

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	81 (1990)
<b>Heft:</b>	4
<b>Artikel:</b>	Réduction de la consommation de pointe
<b>Autor:</b>	Steffens, F.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-903083">https://doi.org/10.5169/seals-903083</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 25.02.2026

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

# Réduction de la consommation de pointe

F. Steffens

**Le principe du stockage d'énergie électrique pour compenser la consommation de pointe est expliqué pour quelques exemples d'installations dans différents pays. Ceci s'adresse en premier lieu aux distributeurs locaux, aux industries avec fortes variations de consommation et aux transports publics.**

**Das Prinzip der Speicherung elektrischer Energie zum Ausgleich von Belastungsspitzen wird anhand einiger Beispiele aus verschiedenen Ländern erläutert. Anwendungsmöglichkeiten bestehen vor allem beim örtlichen Verteiler, bei Industriebetrieben mit starken Leistungsschwankungen und bei Betrieben des öffentlichen Verkehrs.**

## Introduction

La consommation d'énergie électrique dépend fortement du mode de vie. Ainsi, la production doit faire face à des fortes pointes et à une demande beaucoup plus basse pendant la nuit. Il en résulte une mauvaise utilisation des installations, autant pour la production que pour la distribution. Le faible rendement de certains équipements augmente les frais considérablement. L'automatisation et la prévision permettent, dans une certaine mesure, de limiter l'enclenchement de générateurs de secours. L'existence d'un réseau électrique européen facilite l'échange d'énergie. Cependant, l'approvisionnement sûr n'est, à moyen terme, plus tout à fait garanti.

Pour faire face à cette situation, on encourage les utilisateurs à diminuer leurs pointes de consommation, en général par un tarif basé sur la puissance maximale pendant une durée de 15 minutes. Les structures tarifaires étant fort compliquées et différentes selon la situation géographique, on doit renoncer à la présentation d'un exemple des détails d'une facture.

Il suffit de savoir que la réduction de 5% de la consommation de pointe peut diminuer le total de la facture de 20%.

D'autre part, on doit déjà prévoir que la fourniture d'énergie électrique ne sera pas garantie sans certaines limitations; le retard dans la réalisation des équipements de production et de distribution devient inquiétant.

Les problèmes de la production et de la distribution proviennent essentiellement de l'augmentation de la consommation de pointe. Les installations doivent faire face à une demande croissante, mais la puissance de pointe est limitée.

La figure 1 donne un exemple de l'augmentation de la puissance. En simplifiant, on peut dire que l'énergie

est encore suffisante, mais la répartition nécessite des investissements importants. Il y a plusieurs moyens de résoudre le problème de puissance maximale:

- au niveau de la production par des installations hydroélectriques,
- au niveau de la distribution en renforçant le réseau,
- au niveau de la consommation en déclenchant certains équipements aux heures de pointe.

Les possibilités des premières deux solutions sont très limitées, à cause de la situation géographique, l'opposition, rarement justifiée, des écologistes et des restrictions techniques et financières.

Cependant, il y a des solutions très réelles, déjà éprouvées, qui permettent de:

- économiser de l'argent,
- répartir la consommation.

Il s'agit d'installations d'égalisation de charge. On peut séparer le circuit électrique en quatre morceaux:

- génération,
- distribution haute tension,
- distribution basse tension,
- consommation.

## Système du Load Leveling<sup>1</sup>

Ces systèmes sont particulièrement bien adaptés aux deux derniers niveaux, que l'on peut aussi définir par les termes: avant et après le compteur. Le tableau I présente quelques installations importantes déjà en service et donnant entière satisfaction.

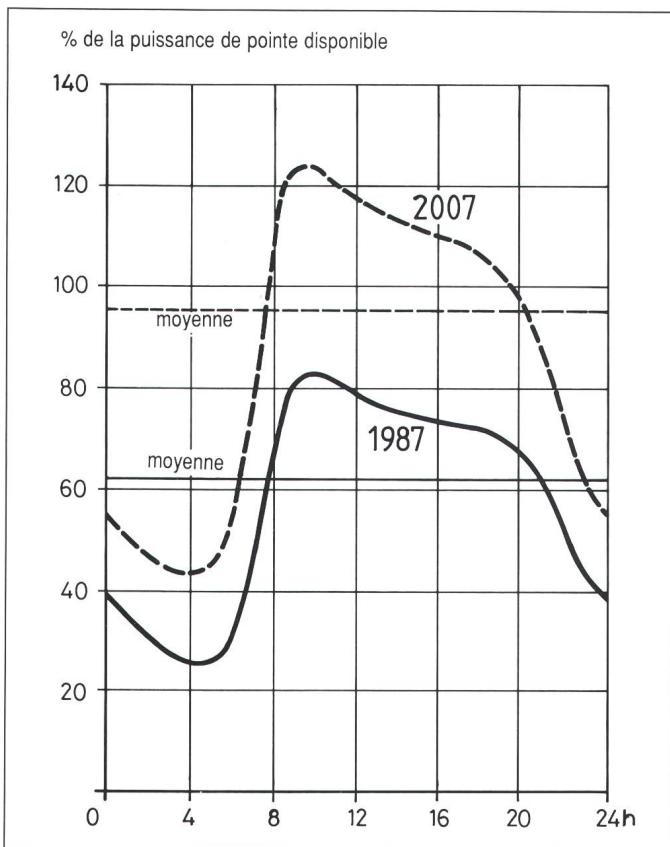
Quoique le Load Leveling ne produise pas d'énergie, il transforme l'énergie déjà disponible et la rend au

<sup>1</sup>L'emploi de quelques expressions anglaises dans ce texte permet d'éviter les descriptions parfois assez longues en français.

### Adresse de l'auteur

François Steffens, Consultant,  
Orée 28, 2000 Neuchâtel.

## Gestion de la charge par accumulateurs



**Figure 1**  
Diagramme de charge

aux heures creuses, la batterie est rechargée. Cette méthode présente deux avantages:

- limiter la puissance fournie par le réseau électrique,
- utiliser de l'énergie bon marché aux heures de tarif de pointe.

L'objectif des industries sera de réduire la facture du courant, tandis que les distributeurs bénéficient d'une charge plus équilibrée.

La figure 3 donne l'essentiel de l'installation. Le cœur du système est la batterie; le cerveau est l'équipement pour la surveillance de la puissance. De telles unités existent déjà et sont utilisées pour déclencher certains équipements afin de limiter la consommation maximale. Cette régulation passive introduit des contraintes, que le stockage et la conversion d'énergie permet d'éviter.

Le système est analogue au «boiler»; chauffage de l'eau au tarif de nuit, utilisation aux heures à tarif élevé. Tout le monde sait que ceci est très économique. La dimension du boiler est adaptée aux besoins.

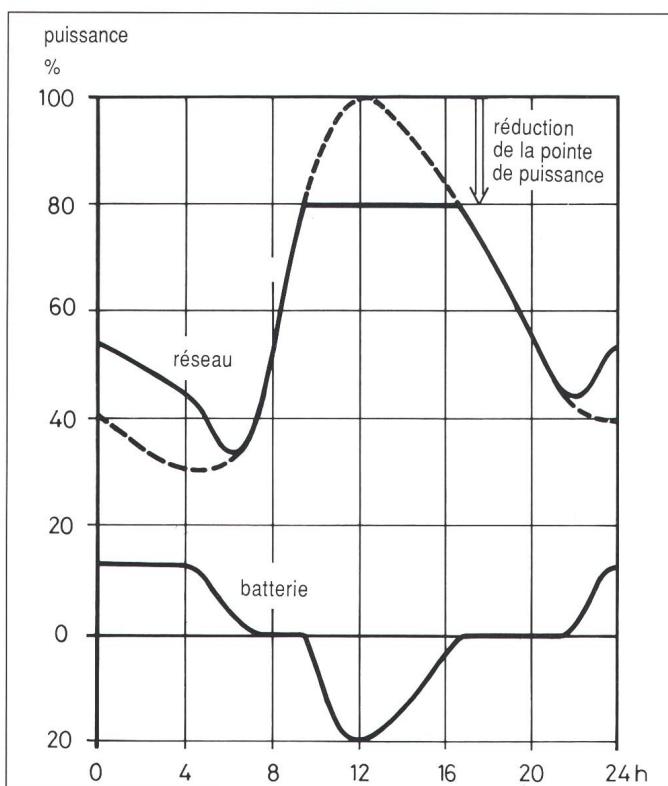
Ici, le boiler est une batterie au plomb dont la capacité est choisie en fonction des besoins. La grandeur du système dépend de la pointe à couper, c'est-à-dire de la puissance - kVA - et de la durée. On s'imagine le nombre de

moment où on en a le plus besoin. La figure 2 explique le fonctionnement d'un système de limitation de puissance

ce avec stockage d'énergie dans un accumulateur. Aux heures de pointe, l'énergie est fournie par la batterie;

Système	Pays	Puissance	Date	Remarque
Chino	USA	10 MW	1988	approv. d'électricité
Johnson Controls	USA	300 kW	1986	fabricant d'accumulateurs
Johnson Controls	USA	300 kW	1989	fonderie
General Motors	USA	300 kW	1987	fabricant d'accumulateurs
Crescent	USA	500 kW	1987	approv. d'électricité
Kansai	J	1 MW	1986	approv. d'électricité
Hammermühle	D	400 kW	1980	approv. d'électricité
Bewag	D	8,5 MW	1986	contrôle de fréquence
W. Hagen	D	500 kW	1988	fabricant d'accumulateurs
Vaal Reefs	SA	4 MW	1988	mine
ABB	D	130 kW	1987	NaS
Raps	AUS		1988	région isolée

**Tableau I** Systèmes du Load Leveling en service



**Figure 2** Diagramme de charge du réseau et de la batterie

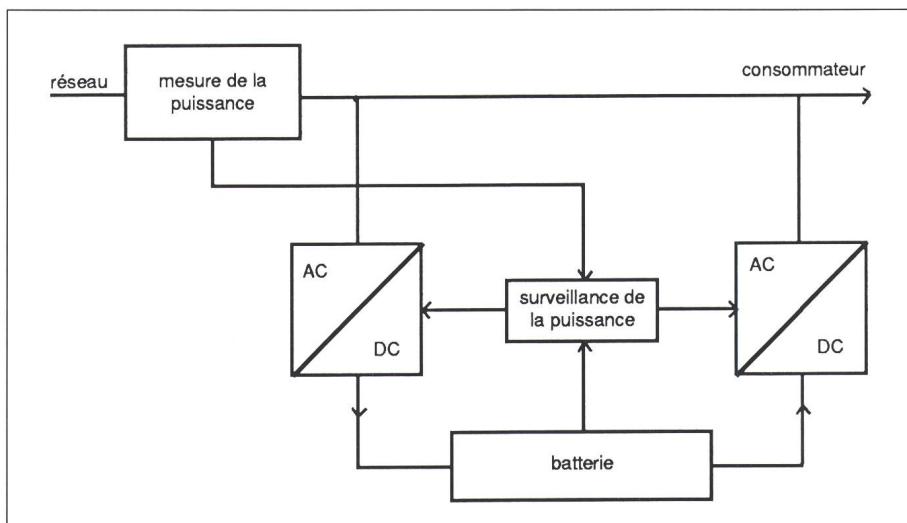


Figure 3 Load levelling avec des batteries

situations possibles. Il a donc été développé un système modulaire, installé de préférence dans un container, ce qui le rend en plus mobile et tout prêt au raccordement. L'installation peut être agrandie et transférée selon les besoins de l'utilisateur.

## Avantages du Load Leveling

De grandes installations de stockage d'énergie dans des accumulateurs ont existé, en particulier pour la stabilisation de la tension.

Aujourd'hui, on trouve de très grandes installations, > 1 MWh, principalement comme alimentation de secours pour des équipements industriels, de télécommunications et de centres de calcul. Il en résulte qu'il n'y a pas de problème technique pour réaliser, à partir d'éléments existants, une alimentation indépendante de grande puissance. Il s'agit d':

- un chargeur pour la recharge de la batterie,
- un convertisseur de la puissance équivalente à la pointe de consommation à éliminer,
- une batterie d'une capacité suffisante pour couvrir les besoins énergétiques lors de la pointe,
- un système de surveillance de la puissance de pointe (ceci est déjà largement employé pour arrêter certains équipements, système passif),
- une unité de régulation pour la charge de la batterie et le contrôle du convertisseur.

Ceci démontre aussi qu'il n'y a ni problème d'environnement, ni problème de sécurité. Donc on peut, avanta-

geusement, installer l'équipement à proximité de l'utilisateur et ainsi en améliorer l'efficacité.

Tandis que l'amélioration du réseau de distribution demande un effort

considérable en temps, engineering et matériel, accompagnée de perturbations de toutes sortes, un système de Load Leveling sera opérationnel en quelques semaines. Ce facteur de coût est difficile à apprécier, comme il y a plusieurs autres avantages que l'on ne peut pas évaluer financièrement: absence de pollution, sécurité d'alimentation. Dans les évaluations économiques, on s'est limité à relever le coût d'investissement et les coûts d'exploitation, sans crédit pour les économies tarifaires et les avantages indirects. En général, les économies initiales seront déjà supérieures aux frais d'investissement. La réalisation à partir d'éléments existants garantit une prévision sûre du coût d'investissement et d'exploitation, de même que des performances techniques.

Un aspect encore peu exploré est la compatibilité avec des énergies alternatives: solaire, éolienne, générateurs à moteurs thermiques (bio-gaz), etc., qui soit injectent dans le réseau, soit sont la seule source d'énergie dans les

## La plus grande batterie du monde

A 70 km à l'est de Los Angeles se trouve la plus grande batterie du monde.

Pour combler le manque de puissance du réseau de distribution, la société South-California Edison dispose d'une installation de stockage d'énergie avec des batteries au plomb d'une puissance de 10 MW, avec une autonomie de quatre heures (équivalente à 80 000 batteries de démarrage).

La station de distribution de Chino est alimentée par une ligne de 66 kV. Cinq transformateurs de 12 kV - 40 MVA distribuent l'énergie électrique pour cette région en pleine expansion. En fin de journée, la pointe de consommation sur une des lignes dépasse la puissance maximale. Le système de Load Leveling permet d'assurer la fourniture du courant électrique nécessaire.

L'installation a été mise en service en juillet 1988, une année après le début de la construction, et fonctionne depuis sans interruption. Pendant deux ans, toutes les données seront relevées et analysées dans le but d'évaluer les économies réalisées par cette installation.

D'un côté, on connaît déjà avec précision le coût de l'installation et les économies réalisées par l'élimination de travaux d'agrandissement de cette station de transformation. De l'autre côté, on procède à des calculs de rentabilité selon le mode d'opération, en particulier par la différence du coût de l'énergie à bas tarif pour la

charge de la batterie, et le rendement énergétique, actuellement supérieur à 70%.

L'installation se compose de deux hangars pour les batteries. Les transformateurs, les convertisseurs et l'électronique de commande se trouvent entre ces deux bâtiments; toutes les connexions sont souterraines. L'ensemble est résistant aux tremblements de terre et fonctionne, en période normale, sans aucune surveillance.

La surface totale de cette installation, très largement dimensionnée, est de 80 par 66 m; une forte réduction, 30 à 50%, est possible.

Le coût total de cette première d'une série d'installations est de 22 millions de francs suisses. Par la suite, les frais d'investissement seront de 1 million par MVA.

La batterie est composée de huit rangées (4 dans chaque bâtiment, avec possibilité d'extension à 5) de 172 modules, en deux étages, de 12 volt - 3100 Ah. La tension nominale du système est de 2000 VDC et le courant de décharge est de 5200 A (650 A par rangée).

Le convertisseur, 3 phases à six pulses, utilise des GTO's pour la charge et pour la conversion et assure une perturbation harmonique inférieure à 3%, avec un rendement de 97%.

Aucune pollution, en particulier de l'hydrogène, de stibine et d'arsénine, n'a été relevée.

# Gestion de la charge par accumulateurs

régions isolées. Le Load Leveling s'accommode à toutes les situations, autant à l'entrée qu'à la sortie.

On voit que le stockage d'énergie dans des accumulateurs offre de nombreux avantages:

- l'économie tarifaire,
- la réduction de la consommation de pointe,
- l'amélioration de la provision d'énergie électrique,
- la flexibilité,
- la modularité,
- la mobilité,
- l'absence de toute pollution,
- la stabilisation de la tension et de la fréquence,
- la rapidité d'installation,
- l'opération entièrement automatique, pas besoin de personnel qualifié,
- l'élimination de travaux d'infrastructure,
- la sécurité de l'alimentation électrique.

## Applications

Les domaines d'application sont vastes et variés et se trouvent essentiellement aux niveaux de la distribution basse tension et de la consommation. Le tableau I en a déjà démontré la grande variété:

**Tableau II**  
**Possibilités d'utilisation des systèmes de stockage d'électricité**

	Grandeur de l'accumulateur	Heures de service par jour	Cycles par année	Paramètre décisif
Puissance de pointe	petite	<1 h	50–100	prime de puissance
Stockage de masse	grande	>3 h	250	tarif nuit/jour
Système isolé	grande	>5 h	>300	coût du combustible
Alimentation de secours	petite	<2 h	100–250	investissement

- avant et après le compteur,
- différents types d'industrie,
- installations de type privé et de service public.

Quelques exemples d'utilisation sont:

- les industries, surtout si la demande d'énergie est très fluctuante, mais aussi si la puissance disponible est insuffisante,
- les producteurs d'énergie, en particulier pour les petites installations au fil d'eau, afin de fournir davantage d'énergie aux heures de pointe,
- les distributeurs locaux: achat à bas tarif, fourniture à tarif élevé; améliorer la distribution, diminuer les

pertes, retarder l'investissement pour renforcer le réseau,

- les transports publics: fortes pointes de consommation coïncidant avec la demande maximale des ménages,
- les régions isolées; d'autres sources d'énergie peuvent aussi être utilisées pour la recharge des batteries.

On peut, généralement, classer une installation dans un des groupes suivants:

- réduction de la puissance de pointe ou décalage de la consommation,
- stockage de masse d'énergie à faible puissance ou à bas tarif,
- alimentation dans des régions isolées,
- alimentation de secours.

## Réduction de la puissance de pointe (Peak Shaving)

C'est le cas le plus simple et le plus fréquent (voir fig. 2). Les bénéfices dépendent fortement de la structure tarifaire, surtout de la prime de puissance. Le retour d'investissement s'opère en 5 à 6 ans. Les intéressés principaux sont les industries avec de fortes variations de consommation.

Dans ce groupe, on peut inclure les transports publics, qui sont un sujet de choix: les pointes de consommation coïncident avec celles des ménages. L'installation d'un système de stockage permet d'assurer le fonctionnement des trolleybus, même de faire face à une augmentation du trafic, et de libérer de l'énergie électrique pour les ménages, bureaux, magasins, etc. Le figure 4 illustre cette méthode. L'influence sur le coût d'exploitation du réseau de distribution est négligeable (< Fr. 0.0025/kWh), sans tenir compte des crédits. De plus, le coût de l'énergie augmentera, celui du Load Leveling reste constant. La forte dispersion des transports publics permet

## Une installation industrielle

La société Wilhelm Hagen à Soest, en Allemagne, fabriquant d'accumulateurs, qui a fourni la batterie pour l'installation de la BEWAG à Berlin - 8,5 MW, 15 MWh -, dispose elle-même aussi d'un équipement pour l'égalisation de la consommation de pointe. Une unité pilote fut mise en service en 1982; l'installation actuelle de 500 kW fonctionne depuis 1986.

La fabrication de batteries nécessite un grand parc de machines électriques puissantes. La puissance de pointe s'élève à 2,5 MW; la batterie permet de la limiter à 1,9 MW. La batterie étant rechargée pendant les heures creuses au tarif de nuit, la société Hagen bénéficie d'une substantielle réduction de sa facture d'électricité. En effet, la société de distribution du courant électrique est fortement intéressée à égaliser la consommation (centrales à charbon). Les économies réalisées par le fournisseur lui permettent de proposer un tarif encore plus avantageux qu'initialement prévu.

Ici, la batterie avec le convertisseur est couplée directement au réseau de 380 V.

Deux batteries, chacune 400 V - 8800 Ah, alimentent deux convertisseurs de 250 kVA. L'unité de régulation enclenche les convertisseurs dès que le seuil de 1,9 MVA est atteint. Dans le cas où la puissance totale des convertisseurs ne suffit plus, le seuil est augmenté de 30 kVA, voire de 60 kVA. Au-dessus de ce point, certains équipements, sous contrôle du chef de production, sont déclenchés.

En 1988, la réduction de puissance fut de 518 kW; à DM 261.-/kW, l'économie annuelle fut de DM 135 198.-.

Au lieu d'un taux d'utilisation de 48%, la puissance moyenne a atteint une valeur de 60%, ce qui donna droit à un discount de DM 68 611.-. De plus une extension du bas tarif présente une économie de DM 30 000.-. Ainsi, en 1988 une économie de DM 233 800.- a déjà été réalisée.

Les frais d'investissement pour une nouvelle installation s'élèvent à DM 1 200 000.-. Le rendement énergétique de 76% correspond parfaitement au rapport du tarif de nuit (0.0872) et de jour (0.1145).

(Extrait de la présentation par Dr. Wieland Rusch au Séminaire d'ILZRO à Orlando, Florida, en mai 1989)

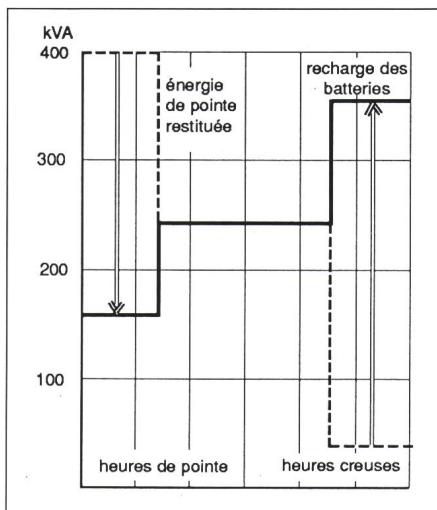


Figure 4 Effet du Load Levelling sur la puissance du réseau

de réaliser un grand nombre de systèmes. Ainsi, dans le concept global de la disponibilité de l'énergie électrique, ces installations apportent une solution, partielle mais bienvenue.

#### Stockage de masse (Bulk Storage)

Le principe de l'accumulation d'énergie à faible puissance et bon marché pour la restituer aux heures de pointe est parfaitement illustré par l'exemple d'une petite centrale au fil de l'eau, caractérisée par une puissance quasi-constante, voir figure 5. La

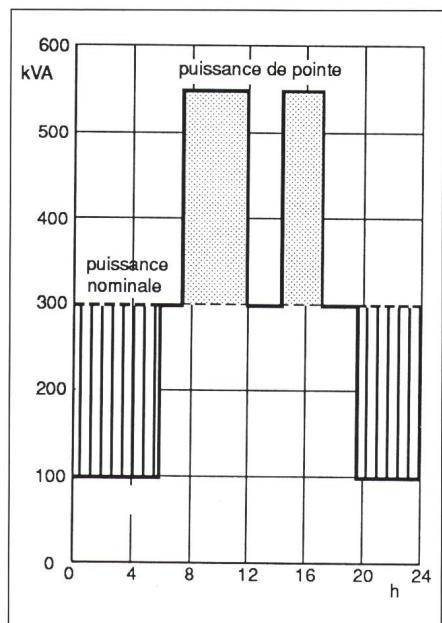


Figure 5 Augmentation de la puissance de l'énergie au tarif de jour par accumulation

puissance est trop faible pour couvrir les besoins dans la journée, tandis que pendant la nuit l'énergie reste inutilisée. L'accent est mis sur une capacité de stockage maximale. Il en résulte une augmentation de la puissance de 80% (de 300 kVA à 550 kVA) et de l'énergie au tarif du jour de 25%. Ici, le stockage d'énergie offre des bénéfices substantiels.

#### Alimentation dans les régions isolées (RAPS)

Ici, l'avantage principal est la réduction de la consommation de fuel, accompagnée de la diminution de la pollution et du bruit et de l'amélioration de la fiabilité. Le bénéfice dépend donc du coût du Diesel, de la dimension de l'installation et du mode opératoire. L'absence d'une interaction avec le réseau électrique facilite l'éva-

luation économique, et le point d'équilibre peut être calculé très précisément.

Le grand nombre d'installations en opération présente un marché important. Le système modulaire, mobile, clé en main, répond bien aux besoins de ce type d'application.

#### Alimentation de secours (UPS)

Il y a plusieurs façons de concevoir une alimentation de secours; la méthode interactive (triport) offre le plus de possibilités techniques et économiques. Les dizaines de milliers d'installations en service représentent un volume de stockage d'énergie énorme. C'est dommage que l'on ne l'utilise pas.

Comme l'investissement est déjà fait, une légère adaptation permet de tirer un bénéfice considérable de ces installations. La figure 6 en indique le

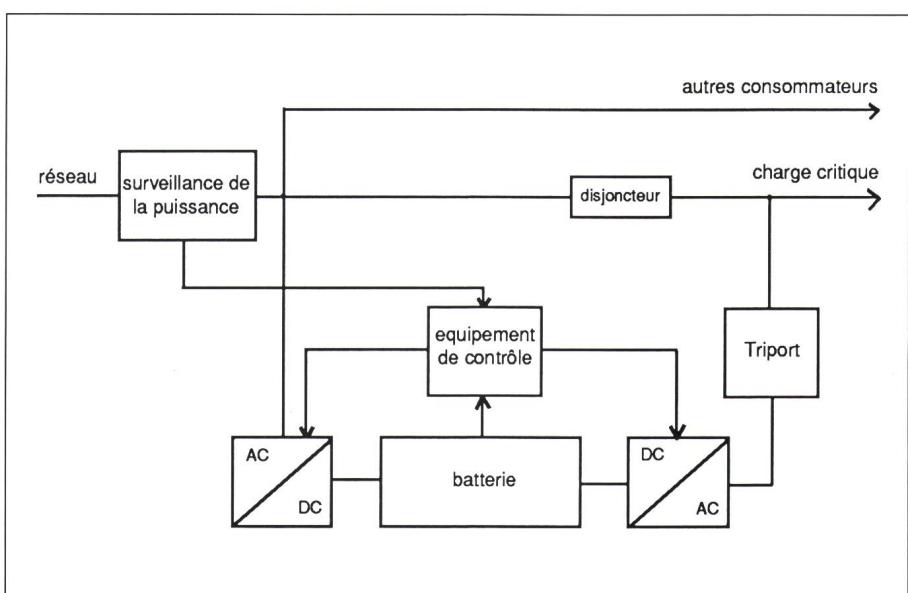


Figure 6 Load Levelling avec une installation d'alimentation de secours

	Réduction de la puissance de pointe	Transport publique	Stockage de masse	RAPS I	RAPS II
Convertisseur	250 kVA	250 kVA	250 kVA	250 kVA	60 kVA
Batterie	230 kWh	1800 kWh	1400 kWh	2000 kWh	230 kWh
Durée	½ h	6 h	4 h	9 h	9 h
Investissement	180 000	400 000	360 000	430 000	90 000
\$/kWh	1350.-	270.-	360.-	250.-	460.-
Exploitation (\$/année)	23 000	74 000	60 000	69 000	13 000
Résultat (\$)	120/kVA prime de puissance 155 MWh/jour	0,002/kWh 35 MWh/jour	0,007/kWh fuel 0,165	0,10/kWh fuel 0,305	0,19/kWh fuel 0,305

Tableau III Résumé financier

# Gestion de la charge par accumulateurs

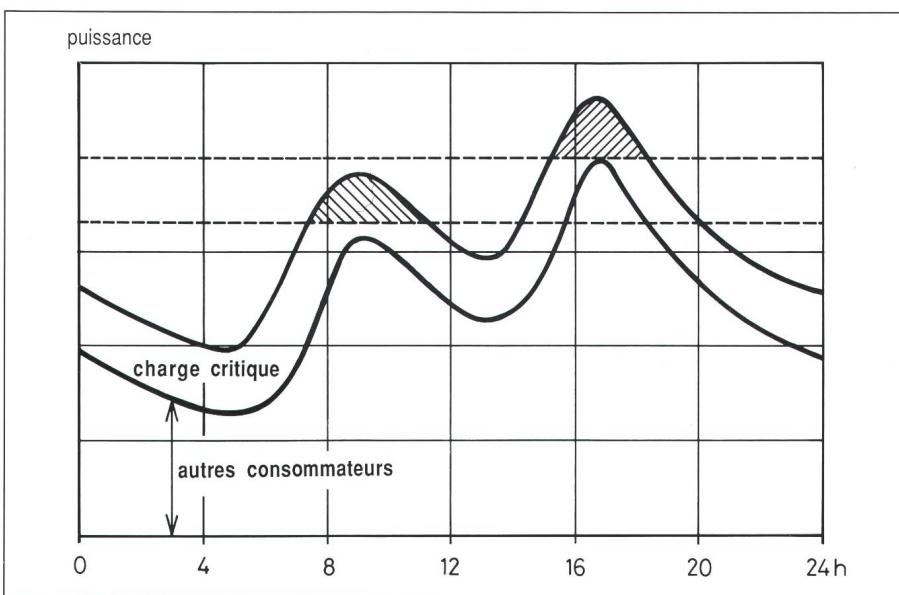


Figure 7 Effet du Load Levelling avec une installation d'alimentation de secours

## Quelques aspects de promotion

Il est utile de mentionner le rôle de quelques organisations qui, à part leurs autres activités, sont fortement engagées dans le domaine du Load Leveling.

ILZRO = International Lead Zinc Research Organization

EPRI = Electric Power Research Institute

ILZRO a mis 2000 tonnes de plomb à disposition pour l'installation de Chino. EPRI s'occupe depuis une vingtaine d'années de problèmes de distribution et d'économie d'énergie. EPRI est en mesure de prendre en charge la surveillance de la réalisation, comme elle l'a fait pour: BEST, Crescent, Chino, etc. La collaboration parfaite avec leurs partenaires: Bechtel, General Electric, Edison, General Motors, Exide, etc. garantit le succès des installations.

EPRI et ILZRO sont indépendantes et en mesure de transférer leur savoir-faire. On doit encore mentionner l'assistance de LDA (Lead Development Association) basée à Londres, qui complète efficace-

ment le travail en Europe, et du CIP (Centre d'Information du Plomb) à Paris.

L'échange d'informations, entre autres par des Conférences internationales - Berlin, Newport Beach -, sur tous les projets est extrêmement profitable aux producteurs et utilisateurs. Ce «club» s'agrandit continuellement et est un merveilleux exemple de collaboration internationale.

Très important est aussi l'aspect de financement. Les aspects social et énergétique des installations de Load Leveling ouvrent largement les portes de subvention et de financement international. Pour certaines applications, p.ex. dans les pays en voie de développement, des banques de financement - European Investment Bank à Luxembourg - peuvent fournir un support financier. On doit aussi mentionner le rôle de l'Unesco (Roste à Venise).

Cette technologie offre de larges débouchés dans un domaine en expansion et très profitable. Des possibilités de leasing sont un autre moyen de financement.

schéma d'utilisation et la figure 7 en présente l'influence sur la consommation de pointe.

Le tableau II résume les caractéristiques de ces types d'installation; le tableau III en résume les aspects financiers.

## Conclusion

La faisabilité, tant économique que technique, du stockage d'énergie pour résoudre les problèmes de la disponibilité de la puissance de pointe a été démontrée.

Dans le vaste champ d'applications, quelques exemples ont été choisis et analysés en détail.

Les quatre groupes de système de Load Leveling présentent tous des avantages financiers et apportent un soutien important pour la fourniture d'énergie de pointe.

Sans tenir compte des économies tarifaires et autres, les frais d'exploitation sont déjà très bas; la durée d'amortissement est d'environ 6 ans.

La réalisation industrielle et le financement des systèmes de stockage d'énergie offrent des possibilités intéressantes, par exemple pour le leasing ou pour des organisations internationales.

## Bibliographie

- [1] Approach to load leveling opportunities in Switzerland. ILZRO Lead-Acid Battery Seminar, Orlando, Florida - May 4-5, 1989.
- [2] Prospects for load leveling battery applications. 2nd International Conference, Batteries for Utility Energy Storage, Newport Beach, California - July 24-28, 1989.
- [3] Opportunities and Economics of Peak Load Leveling. Tudor - LDA Seminar on Load Leveling, Madrid, Spain - 22nd November 1989.
- [4] Batterien als Spitzenlast-Kraftwerke. Technische Rundschau, Hallwag Verlag - Bern.