extrapoler. Une telle démarche est plausible lorsqu'on pense à la consommation d'électricité des secteurs domestique et industriel.

### 1.3 Lissage exponentiel

A partir d'une série temporelle  $X$  échantillonnée à intervalles de temps réguliers, on cherche à prévoir les valeurs de cette variable au-delà du temps présent  $T$ . La technique de lissage exponentiel est une technique possible pour répondre à ce problème. Il existe différents types de lissage exponentiel.

#### Le lissage exponentiel simple

La prévision  $P$  est une valeur indépendante de l'horizon de prévision et est une fonction des  $n$  dernières observations

$$P = (1-a)(ax_{T-1} + a^2x_{T-2} + \dots + a^nx_{T-n})$$

$a$  est une constante comprise entre 0 et 1 et est appelée la constante de lissage. L'influence du passé sur la prévision décroît exponentiellement quand on s'éloigne de la date  $T$ . D'autre part, plus la constante de lissage est proche de 1, plus l'influence des observations passées remontera loin dans le temps -

et plus la prévision sera rigide; au contraire, plus la constante est proche de zéro, plus la prévision sera souple, c'est-à-dire influencée par les observations récentes. Cette technique est simple d'emploi car on démontre que la prévision faite à l'instant  $T$  peut être exprimée très simplement à l'aide de la prévision faite à l'instant  $T-1$  et de l'observation faite à l'instant  $T$ .

#### Le lissage exponentiel double

On a vu que la méthode du lissage exponentiel simple est adaptée au cas où la série peut être ajustée à une droite horizontale au voisinage de  $T$ . Une façon naturelle de généraliser cette méthode est de considérer que la série peut être ajustée à une droite non horizontale au voisinage de  $T$ . Il existe des formules de récurrence simples permettant d'actualiser les coefficients de cette droite au cours du temps.

#### Lissage exponentiel généralisé

On cherche ici à ajuster au voisinage de  $T$ , une fonction plus compliquée qu'une fonction affine (en particulier des fonctions ayant une composante périodique pour pouvoir traiter les séries saisonnières).

#### Lissage exponentiel de Holt-Winters

La méthode de Holt-Winters sans saisonnalité part, comme la méthode de lissage exponentiel double, de l'hypothèse d'un ajustement, au voisinage de  $T$ , d'une droite non horizontale. Ici, la généralisation porte directement sur la formule de mise à jour des coefficients de la droite pour lesquels on dispose de deux paramètres au lieu d'un seul. De ce fait, cette méthode est évidemment à priori plus flexible que la technique de lissage exponentiel double. En contrepartie, il est plus difficile de choisir deux paramètres qu'un seul. Dans la méthode saisonnière, on ajoute en plus un facteur saisonnier (méthode additive) ou on multiplie par un facteur saisonnier (méthode multiplicative).

#### 1.4 Modèle autorégressif à gradins

Il existe des méthodes qui peuvent être écrites sous forme d'un simple programme d'ordinateur de telle sorte que les prévisions, correspondant à une série chronologique quelconque, peuvent être générées sans l'intervention d'un spécialiste. Ces procédures sont décrites dans la bibliographie référencée (New) comme étant «entièrement automatiques». L'existence

d'une méthode qui, mise sous forme d'une procédure entièrement automatique, permettrait à partir des données, de prévoir la forme du modèle, serait d'un grand intérêt.

L'objectif est de construire un modèle autorégressif pour décrire le comportement de séries données.

Soit une série  $W$ ; la valeur à l'instant  $t$  est exprimée à l'aide d'une fonction linéaire des valeurs précédentes de la série aux temps  $t-1$ ,  $t-2$ , ...,  $t-k$  et d'un terme d'erreur. La valeur de  $k$  détermine l'ordre du modèle autorégressif. L'importance d'une valeur passée, pour expliquer la valeur de la série à l'instant  $t$ , est donnée par le coefficient de niveau de signification qui agit de façon multiplicative sur la valeur passée.

Le modèle autorégressif à gradin est généralement utilisé pour des séries stationnaires et le problème le plus important est de déterminer l'ordre du modèle. Ce problème peut être résolu en utilisant la technique de la régression à gradin.

Une fois que le modèle convenable a été trouvé, les valeurs prévisionnelles peuvent être obtenues en extrapolant l'équation qui explique la série à l'instant  $t$ .

#### 1.5 Méthode Census X-11

«Census X-11» est une méthode pour décomposer, désaisonnaliser et prévoir les séries temporelles et constitue la dernière de nombreuses variantes visant chacune à l'améliorer.

La méthode se fonde sur l'hypothèse qu'une série temporelle originelle ( $O$ ) présente:

- une composante saisonnière ( $S$ );
- une composante de cycle-tendance ( $C$ );
- une composante des jours ouvrables ( $D$ ), représentée par les variations attribuables au nombre de lundi, mardi, etc. dans chaque mois particulier, si les jours de la semaine ont des poids différents;
- une composante accidentelle ( $I'$ ).

Les quatre composantes peuvent être reliées de manière soit multiplicative ( $O = S \times C \times D \times I'$ ) soit additive ( $O = S + C + D + I'$ ). En outre, la méthode peut mesurer les fluctuations saisonnières tant dans des séries mensuelles que dans des séries trimestrielles.

Nous nous référons à des séries temporelles mensuelles et au modèle multiplicatif.

La composante accidentelle ( $I'$ ) comprend

- les variations dues aux jours fériés, les grèves importantes, etc. que l'on peut éliminer moyennant des facteurs d'ajustement préalable ( $P$ ),
- des extrêmes ( $E$ ), qui peuvent refléter des réactions à des événements politiques inattendus, à des conditions atmosphériques non saisonnières, à des erreurs de mesure, etc.
- le résidu accidentel  $I'' = P \cdot E \cdot I' = E \cdot I$ .

Par des procédures itératives, la méthode estime les effets de la composante des jours ouvrables; ensuite, afin de parvenir à des estimations fiables des composantes saisonnières, de cycletendance et accidentelle, la série originale est ajustée aussi bien par les facteurs d'ajustement préalable  $P$  que par la composante des jours ouvrables et, en outre, est modifiée pour réduire l'effet des valeurs extrêmes ou quasi-extrêmes.

### 1.6 Modèle ARIMA

A partir d'une série chronologique d'une variable  $X$  échantillonnée à intervalles de temps réguliers, on cherche à prévoir les valeurs de cette variable au-delà du temps présent  $T$ .

Dans ce but, la détermination d'un Modèle ARIMA comprend les étapes suivantes:

- l'identification qui consiste à définir la structure du modèle linéaire qui pourra être utilisé pour décrire le phénomène qui est à l'origine de la série chronologique,
- l'estimation qui consiste à calculer les valeurs optimales des différents paramètres utilisés dans le modèle. Cette optimisation est généralement réalisée en minimisant la somme des carrés des valeurs résiduelles,
- la validation qui consiste à vérifier si le modèle est correct ou non. Pour cela il faut vérifier que tous les paramètres estimés sont statistiquement significatifs et qu'ils sont en nombre suffisants,
- la prévision, lorsqu'un modèle satisfaisant a été obtenu. Le même modèle peut également être utilisé pour expliquer le passé.

Cette technique apparaît très puissante a priori pour les prévisions à court terme (c'est-à-dire prévision à quelques pas); à plus long terme il faut faire preuve de plus de prudence car la variance de la prévision augmente très rapidement après quelques pas. Il faut mentionner que la plupart des méthodes de lissage exponentiel apparaissent comme des cas particuliers des modèles ARIMA. Enfin, il faut noter

que cette technique est relativement sensible à la présence des données anormales.

### 1.7 Les processus de Markov

Les processus markoviens, considérés dans les conditions d'état stable, sont utilisés dans ce modèle, pour obtenir une prévision probabiliste à long terme de la pointe de charge journalière.

L'année de prévision est divisée en périodes pendant lesquelles le comportement de la pointe de charge journalière est pratiquement stationnaire au sens statistique.

La construction du processus markovien de la demande de puissance commence par un traitement approprié des données concernant une période pluri-annuelle du passé choisie comme référence. Pour comparer les valeurs de pointe atteintes dans la même période de l'année mais pour des années différentes, il faut opérer sur des valeurs relatives plutôt que sur des valeurs absolues, en considérant la «pointe relative de charge» (p.r.c.) de chaque jour de la période, définie comme le rapport entre chaque pointe de charge journalière et la charge moyenne des jours compris dans la période de l'année considérée.

Cinq phases successives ont été prévues pour parvenir au processus markovien de la prévision de la demande de puissance:

- la première phase consiste à examiner le comportement passé de la pointe de charge au moyen des p.r.c., établissant ainsi la courbe de probabilité des variations  $v$  entre les p.r.c. et leur valeur moyenne;
- dans la deuxième phase, étant donné l'incertitude concernant la valeur moyenne des p.r.c. pour l'année de prévision, la prévision de cette valeur est représentée par une variable aléatoire  $r$ , qui est déterminée pour chaque période de l'année de prévision;
- dans la troisième phase, pour chaque période, on détermine la somme des variables aléatoires  $v$  et  $r$ , somme qui représente la prévision de la distribution des p.r.c. dans l'année de prévision;
- dans la quatrième phase, on détermine pour chaque période la prévision de la charge moyenne des jours de la période, représentée par une variable aléatoire;
- dans la cinquième phase, la distribution probabiliste de la prévision des «pointes relatives de charge» pour

l'année-objectif (troisième phase) est combinée avec la distribution probabiliste des charges moyennes des jours de la période (quatrième phase), afin d'obtenir, pour chaque période, la distribution probabiliste des pointes de charge journalières.

Les courbes de probabilité correspondantes, relatives à chaque période, présentent des caractéristiques différentes, au point de vue aussi bien du champ de variation que de la configuration. Les champs de variation ci-dessus, en effet, dépendent des différents champs à la pointe, chacun typique d'un secteur d'utilisateurs (alimentation à HT, MT, BT ou ménages, secteurs industriels, etc.). La prévision peut tenir compte de l'éventuelle évolution future du poids (en termes de consommation d'énergie électrique) des différents secteurs d'utilisateurs.

## 2. Méthodes causales

Les méthodes causales comprennent la classe des méthodes formelles quantitatives. Elles utilisent des données qui sont collectées et analysées de façon systématique. Les modèles reposent sur des données quantitatives du passé.

Les méthodes causales utilisent plusieurs séries chronologiques. Le modèle est basé sur les relations entre l'information à prévoir ou à décomposer et les autres informations. Ces méthodes sont aussi appelées méthodes multivariées.

### 2.1 Calcul par la régression

On sait généralement très bien que la quantité d'énergie électrique consommée dépend d'un certain nombre de facteurs d'influence. Cette dépendance est déterminée tout d'abord par différents faits, par exemple par la structure économique du secteur approvisionné (présence combinée des secteurs domestique, industriel, commercial, professionnel, administratif, agricole et de transport) et par la situation géographique.

Une comparaison approximative des chiffres permet toutefois déjà de constater pour un certain secteur d'approvisionnement que la consommation est influencée par différents éléments, par exemple par les conditions atmosphériques et par la conjoncture. Ces facteurs d'influence sont certes qualitativement connus; ils doivent toutefois être définis quantitativement. C'est là un exemple véritablement

classique pour l'application de l'analyse par régression.

L'analyse par régression est une méthode permettant de dégager des corrélations et de les définir quantitativement. La disposition mathématique des données doit être choisie en fonction de la connaissance ou de la corrélation supposée. Il est dans tous les cas recommandé d'étayer les calculs par un graphique (ce sont souvent les graphiques qui mettent en évidence certaines sources d'erreurs). Le calcul repose sur le principe des moindres carrés.

Des éléments d'influence négligés, une simplification de la disposition des données, des cas exceptionnels et autres sont autant de portes ouvertes qui permettent au hasard d'entrer dans le processus ou dans son analyse. Plus les observations utilisées sont nombreuses et mieux les erreurs peuvent être compensées et plus grande est en conséquence la précision du résultat. Le coefficient de corrélation peut être calculé comme l'élément permettant d'apprécier cette précision.

## 2.2 Indices d'anticipation

Une économie nationale globale présente diverses formes typiques de croissance avec un certain degré d'instabilité plus ou moins grand. Une économie instable est caractérisée par des fluctuations cycliques de l'activité économique globale, à court ou à long terme, avec des phases successives de croissance et de récession d'amplitudes diverses et des points (ou zones) de retournement.

L'étude des relations temporelles entre des séries chronologiques économiques importantes met nettement en évidence que certaines séries chronologiques tendent régulièrement à devancer les points de retournement de l'activité économique globale et d'autres à leur succéder.

Les prévisions concernant l'activité économique globale peuvent être utilisées dans le but d'estimer le niveau futur des ventes d'une industrie particulière, l'énergie électrique n'y fait pas exception. La disponibilité croissante des données statistiques concernant les séries chronologiques économiques facilite cette tâche.

Parmi les diverses méthodes de prévision, la méthode analytique - mettant en œuvre des modèles économétriques complexes - introduit des hypothèses concernant les relations causales entre les facteurs qui influencent

chacune des principales composantes du PNB.

Si on peut trouver une ou plusieurs séries chronologiques dont les changements cycliques ont régulièrement anticipé les points de retournement de l'activité économique, on peut alors introduire ces indices statistiques dans un modèle économétrique en vue de déterminer à l'avance les points de retournement des variables choisies.

Les séries chronologiques statistiques, qui ont manifesté une tendance concrète et persistante à anticiper les points de retournement de l'activité économique globale tant pour les pointes que pour les creux, s'appellent «indices d'anticipation».

Ces indices (que l'on trouve dans la bibliographie américaine) semblent être: le passif qui résulte des faillites commerciales, les cours des actions, les nouvelles commandes de biens durables, les contrats de construction d'habitations, les contrats de construction d'immeubles commerciaux et industriels, le nombre d'heures de travail hebdomadaire, la création de nouvelles sociétés et certains prix de gros.

Les méthodes de prévision basées sur le concept d'indices d'anticipation utilisent toute une diversité de raffinements au cours du déroulement des modèles économétriques. Ces modèles conviennent le mieux pour des prévisions de charge totale, à l'horizon de quelques mois.

## 2.3 Indice de diffusion

Cette méthode n'est pas complètement différente des indices d'anticipation. Il n'existe pas de série d'indices d'anticipation présentant une avance constante par rapport à chacun des points de retournement de l'activité économique globale. Un aspect plus important est qu'il existe une relation persistante entre des groupes de séries chronologiques.

Si on prend un grand nombre de séries chronologiques pour différentes variables et on note le pourcentage du nombre total de variables qui sont croissantes chaque mois, on obtient une valeur appelée «indice de diffusion».

Le critère de 50% de l'indice de diffusion est utilisé pour prévoir si l'activité économique globale approche d'un point de retournement. Si l'indice de diffusion atteint une pointe ou un creux (au-dessus ou au-dessous de 50%), l'activité économique globale commencera respectivement à croître ou à décroître.

Sans être un dispositif de prévision infaillible, l'indice de diffusion est néanmoins une technique qui vaut la peine d'être plus approfondie et affinée. Pour en apprécier sa valeur, il faudra également tenir compte des retards constatés dans la publication d'un grand nombre de séries chronologiques.

Dans divers secteurs industriels, des spécialistes expérimentent actuellement des techniques de prévision basées sur l'indice de diffusion. L'indice de diffusion est adapté aux mêmes objectifs que ceux des indices d'anticipation.

## 2.4 Modèles économétriques de l'énergie

Suivant un processus logique-déductif, la théorie économique essaie de définir les liaisons générales entre les variables économiques, sans spécifier le type de dépendance fonctionnelle entre elles et en indiquant, tout au plus, leurs caractéristiques qualitatives.

L'économétrie, en revanche, a pour but de déterminer les relations spécifiques entre les variables dans des conditions données d'espace et de temps. La forme mathématique-probabiliste des relations est choisie sur la base soit d'arguments «a priori», suggérés par la théorie économique, soit de résultats d'études précédentes. Les paramètres des relations, par contre, sont déterminés à l'aide de l'induction statistique à partir des données empiriques. L'économétrie actuelle, en effet, suggère des procédures d'application des méthodes de l'induction statistique aux données économiques.

Les modèles économétriques peuvent être à une seule équation ou à un système d'équations. Les variables dans le modèle peuvent être endogènes et exogènes. Les variables endogènes sont celles dont les valeurs doivent être expliquées par le modèle. Les variables exogènes sont celles dont les valeurs sont déterminées par des facteurs externes et ne sont pas influencées par les phénomènes économiques considérés dans le modèle.

Dans les modèles économétriques de l'énergie, les variables énergétiques sont des variables endogènes. Les objectifs principaux de ces modèles comprennent, d'une part, l'explication du comportement des variables énergétiques dans la période à laquelle se rapportent les données et, d'autre part, la prévision de leur évolution future.

Avant la crise énergétique en 1973, le contexte énergétique et économique était marqué par un marché de l'énergie très cloisonné, spécialement entre les combustibles traditionnels et l'électricité, ce qui permettait des prévisions séparées de ces types d'énergies. Après la crise, il est devenu opportun à moyen terme et nécessaire à long terme de tenir compte du contexte des différentes sources d'énergie pour parvenir à des estimations fiables de la demande future d'énergie électrique.

### 2.5 Le modèle MEDEE

Le modèle MEDEE (Modèle d'évolution de la demande d'énergie) a été conçu pour la prévision à long terme de la demande d'énergie; on entend par «long terme» un horizon temporel suffisamment éloigné afin que les changements structurels, ayant lieu aujourd'hui, manifestent pleinement leurs effets. Pour tenir compte de ces changements, la structure du modèle est plus souple que celle des modèles traditionnels, et notamment des modèles économétriques.

Cette méthode se situe entre les approches de l'analyse de l'énergie et les techniques économétriques. Les secteurs de l'économie (industries lourdes, chauffage de locaux, etc.) qui présentent les consommations les plus élevées sont soumis à une analyse très détaillée, tandis que, pour les autres secteurs, non analysés en détail, une prévision économétrique est effectuée.

Le modèle se fonde essentiellement sur les méthodes de l'analyse de système et sur la méthode des scénarios. En effet, comme il arrive en général dans l'analyse de système, l'objet de l'étude (dans le cas présent, la demande d'énergie) est inséré dans un contexte plus ample (système socio-économique). Effectivement, la demande d'énergie est déterminée par les activités économiques et par la satisfaction de besoins sociaux.

En outre, le système socio-économique est décomposé en sous-ensembles ou modules; chacun de ceux-ci est homogène, aux fins de la demande d'énergie présente et future, aussi bien sous l'aspect de l'ensemble des besoins socio-économiques ou des activités économiques représentées, qu'aux points de vue technologique, physique et économique. Les modules sont considérés dans un schéma hiérarchisé, dans lequel chaque niveau de la hiérarchie correspond à différents degrés d'agrégation des modules. L'objet de cette analyse est de mettre en évi-

dence et de formaliser les mécanismes de formation et d'évolution de la demande d'énergie des différents modules et, au fur et à mesure, de celle du système socio-économique dans son ensemble. A cet effet, on définit tant les principaux facteurs ou «déterminants directs» qui déterminent, à un moment donné, le niveau et la structure de la demande d'énergie du module, que les principaux facteurs ou «déterminants indirects» et les principales relations qui expliquent l'évolution des déterminants directs et, par conséquent, celle de la demande d'énergie.

Les déterminants directs sont, par exemple dans le cas de la sidérurgie, la quantité d'acier produite (déterminant économique), les consommations spécifiques et les rendements des équipements (déterminants technologiques). Les déterminants indirects peuvent être spécifiques des modules ou externes aux modules. Les déterminants externes aux modules sont caractéristiques des différents niveaux de la structure hiérarchique et les relations entre eux sont des relations de dépendance ou de causalité pour ceux situés à des niveaux hiérarchiques différents et des relations associatives pour ceux au même niveau. Les déterminants indirects externes aux modules, situés au niveau supérieur de la hiérarchie, sont, par exemple, le taux de croissance de l'économie, la structure de l'économie, le niveau et la distribution des revenus, etc.

On a déjà noté que le modèle Medee s'inspire des procédures de l'analyse de système, brièvement illustrées jusqu'ici, ainsi que de la méthode des scénarios.

Dans le modèle, les éléments du scénario sont tous des déterminants dont on ne peut expliquer ou formaliser l'évolution, c'est-à-dire tous les déterminants dont l'évolution ne peut être reliée de façon causale à celle d'autres déterminants.

Etant donné que les déterminants indirects sont structurés de manière hiérarchique, chaque relation hiérarchique entre deux déterminants se traduit par une relation d'ordre entre les hypothèses effectuées sur ces déterminants (ou les indicateurs qui les caractérisent). Ce procédé introduit, par construction, une certaine garantie de cohérence dans le scénario.

### 2.6 Modèle d'entrée/sortie

Le modèle d'entrée/sortie vise à fournir des instruments de travail pour prévoir le développement économique

d'espaces économiques fermes (par exemple régions, entreprises). Il indique tout d'abord, dans le tableau d'entrée/sortie, les interdépendances de l'approvisionnement et des fournitures au sein de la zone économique ainsi que les transactions de la zone économique avec le marché environnant. La structure définie pendant la période choisie est alors projetée dans l'avenir.

Les éléments figurant dans le tableau de base établi à partir de documents statistiques sont des valeurs exprimées en monnaie nationale par unité de temps, elles ont été calculées par exemple en multipliant la quantité par le prix. Chacun de ces éléments indique dans quelle mesure une certaine entrée a contribué à engendrer une certaine sortie. La dernière colonne renseigne sous forme de totaux sur la répartition de la sortie globale entre les différents fournisseurs. A la dernière ligne figure la répartition de l'entrée de toute la zone économique (= sortie globale) entre les différents clients.

On indique tout d'abord, sous forme habituelle de tableau, les fournisseurs et les clients internes de sorte que l'on voit apparaître dans le quadrant I l'interdépendance des prestations préalables des secteurs de production. Viennent ensuite le quadrant II = secteurs de production / demande finale et le quadrant III = entrées primaires / secteurs de production. Les courants extérieurs figurent dans le quadrant IV.

L'étape suivante est le calcul des coefficients d'entrée définis par standardisation (division des cases par le total figurant dans la colonne correspondante) ainsi que la participation de toutes les entrées au travail d'un certain secteur. Les coefficients de sortie sont calculés de façon analogue et indiquent alors la participation relative des sorties qui ont été fournies aux différents secteurs.

Des tableaux chronologiques permettent une description différenciée de changements structurels dans le domaine de la production et de la demande. Il est tenu compte de ces changements pour calculer la valeur de chaque case pour une demande préfixée de façon autonome. La comparaison chronologique des coefficients d'entrée fournit des indications sur des modifications techniques possibles.

### 2.7 Modèle dynamique

Les modèles dynamiques recherchent pour les «systèmes» intégrés à



boucle fermée la nature de l'information contenue dans la boucle de rétroaction et sont utilisés pour la conception d'une forme d'organisation perfectionnée et l'établissement d'une politique directrice. Les systèmes dynamiques facilitent la compréhension des caractéristiques à comportement complexe mieux que si l'on observait un système réel.

De ce point de vue ils ressemblent plus aux modèles des systèmes d'ingénierie qu'à ceux des autres disciplines. Il est possible de formuler des modèles dynamiques de comportement industriel pour faire face aux interactions des facteurs physiques et psychologiques.

La structure d'un modèle dynamique est principalement basée sur des informations descriptives déjà disponibles et est représentée alternativement par des «niveaux» et des «flux». Les niveaux déterminent les décisions qui contrôlent les flux, et les flux, ou directives politiques, provoquent des modifications dans les niveaux.

Le réseau d'informations constitue le tissu d'interconnexion qui est superposé et relatif au réseau des variables physiques. Un ensemble d'équations de niveau et de flux représente le système de boucle de retour d'informations et nous dit comment seront générées les conditions du système pour un nouveau point compte tenu des conditions connues du point précédent. Ainsi l'ensemble des équations qui constituent un système récursif d'équations aux différences du premier ordre est calculé à des intervalles de temps successifs point par point, pendant le tracé de la séquence chronologique du fonctionnement du système.

DYNAMO est un langage d'ordinateur spécialisé, qui génère un code pour le fonctionnement du modèle ainsi simulé. En sortie, les données recherchées sont classées et des graphiques sont tracés. On peut ainsi voir que le comportement du modèle du système (à savoir la stabilité, les périodes et l'amplitude des fluctuations du système, et les relations temporelles entre les variables) ne prédit pas la situation du système réel à un instant donné prévisionnel, mais fait apparaître les caractéristiques de performance (structure, politique, amplification et retards) associées au système réel.

Une procédure de prévision peut être incorporée au modèle dynamique par le jeu d'équations de décisions. Celles-ci permettent une plus ample compréhension du système, et pré-

sent comment le futur comportement dépend des hypothèses faites et de la politique suivie. En conséquence ces modèles sont particulièrement adaptés pour l'établissement d'une politique à long terme d'une entreprise, et ne peuvent être utilisés en tant qu'outil à usage quotidien.

### 2.8 Modèles de fonction de transfert

On dispose de deux séries chronologiques  $X$  et  $Y$  échantillonnées à intervalles réguliers et on suppose que la variable  $X$  est explicative de la variable  $Y$  (l'inverse étant supposé faux). On cherche à prévoir les valeurs futures de  $Y$  en utilisant les informations disponibles de  $X$ .

Le principe de la méthode des fonctions de transfert est d'exprimer la variable  $Y$  à l'aide de la variable  $X$  et d'un terme complémentaire qui représente la part de  $Y$  non expliquée par  $X$ . Cette technique est particulièrement intéressante lorsque les variations de  $X$  anticipent la variation de  $Y$ . Cependant, au-delà d'un certain horizon de prévision il est nécessaire d'établir des prévisions pour la variable  $X$  elle-même. Pour cela, on applique à la série  $X$ , les méthodes habituelles relatives aux modèles ARIMA univariés décrits dans un chapitre précédent.

Les différentes étapes de détermination d'une fonction de transfert sont les mêmes que dans les cas d'un modèle ARIMA (identification, estimation, validation, prévision), mais il faut mentionner que la détermination correcte d'une fonction de transfert est beaucoup plus difficile que dans le cas d'un modèle univarié ARIMA.

On remarquera finalement que la structure d'une fonction de transfert est très rigide, car les paramètres de la fonction sont constants dans tout le domaine des données considérées.

### 2.9 Modèle de séries chronologiques multiples

Dans de nombreux problèmes concernant les séries chronologiques, les données peuvent être utilement liées à plusieurs autres variables. Par exemple, dans l'étude de la demande d'électricité, on peut avoir des données se rapportant à des variables météorologiques ou des index de l'activité des affaires.

Un groupe de chercheurs du Département des Statistiques de l'Université du Wisconsin ont développé une méthodologie et un ensemble de programmes permettant de modéliser des séries chronologiques multiples. Une

telle méthodologie englobe la relation dynamique ou fonction de transfert qui apparaît ainsi comme un cas particulier. Elle permet des relations de rétroaction parmi les séries.

L'objectif est de construire des modèles de séries chronologiques multiples afin de modéliser et analyser simultanément plusieurs séries chronologiques. Le but ici est de construire un modèle qui transforme une série chronologique de vecteurs en un vecteur de bruit blanc.

Les modèles utilisés par le Groupe du Wisconsin sont une généralisation naturelle de ceux formulés par *Box* et *Jenkins* en considérant une série chronologique de vecteurs à la place d'une simple série chronologique, un vecteur de bruit à la place d'un simple bruit et une matrice de paramètres à la place de simples paramètres dans le polynôme d'opérateur arrière.

Le procédé de sélection de modèle est itératif de nature et comprend trois étapes principales:

- essai de spécification (identification)
- estimation
- contrôle de diagnostic

La prévision est effectuée simultanément pour toutes les séries.

Les raisons d'utilisation de modèles de séries chronologiques multiples sont:

- de comprendre la relation dynamique entre les différentes séries,
- d'améliorer la précision des prévisions,
- d'obtenir de meilleurs résultats dans l'intervention d'analyse, l'ajustement saisonnier et le lissage.

### 2.10 Analyse d'intervention

Il a été mentionné dans un autre résumé, que les modèles ARIMA sont très sensibles à l'hétérogénéité des données. Pour venir à bout de cette difficulté on peut proposer la technique de l'analyse d'intervention; son principe est, de manière simplifiée, de ramener les situations anormales à ce qu'elles auraient dû être normalement. Elle apparaît aussi comme une généralisation des modèles de fonction de transfert, l'entrée étant constituée d'impulsions ou d'échelons.

Pour les personnes chargées des prévisions dans les entreprises productrices d'électricité, le problème de l'homogénéité des données est extrêmement important, du fait que la consommation d'électricité reflète, sur un plan temporel très fin, l'activité hu-

maine: vacances, grèves, programmes spéciaux de télévision... L'analyse d'intervention est une méthode possible pour traiter de telles situations.

## 3. Autres méthodes

Les autres méthodes sont généralement des méthodes qualitatives qui utilisent le jugement humain pour transformer l'information qualitative en estimation quantitative. Ces méthodes utilisent des collectes et des analyses systématiques de données statistiques ou d'opinions d'experts. Les autres méthodes comprennent aussi certaines méthodes utilisant simultanément des données qualitatives et quantitatives.

### 3.1 Recensement par Panel

Par la notion de Panel, on entend un type d'enquête dans lequel on sélectionne par sondages répétés le même échantillon représentatif de personnes que l'on saisit par la même méthode en ce qui concerne certaines données (consommation, saturation des appareils, etc.). La méthode de recensement est par exemple:

- l'observation (non usitée en économie électrique),
- les questionnaires,
- les interviews et le recensement direct.

Le recensement par Panel permet surtout de constater les changements du comportement et d'analyser les changements dans le domaine social examine un état réel et n'est donc pas une méthode de pronostic proprement dite. Les recensements périodiques permettent pourtant d'obtenir des séries temporelles qui peuvent être employées pour des pronostics à plus long terme grâce à d'autres procédés d'extrapolation (analogie historique, extrapolation des tendances, etc.).

La précision des sondages par Panel employés à des fins de pronostics dépend de la représentativité des personnes interrogées, surtout en ce qui concerne

- la catégorie de pouvoir d'achat et la distribution des âges,
- l'équilibre de la répartition régionale,
- le nombre de personnes interrogées.

Dans le domaine de l'électricité, le recensement par Panel se prête surtout à la détermination des données pour lesquelles une enquête complète serait trop coûteuse ou exigerait trop de personnel (par exemple l'étude sur la saturation des appareils; les caractéristiques pour les plus grands groupes de

consommateurs qui ne peuvent être mesurées par des dispositifs de comptage).

### 3.2 La méthode «DELPHI»

La méthode «DELPHI» n'est pas une méthode de prévision à proprement parler. C'est une technique d'organisation et de mise en ordre d'un jeu de prévisions. Elle a été conçue afin d'obtenir le plus fiable consensus d'opinions d'un groupe d'experts en les soumettant à une série de questionnaires approfondis et successifs, dans lesquels on introduit en retour des opinions contrôlées.

Dans la méthode «DELPHI» les questions, axées sur un sujet central, sont formulées par les expérimentateurs de manière à faire ressortir le raisonnement sur lequel est basée chaque réponse. Les opinions des juges indépendants (experts) sont sollicitées individuellement, les opinions des autres étant masquées pour éviter l'introduction d'influences néfastes. La confrontation directe classique des experts présente quelques inconvénients, tels que la formulation hâtive d'opinions préconçues, la tendance à rejeter des idées originales ou à s'aligner sur une thèse déjà soutenue, les prédispositions à être influencé par des opinions que les autres expriment avec persuasion, etc.

Par l'examen systématique des facteurs qui influencent le jugement de chaque expert, il est possible de corriger certaines idées initialement fausses et d'attirer son attention sur d'autres facteurs qu'il aurait pu omettre dans son analyse précédente.

Si le but de l'expérimentation est d'estimer une certaine valeur numérique (comme dans le cas de la prévision de la demande) et même si les opinions, initialement formulées, sont largement divergentes, les estimations individuelles feront apparaître une tendance à converger au fur et à mesure que se poursuit la succession de l'alternance des questions et d'opinions contrôlées introduites en retour.

On ne peut être sûr qu'en augmentant le nombre des itérations et des informations partagées par les juges, que les réponses finales coïncideront et qu'il y aura un avis unanime. Cependant, l'expérience tend à prouver qu'une convergence d'opinions relativement rapide peut être obtenue par la méthode «DELPHI».

Même si l'on n'arrive pas à une convergence absolue, on soutient au-

jourd'hui que le meilleur critère pour terminer une étude du type «DELPHI» est la stabilité plutôt que le critère d'accord complet.

### 3.3 Analogies historiques

Tout d'abord quelques messages: «La panne de la turbine a naturellement réduit la capacité de production de la centrale», «l'expansion constante de la production de l'usine a fait augmenter chaque mois la consommation de courant de la petite ville»; «la sécheresse prolongée a diminué le bénéfice de la société gérant la centrale.» Ces déclarations fournissent matière à réflexion: alors que la première information est claire, la deuxième passe sous silence que l'hiver avait également commencé et la troisième ne mentionne pas que la diminution du bénéfice est essentiellement due à la hausse des prix des combustibles.

Toute comparaison de faits ou d'évolutions fournit d'une part la possibilité de faire des déductions analogiques, mais permet d'autre part des interprétations erronées. On découvre des analogies en étudiant le comportement des faits réellement ou probablement corrélatifs. La tendance et la simultanéité (avec, éventuellement, une différence de temps régulière) de ce comportement peuvent être saisies comme étant explicables ou même inévitables. Certaines analogies sont évidentes en tant que causalités.

On devrait, à l'aide de graphiques, comparer le comportement de deux ou de plusieurs séries chronologiques quant aux trois critères:

- Tendance. Lorsqu'elle agit pendant un certain laps de temps, cette composante est à l'origine de l'allure ascendante, régulière ou descendante de la série. Des écarts par rapport au mouvement fondamental peuvent apparaître temporairement.
- Oscillation. On observe dans de nombreuses séries chronologiques un changement rythmique ou ondulatoire de la valeur considérée par rapport à la tendance fondamentale (les cycles économiques sont certes des oscillations ondulatoires présentant une très grande régularité; mais il leur manque toute périodicité fixe).
- Singularités. On entend par là, le groupe de phénomènes exceptionnels ou fortuits provoquant, d'une part des écarts momentanés et, d'autre part, des changements de la tendance. Citons ici, à titre

d'exemple, les guerres, les épidémies, les découvertes révolutionnaires, les grèves, les catastrophes naturelles.

La plupart des conclusions erronées sont dues au fait que l'on ne tient pas du tout ou pas suffisamment compte de variables fondamentales et que l'on accorde une trop grande importance à une cohérence apparente.

### 3.4 Recherche de marché

La méthode de recherche de marché est une étude de marché effectuée selon des critères scientifiques. Elle peut se partager en

- recherche primaire (enquêtes, observations),
- recherche secondaire (exploitation de statistiques, fichiers de clients, enregistrements de mesures, etc.).

Comme le nom le dit déjà, cette méthode s'emploie surtout pour l'étude des chances de débouchés et la planification des achats à long terme. Dans le domaine de l'économie électrique, il s'agit surtout d'examiner le comportement du consommateur à l'avenir et d'en déduire les besoins d'investissement pour la production et la distribution d'énergie électrique.

Suivant le type d'information cherchée, on fait une distinction entre l'étude éconoscopique du marché (fournissant des données économiques comme par exemple les participations au marché) et l'étude démoscopique (qui donne des données démographiques et subjectives comme les opinions des clients, leurs désirs, etc.).

En économie électrique, l'étude du marché est un procédé approprié en vue de déterminer l'évolution de l'équipement en appareils des ménages, des entreprises artisanales et du secteur tertiaire. Cela permet de tirer des conclusions sur la demande future de puissance et d'énergie.

### 3.5 Modèles de simulation

Des modèles de simulation permettent de simuler certains problèmes compliqués à l'aide de moyens relativement simples et d'essayer ainsi toutes les variantes ou solutions possibles. Les modèles de simulation peuvent effectuer la simulation au moyen de la technique analogique ou numérique.

La méthode de Monte Carlo est une variante fréquemment utilisée de programme de simulation. Elle est basée sur l'exploitation de sondages appropriés, grâce à des expériences statisti-

ques (appelées expériences aléatoires). La solution est généralement une valeur moyenne, ou bien une valeur attendue d'un ensemble statistique. La précision du résultat croît avec le nombre des sondages effectués.

La méthode de simulation de Monte Carlo se prête particulièrement bien à l'utilisation des ordinateurs à haute vitesse de calcul. Mais des calculatrices de poche modernes sont déjà équipées d'un générateur de hasard permettant de résoudre des problèmes simples à l'aide de la méthode de simulation de Monte Carlo.

Le domaine d'application dans le secteur de l'électricité est très étendu. Signalons par exemple la détermination des courbes de charge journalière typiques pour les ménages lorsque l'on connaît les appareils en service et la durée moyenne d'utilisation (calculs de simultanéité). Mais on peut également déterminer par avance, par exemple, la valeur de la réserve de production pour une sécurité donnée d'approvisionnement, en calculant la probabilité pour pratiquement toutes les combinaisons possibles, pour tous les cas de production.

### 3.6 Principe de succession

Les tâches de planification et de prévision de budget sont liées à deux sortes de problèmes primordiaux:

- rechercher les erreurs possibles, biais ou incertitudes,
- éviter d'entrer dans les détails excessifs.

Le principe de succession consiste en un double algorithme qui traite à la fois ces deux sortes de problèmes.

Le contrôle des erreurs permet d'obtenir des résultats qui approchent le futur de suffisamment près. Ce problème prend de plus en plus d'importance par suite des changements rapides et profonds dans le monde d'aujourd'hui et de l'étroitesse des marges qui peuvent être acceptées dans la prévision.

Eviter les détails excessifs est important parce que les planificateurs ont des contraintes de temps et de ressources et parce qu'il est nécessaire de disposer de différents projets et prévisions budgétaires avant de prendre des décisions. De plus, un projet moins détaillé est un meilleur moyen de communication et en outre, est plus adaptable en cas de changements.

Les algorithmes du principe de succession sont axés sur les erreurs possibles, les biais ou les incertitudes du projet. Toutes les sources importantes d'erreurs sont identifiées et écartées.

Leur effet possible sur le résultat final est alors quantifié.

Cet ensemble d'incertitudes, déterminé et quantifié, est un facteur clé dans le principe de succession. Il guide les planificateurs dans les efforts pour améliorer le projet et met en évidence les parties faibles du projet, apportant ainsi une sécurité totale pour ceux qui prennent la décision. Enfin, il constitue une valeur prioritaire pour la seconde partie du double algorithme.

La seconde partie de l'algorithme part d'une description précise du projet dans quelques secteurs principaux. Elle contient localement une description détaillée réitérée ou successive des secteurs les plus critiques. La valeur prioritaire d'incertitude, mentionnée ci-dessus, guide le planificateur dans cette recherche successive du «chemin critique».

L'algorithme est basé sur l'estimation de la moyenne et la variance des différentes valeurs du projet ou prévision. Les calculs à effectuer sont très simples. Les résultats guident l'utilisateur pour mettre en évidence les points essentiels de son travail.

Le principe de succession peut être utilisé en effectuant d'une façon systématique des prévisions à long terme ou d'autres prévisions basées sur l'utilisation des opinions des experts ou sur des données similaires.

### 3.7 Courbe logistique

On peut caractériser en général les phénomènes de croissance économique par une phase initiale de développement rapide suivie d'un développement stabilisé puis d'une tendance à atteindre une valeur limite asymptotique.

On peut essayer d'exprimer mathématiquement un tel processus économique par la courbe logistique en forme de

$$y = \frac{K}{1 + b \cdot e^{-at}}$$

La formule contient tout d'abord les deux variables  $t =$  temps et  $y =$  fonction cible, ainsi que trois paramètres. (Cette formule est cependant aussi utilisée sous une forme différente avec un nombre de paramètres accru.)

L'application de la formule est bien entendu critiquée, car l'évolution de la fonction cible ne permet pas d'établir de pronostic sur la croissance future; néanmoins, il peut être intéressant de suivre l'évolution des paramètres.

# Die wissen warum



Kommandoraum Therm. Kraftwerk ULSAN, Südkorea

Wer ein Kraftwerk baut, lässt sich nur durch Leistungen beeindrucken

- Kommando und Steuereinrichtungen
- Mittelspannungs-Schaltanlagen und Transformatorenstationen
- Niederspannungs-Verteilanlagen
- Montage, Inbetriebsetzung und Service
- Beratung und Engineering

## **ELECTRO TABLEAUX**

Längfeldweg 29  
2500 Biel 8  
Telefon 032 41 26 55



*Praktisch, günstig:*  
**Reka-Checks**

**reka**  
3001 Bern  
Telefon 031 22 66 33



Gummistecker und unzerbrechliches Plastikmaterial  
**Raccords en caoutchouc** et matières plastiques incassables

Demandez notre catalogue

Fabricant  
**F. BAILLOD S.A.**  
1, Place du Tricentenaire  
La Chaux-de-Fonds  
Tél. 039 / 26 72 74

## **Brandschutz mit Flammastik und Ignitect**



Das KBS-System ist universell einsetzbar: Brandabschottungen, Brandschutz für elektrische Kabelanlagen, Brandtrennwände. Alles EMPA-geprüft und fachgerecht verarbeitet. Verlangen Sie unsere ausführliche Dokumentation.

**Max Schweizer AG, Ahornstr. 21, 8051 Zürich, Tel. 01/40 26 26**



Ja, wir möchten mehr über das KBS-System wissen. Senden Sie uns unverbindlich Ihre Dokumentation.

Firma/Sachbearb. \_\_\_\_\_

Strasse: \_\_\_\_\_

PLZ/Ort: \_\_\_\_\_



# Ulrich Matter AG

## Elektrische Mess-und Regeltechnik

5610 Wohlen Telefon 057. 22 72 55 Telex 54 579

Sie nennen uns  
die Messgrösse

### MESS- UMFORMER

Wir liefern Ihnen  
das entsprechende  
Analogsignal, z. B.  
0-20 mA, 0-10 V



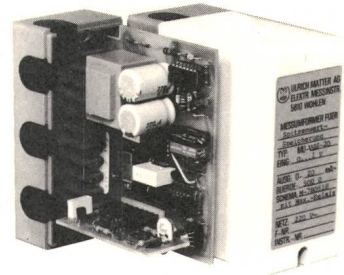
GOSSEN-Wechselstrom-  
Messumformer

Listenmässig für

- Starkstrom-Messgrössen
- Temperatur, Druck
- Drehzahl
- Trennverstärker
- Beleuchtungsstärke

einige kundenspezifische  
OEM-Ausführungen

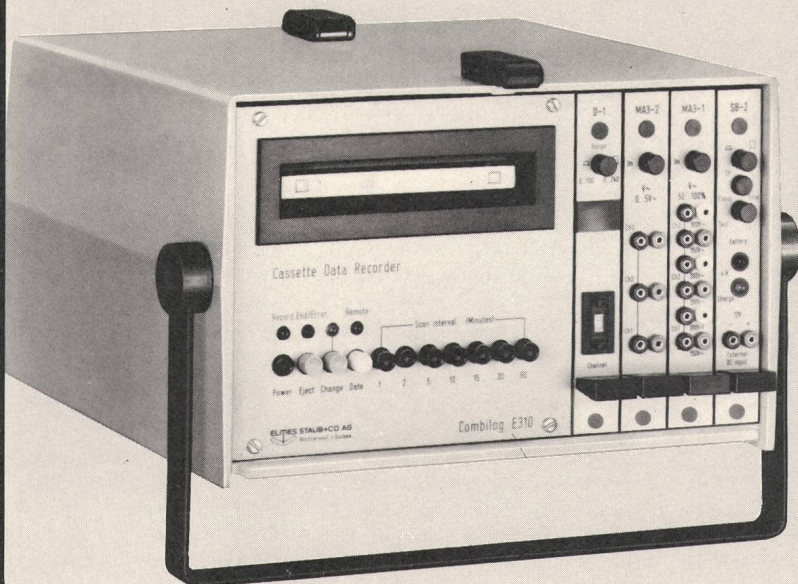
- Quotient
- Differenzfrequenz
- Digital/Analogwandler  
auf Europakarte
- Radiziereinheit
- Spitzenwert



MATTER Analog-  
spitzenwertspeicher mit  
Maximum-Relais

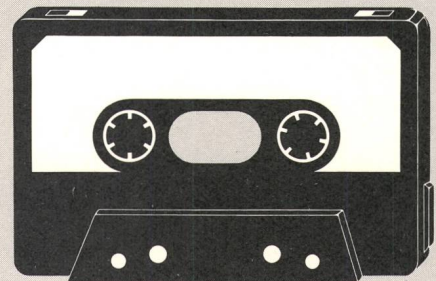
## ELMES 300 COMBILOG

### Das Registriersystem der Zukunft



- 1... 16 oder mehr Kanäle für direkte Aufzeichnung von Strom, Spannung, elektrischer Leistung, Oberwellen, Impulszahlen, Temperaturen und weiteren Messgrössen

- Hohe Wirtschaftlichkeit dank steckbaren Messeinschüben und handelsüblichen C-60 Kassetten als Datenträger



- Rasche, rechnergesteuerte Auswertung grosser Datenmengen – Darstellung als Grafik oder Tabelle

# ELMES STAUB+CO AG

Fabrik elektrischer Messinstrumente  
CH-8805 Richterswil/Schweiz  
Telefon 01 784 22 22, Telex 875525