

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 107 (1981)  
**Heft:** 10: SIA, no 3, 1981

**Artikel:** 12 ans d'énergie nucléaire aux NOK  
**Autor:** Froelich, Peter / Küffer, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74324>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

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

et le niveau élevé de l'industrie spécialisée, qui font que les ordures sont traitées à 94% dans des installations modernes (Tableau I).

Ce taux élevé permet à notre pays d'occuper dans le monde entier la première place, et de loin, en ce qui concerne le traitement des déchets urbains et industriels.

Cette année, les Journées de la Société suisse des ingénieurs et architectes se tiennent à Baden. Cette ville, qui est à l'origine de l'association intercommunale pour l'utilisation des ordures de la région de Baden-Brougg, a mis en train son installation d'incinération avec production d'électricité en 1970. Si l'on tient compte de la puissance plutôt modeste de l'usine, il faut reconnaître que la décision prise à l'époque (1967) peut être qualifiée de novatrice et prévoyante dans le domaine de l'utilisation de déchets (puissance de l'alternateur 6,2 MW).

Partout où l'on utilise une méthode de traitement adéquate, les déchets et les ordures ont perdu leur réputation peu engageante. Ils sont maintenant une source d'énergie nouvelle, préoccupation qui fait l'objet de recherches toujours plus intenses. Nous sommes heureux qu'une entreprise de notre région apporte sa contribution à cette technologie d'avenir.

Adresse de l'auteur:  
Théodore Ernst  
Widmer + Ernst SA  
5430 Wettingen

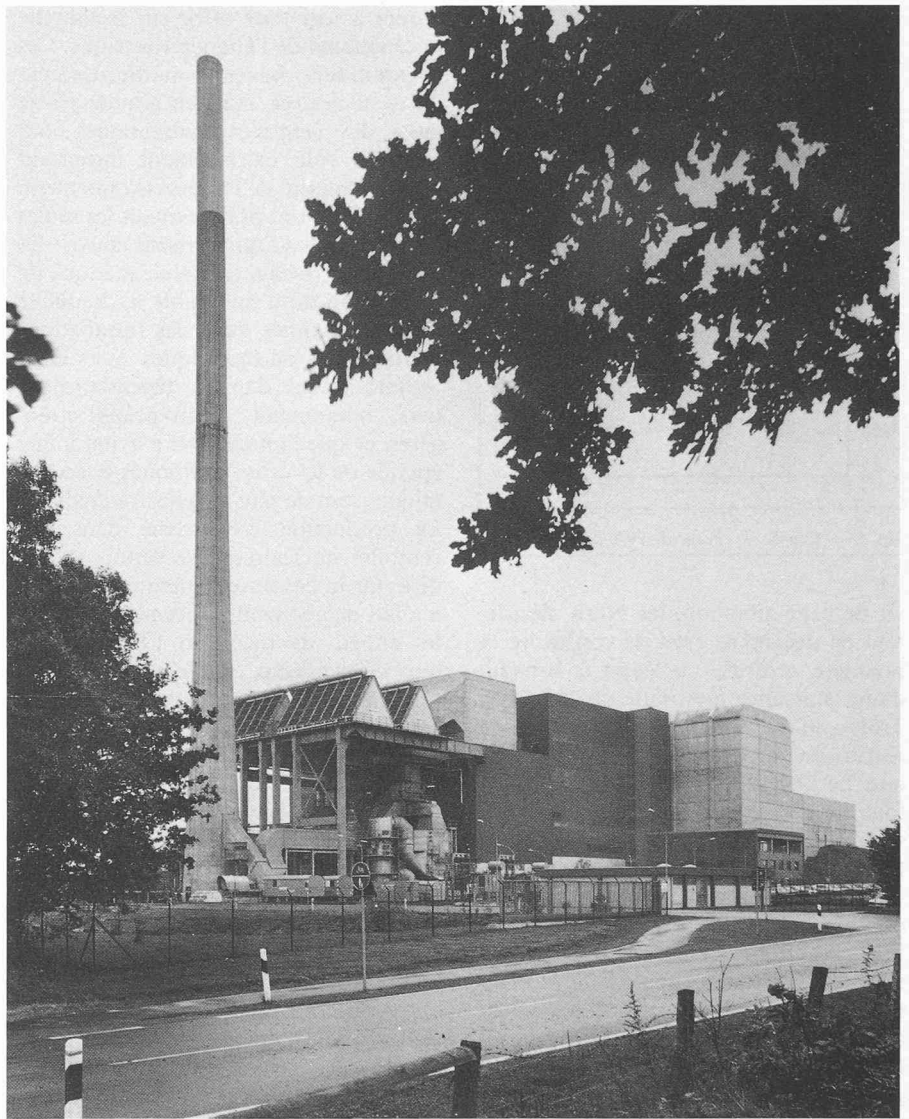


Fig. 5. — Centrale électrique à ordures de Hambourg.

## 12 ans d'énergie nucléaire aux NOK

par Peter Froelich, Baden, et Kurt Küffer, Beznau

### 1. Evolution de l'économie énergétique

La Société anonyme des Forces motrices du Nord-Est de la Suisse (NOK) est une entreprise de droit public qui réunit neuf cantons: Zurich, Argovie, Thurgovie, Schaffhouse, Saint-Gall, Appenzel Rhodes intérieures et extérieures, Glaris et Zoug. Elle approvisionne ces cantons en énergie électrique. Dans ce but les NOK produisent l'énergie électrique dans leurs propres centrales et se la procurent de centrales en participation, ainsi que d'autres entreprises électriques, en Suisse ou à l'étranger; elles transportent et distribuent l'énergie par leur réseau à haute tension jusqu'aux postes de livraison aux preneurs. Leur territoire couvre une popu-

lation d'environ 1,9 million d'habitants, soit 30% de la population globale de la Suisse.

L'accroissement de la consommation d'électricité sur le territoire desservi par les NOK est devenu extrêmement élevé de 1950 à 1965 et la consommation a doublé en moins de 10 ans. Dans ce même laps de temps, le développement des centrales hydrauliques en Suisse s'intensifie, non sans rencontrer des difficultés considérables et se heurter à de fortes oppositions contre les centrales électriques. Le développement des installations hydrauliques n'a pu satisfaire à l'augmentation constante de la consommation. Il en est résulté une dépendance toujours plus grande vis-à-vis des autres entreprises appelées à suppléer au déficit d'énergie. Ainsi, au dé-

but des années 60, la part de l'énergie achetée s'est élevée à 30-40%, atteignant même la moitié du mouvement total d'énergie pendant l'hiver 1962-63. Les NOK ont donc commencé tôt à envisager et à planifier la construction de plus grandes centrales thermiques, pour deux raisons: d'une part, les réserves hydrauliques, à long terme, n'allaient pas suffire à couvrir la demande en électricité; d'autre part, la production propre devait augmenter fortement pour assurer à l'avenir l'approvisionnement en électricité aux conditions les plus favorables. De plus, on disposait d'énergie de réglage, grâce aux nouvelles centrales, principalement des centrales à accumulation, alors que la production d'énergie en ruban s'avérait plutôt insuffisante.

Il avait été prévu initialement de construire une centrale thermique classique brûlant du combustible fossile, mais ce projet s'est heurté à une opposition considérable de la part de la population et des milieux de protection de la nature et du patrimoine national; la raison principale en était le danger pour l'environnement (pollution de l'air, etc.). Au

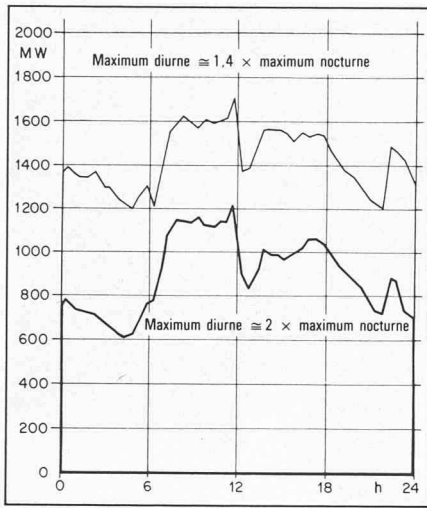


Fig. 1. — Courbe de charge de 1970 à 1980.

vu de cette situation, les NOK décidèrent en décembre 1964 de construire la première centrale nucléaire à Beznau, d'une puissance électrique de 350 MW. Trois années plus tard, il fut décidé de construire une deuxième centrale identique. Le 17 juillet 1969, pour la première fois, de l'électricité était fournie au réseau et la production commerciale de Beznau I a débuté le 24 décembre 1969, suivie le 15 mars 1972 de l'installation de Beznau II.

La mise en service de ces installations thermiques à haute capacité de production a amélioré considérablement la couverture des besoins. En premier lieu, la dépendance vis-à-vis des autres entreprises a diminué: l'apport extérieur s'est réduit progressivement jusqu'à moins de 10% du mouvement total d'énergie. Il faut noter que les nouvelles centrales hydrauliques ont aussi grandement contribué à cette diminution. Parallèlement la marge de manœuvre de l'énergie disponible augmentait aussi, et les NOK, alors dans l'obligation d'acheter,

purent à leur tour offrir sur le marché international de l'énergie électrique. Ces disponibilités, issues en partie des centrales nucléaires, mais en grande partie aussi des centrales hydrauliques, ont joué un rôle extrêmement important pour la sécurité de l'approvisionnement. En effet, ce sont pratiquement les seules réserves du pays qui puissent couvrir les besoins du réseau, en cas de manque de production dû à une faible hydraulicité ou à des pannes dans des installations hydrauliques ou thermiques. Sans elles, on retomberait dans la dépendance de tiers, notamment d'entreprises étrangères, ce que l'on cherche à éviter à une époque où les crises politiques et économiques sont de plus en plus fréquentes.

La production d'électricité dans nos centrales nucléaires dure depuis 10 ans déjà. Or le besoin en énergie électrique n'a fait qu'augmenter fortement: malgré les années de récession 1974-1975, le taux de croissance annuel moyen d'électricité est de 4%. La figure 1 illustre les courbes de charge respectives de 1970 à 1980 au jour de la plus forte demande. On constate une augmentation de 500 à 600 MW. La demande constamment accrue en électricité impose d'augmenter les possibilités d'approvisionnement à partir de centrales thermiques. Face à l'opposition à la construction de nouvelles centrales nucléaires, les NOK ont pu s'assurer une tranche de 90 MW auprès des centrales françaises de Fessenheim, ainsi qu'une participation de 230 MW à la centrale de Gösgen-Däniken. Ainsi, les NOK disposent aujourd'hui de 1020 MW permettant une production annuelle moyenne d'environ 7 milliards de kWh en énergie de ruban. Cela représente un peu plus de 50% du mouvement total d'énergie. De ces données, il ressort clairement que la production d'électricité n'est plus possible sans recours à l'énergie nucléaire.

L'insécurité du ravitaillement en pétrole, due à la crise politique, et les manipulations de prix de la part des pays producteurs amènent forcément une demande accrue d'autres agents énergétiques, notamment d'électricité. Le saut de consommation de courant noté l'hiver dernier illustre très nettement ce phénomène. Cette évolution ne cesse de préoccuper les entreprises électriques. En effet, le retard continu apporté au processus d'autorisation pour la construction de nouvelles centrales nucléaires conduit fatalement à une impasse sérieuse dans l'approvisionnement en courant: de plus en plus, ce sont les réserves en capacité de production qui assurent la couverture normale des besoins, alors qu'on ne dispose d'aucune réserve de remplacement.

## 2. Production et facteurs de charge

Les résultats d'exploitation et les facteurs de charge<sup>1</sup> sont représentés dans le tableau 1.

Cette production d'électricité a été atteinte avec un facteur de charge moyen de 78,6%; cela représente un résultat d'exploitation excellent, bien au-dessus de la moyenne, puisque la moyenne des facteurs de charge pour des centrales nucléaires semblables dans les pays occidentaux s'élève à 61,8%.

Il n'est pas facile d'évaluer les résultats d'exploitation d'une centrale nucléaire et de les comparer à d'autres centrales nucléaires; différents facteurs entrent en jeu. Pour situer en gros Beznau I et II parmi les centrales nucléaires des pays occidentaux, nous mentionnerons les valeurs respectives du facteur de charge dans ces centrales.

<sup>1</sup> Le facteur de charge est le rapport, exprimé en %, de la production d'énergie effective à la production théorique maximale

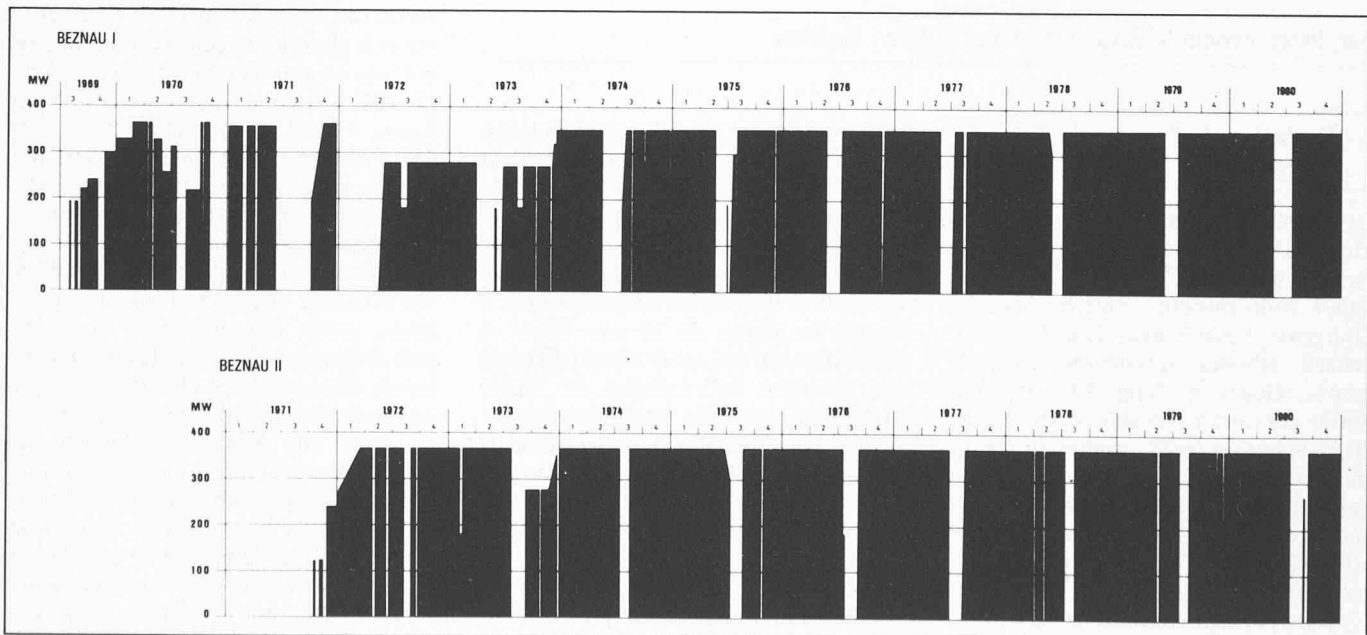


Fig. 2. — Diagrammes de charge de Beznau.

TABLEAU 1: Résultats d'exploitation et facteurs de charge

79 centrales nucléaires avec réacteurs eau pressurisée	1716 tWh	= 44,7%
55 centrales nucléaires avec réacteurs eau bouillante	1111 tWh	= 29,0%
25 centrales nucléaires avec réacteurs gaz-graphite	700 tWh	= 18,2%
15 centrales nucléaires avec réacteurs à eau lourde	237 tWh	= 6,2%
9 autres	73 tWh	= 1,9%
183 centrales nucléaires ont produit le 31.10.1980	3837 tWh	100%

TABLEAU 2: Classement en fonction du facteur de charge

pour des centrales nucléaires à eau légère, en fonctionnement depuis 5 ans au moins, ceci jusqu'au 31 octobre 1980

Rang	Centrale nucléaire	Pays	Type de réacteurs	Puissance [MW <sub>e</sub> ]	Production ann. [GWh]	Rendement [%]	Mise en activité
1.	Beznau-2	CH	DWR	364	23,6	83,9	1.1.72
2.	Stade	BRD	DWR	662	40,8	83,6	1.6.72
3.	Mühleberg	CH	SWR	336	19,0	83,3	1.12.72
4.	Doel-1	B	DWR	412	16,6	81,2	1.3.75
5.	Obrigheim	BRD	DWR	345	28,0	80,6	1.4.69
6.	Point Beach-2	USA	DWR	524	29,3	79,7	1.11.72
7.	Prairie Island-2	USA	DWR	547	22,0	78,5	1.1.75
8.	Connecticut Yankee	USA	DWR	602	51,5	78,0	1.2.68
9.	Borssele-1	NL	DWR	475	22,3	77,3	1.11.73
10.	Kewaunee	USA	DWR	560	23,1	74,1	1.7.74
11.	Zorita	E	DWR	160	11,5	73,2	1.9.69
12.	Beznau-1	CH	DWR	364	25,1	72,7	1.1.70

Cette statistique se base sur les résultats d'exploitation publiés régulièrement dans la revue internationale «Nucleonics Week». Elle comprend les centrales nucléaires de 18 pays du monde occidental, entrées en fonction avant le 31 octobre 1980. La production totale d'électricité dans 183 centrales nucléaires du monde occidental, totalisant 200 réacteurs (y compris la production de 9 centrales déjà hors service), atteignait, au 31 octobre 1980, 3837 milliards de kWh, avec un facteur de charge moyen de 61,8%. La production se répartit comme suit:

- 79 centrales avec réacteur à eau pressurisée (PWR) 1716 TWh = 44,7;
- 55 centrales avec réacteur à eau bouillante (BWR) 1111 TWh = 29,0;
- 25 centrales avec réacteur graphite-gaz (GGR) 700 TWh = 18,2;
- 15 centrales avec réacteurs à eau lourde (HWR) 237 TWh = 6,2;
- 9 centrales de types divers 73 TWh = 1,9.

L'expérience en matière de fonctionnement de réacteurs atteint 1639 années-réacteur.

Le facteur de charge moyen se chiffre comme suit:

- Centrales avec réacteur à eau pressurisée (PWR) 61,8%;
- Centrales avec réacteur à eau bouillante (BWR) 57,8%;
- Centrales avec réacteur graphite-gaz (GGR) 67,4%;
- Centrales avec réacteur à eau lourde (HWR) 72,5%.

Les centrales nucléaires de Beznau I et II (toutes deux à eau pressurisée) présentent un facteur de charge de 83,9% et 72,7%, bien au-dessus des valeurs moyennes. Beznau I et II occupent les 1<sup>re</sup> et 12<sup>e</sup> places dans la liste des centrales avec réacteur à eau légère (com-

prenant réacteur à eau pressurisée et réacteur à eau bouillante). Cette liste figure dans le Tableau 2.

### 3. Historique de l'exploitation

La figure 2 illustre la charge des installations Beznau I et II depuis leur mise en fonction.

Les «maladies d'enfance» de la centrale nucléaire de Beznau I ont nécessité, pendant les premières années d'exploitation, de longs arrêts: il s'agissait de phénomènes de corrosion dans les

générateurs de vapeur, qui ont pu être éliminés par des essais approfondis et des modifications apportées aux additifs chimiques dans le circuit eau-vapeur du système secondaire. Les phénomènes de corrosion ont été fréquents dans le monde entier, principalement dans les réacteurs des centrales à eau pressurisée, mais aussi dans les installations pourvues d'autres types de réacteurs.

Dès le moment où l'on a bouché une partie des tuyaux des générateurs de vapeur, certains à titre préventif, et qu'ils ont été éliminés du processus d'échange de chaleur, l'installation a fonctionné avec succès et donné son plein rendement.

Le soin et les améliorations apportés à Beznau I ont contribué à élever sensiblement le facteur de charge de la centrale de Beznau II, au début, grâce à l'expérience acquise à Beznau I.

Les pertes de disponibilité sont réparties dans le Tableau 3. On y voit clairement que l'arrêt annuel pour le rechargement de combustible, les contrôles et les travaux de révision constitue la plus grande partie du temps d'arrêt total.

Ces arrêts sont prévus durant les mois de juin, juillet et août, d'une part en raison de la situation économique énergétique (débit dans les centrales au fil de l'eau et diminution des besoins en énergie pendant les vacances d'été) et d'autre part afin de fixer des dates permettant aux intéressés de planifier leurs travaux.

Aujourd'hui, le temps d'arrêt annuel correspond à une perte de 8% à 13%, selon l'ampleur des travaux de maintenance, des contrôles, ainsi que des modifications des équipements dues aux nouvelles exigences de sécurité. L'importance de la durée de l'arrêt annuel est évidemment primordiale pour un bon facteur de charge.

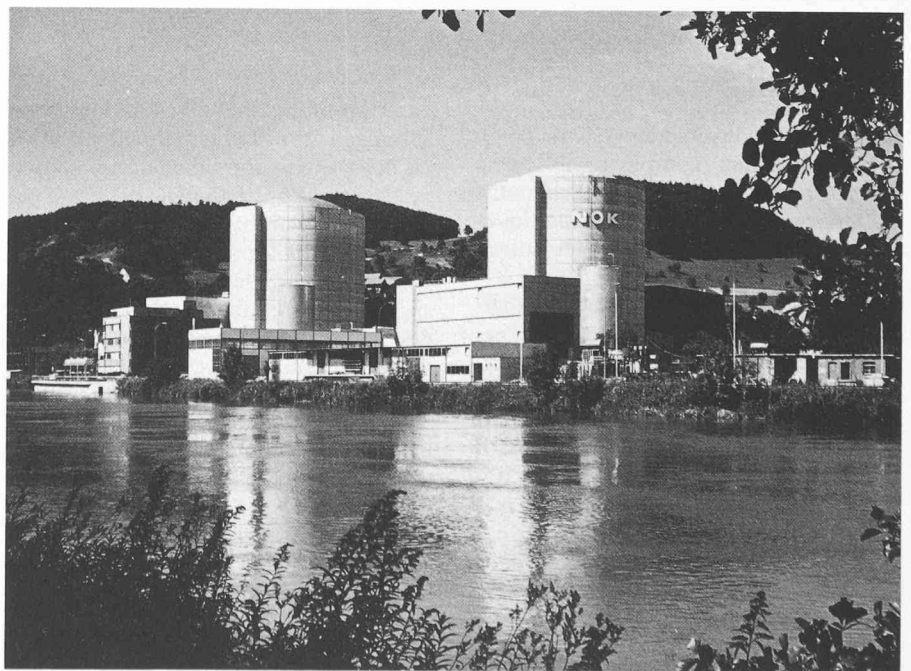


Fig. 3. — Les centrales nucléaires de Beznau

TABLEAU 3: Répartition en % des pertes de disponibilité depuis la mise en fonctionnement jusqu'au 31 décembre 1980

		KKB I	KKB II
Facteur de charge		73,1%	84,1%
Pertes de charge		26,9%	15,9%
Pertes dues à une panne	Système primaire, générateur de vapeur exclu	3,9%	0,4%
	Examen et réparations du générateur de vapeur	4,2%	1,4%
	Installation secondaire	1,1%	0,9%
	Divers	0,1%	0 %
Pertes dues à des arrêts planifiés	Divers, y compris service de piquet et essais	2,7%	2,0%
	Restrictions de la part des autorités	3,9%	1,3%
	Prolongation de l'utilisation du combustible (costdown)	0,1%	0,1%
	Rechargement de combustible et révision annuelle (y compris révision et réparations du générateur de vapeur)	11,0% (2,8%)	9,9% (2,5%)

#### 4. Personnel d'exploitation

Le nombre de places de travail prévues a été peu à peu augmenté, surtout parmi le personnel d'entretien et parmi les ingénieurs; aujourd'hui, on s'approche de 300 personnes. En effet, d'une part l'adaptation constante aux progrès techniques multiplie les modifications; d'autre part, le nombre de personnes venant de l'extérieur pour les révisions ne doit pas dépasser un certain seuil par rapport au personnel de la centrale chargé de l'entretien et de la surveillance.

Aujourd'hui, lors des révisions de la centrale de Beznau, 250 semble la limite

supérieure raisonnable du nombre de personnes venant de l'extérieur un même jour.

#### 5. Remarques générales

Le bilan de 12 ans et 10 ans (Beznau I et II) d'expérience d'exploitation permet de souligner les quelques points suivants:

- Le but initial, fixé de 6500 à 7000 heures d'exploitation à pleine puissance par année, a été dépassé dans les deux centrales pendant les 6 dernières années.
- Les difficultés rencontrées dans les générateurs de vapeur, qui ont pro-

voqué des arrêts de production à Beznau I en 1971, 1972 et 1973, ont pu être éliminées grâce aux études et aux essais menés à chef en grande partie par les spécialistes mêmes de l'exploitation.

- L'énergie électrique a toujours été produite en respectant les limites imposées par la loi et les critères techniques de sécurité. La radioactivité dégagée dans les environs a été minime et n'atteint que quelques pourcent des valeurs pourtant sévères fixées par la loi.
- Dans cette expérience de 20 années-réacteur, il n'y a eu aucun incident important du point de vue de la sécurité des installations et aucune personne n'a été irradiée au-delà des prescriptions légales.

Si l'on se base sur l'expérience acquise, on ne doit s'attendre à aucune perte importante de production, ni à un arrêt prolongé; il devrait être possible de conserver un facteur de charge de plus de 80% dans les prochaines années.

La tendance actuelle de prescrire toujours plus de contrôles administratifs et d'inspections et d'exiger des mesures pour l'amélioration de la sécurité va entraver à l'avenir la disponibilité des installations.

Adresse des auteurs:

Peter Froelich, ing. dipl. EPFZ  
Kurt Küffer, ing. dipl. EPFZ  
Nordostschweizerische Kraftwerke AG  
5400 Baden

## Optimalisation thermique des bâtiments — *Iglou*<sup>1</sup>

par Jürg Lanz et Adolf Schopfer

### 1. Introduction

Un bâtiment constitue un système de réglage thermique complexe, influencé par sa propre structure, ses installations de service, les sollicitations climatiques et les exigences posées par son utilisation (fig. 1).

Afin de prévoir le comportement thermique de ce système, il n'existe que l'expérimentation, le calcul sur la base d'hypothèses simplificatrices ou selon des modèles mathématiques plus ou moins complexes.

Pour le calcul proprement dit du système de réglage, deux genres de méthodes se trouvent au premier plan:

- les méthodes stationnaires (valeur K)

- les calculs transitoires *Iglou-G*.

Par rapport aux méthodes stationnaires, les calculs transitoires permettent de tenir compte de l'aptitude d'accumulation de chaleur d'un bâtiment, de son comportement d'absorption, de l'influence dans le temps du rayonnement solaire par les fenêtres, des conditions d'ombre en fonction du temps, des évolutions des températures intérieures ainsi que de l'inertie du système de chauffage.

L'optimalisation thermique d'un bâtiment concerne deux faits bien distincts: Premièrement, il s'agit d'amener le système de réglage d'un bâtiment à un état d'équilibre. Cela signifie que l'implantation du bâtiment en question, sa conception architecturale, son système de chauffage et les exigences des utilisateurs doivent être mutuellement adaptés de façon optimale. La conception interdisciplinaire et globale est donc une condition essentielle. Deuxièmement,

l'optimalisation du système dans son ensemble implique l'accès à un niveau énergétique optimal pour celui-ci. Dans cet objectif d'optimalisation, divers critères peuvent avoir, de cas en cas, plus ou moins d'importance.

Par exemple:

- Normes, prescriptions: sous son aspect général, une prescription constitue déjà le résultat d'une optimalisation au niveau de l'économie nationale.
- Rentabilité économique: la somme des coûts d'investissement et des coûts de l'énergie devrait tendre, pour une période donnée, vers une valeur minimale.

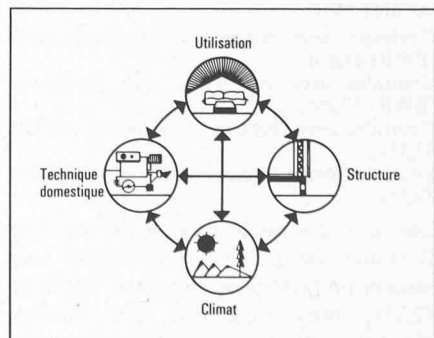


Fig. 1. — Système de réglage thermique d'un bâtiment.

<sup>1</sup> *Iglou* = Integrierte Gesamtenergielösung Optimiert und Umweltgerecht = Solution énergétique globale, optimisée et faisant la part de l'environnement.