Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 59 (1968)

Heft: 6

Rubrik: Production et distribution d'énergie : les pages de l'UCS

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: 22.08.2025

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

Production et distribution d'énergie

Les pages de l'UCS

14e Congrès de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique (UNIPEDE)

L'électrification rurale au service de l'homme

Rapport du Groupe de Travail de l'Agriculture, de l'Artisanat et du Commerce

631.37

Fin

3. Les possibilités économiques de l'électrification rurale

3.1 Les éléments déterminants de la rentabilité

Le rendement d'une exploitation quelconque s'exprime par le quotient suivant:

$$\frac{\text{Recettes — Dépenses}}{\text{Capital investi}}$$

Si ce rendement atteint le taux d'intérêt normal — qui est l'expression du coût des capitaux — l'exploitation peut être dite rentable [1]).

Les recettes se traduisent par le produit: Quantités vendues × prix de vente.

Les dépenses sont constituées par la somme suivante: (Quantités achetées × prix d'achat) + frais d'exploitation (administratifs, commerciaux, etc.) + amortissements.

La rentabilité d'un réseau, pour un taux d'intérêt donné, dépend donc:

1. Du volume des ventes;
2. Du niveau des prix;
3. Du prix de revient ou d'achat du courant;
4. Des pertes en lignes et en transformateurs;
5. Des frais d'exploitation non proportionnels à l'étendue du réseau;
6. Des frais d'exploitation proportionnels à l'étendue du réseau (entretien, surveillance, transports);
7. Du montant des amortissements;
8. Du capital investi.

Ces trois derniers facteurs sont évidemment fonction du même élément: le coût d'investissement du réseau de distribution; ils constituent donc un seul et unique problème, directement lié à la densité de population des zones considérées.

Abordons successivement chacun de ces points:

3.1.1 Le volume des ventes

Nous avons analysé longuement cet élément dans notre chapitre précédent. Tout l'effort des entreprises distributrices en zone rurale devrait porter sur un développement rapide de la consommation, qui est réellement, à notre sens, la clef de leur problème de rentibilité, surtout dans la phase finale du développement.

[1]) Le taux d'intérêt normal varie dans le temps et diffère de pays à pays. La notion de rentabilité des exploitations est donc essentiellement relative.

3.1.2 Le niveau des prix

Outre les problèmes classiques de la tarification de l'énergie électrique (forme du tarif, coût du comptage, discrimination suivant usages, niveau socialement admissible du prix plafond), la question du prix de vente de l'électricité en zone rurale présente des aspects particuliers, d'ailleurs différents suivant les phases du développement de l'électrification [1]).

3.1.2.1 Electrification primitive

A ce premier stade, la tarification était généralement du même type que la tarification urbaine et elle ne dépassait guère le niveau des prix urbains pour les usages concurrencés. Par contre, le prix de l'éclairage et de la force motrice était tenu à un niveau relativement élevé pour assurer une extension géographique maximale à l'électrification. En effet, au cours de cette phase, en dehors de toute aide des pouvoirs publics, on ne pouvait poser que des réseaux à rentabilité assurée: dès lors, le niveau des prix était déterminant quant à l'extension du réseau.

3.1.2.2 Electrification généralisée

Au cours de cette deuxième phase, les pouvoirs publics interviennent généralement à la fois en vue de la généralisation de l'électrification et en faveur de l'abaissement des prix de vente.

En effet, le prix appliqué à l'origine étant déjà bien souvent insuffisant pour assurer la rentabilité d'une électrification complète du territoire, seule une aide des pouvoirs publics peut permettre de compléter l'électrification tout en abaissant les prix.

3.1.2.3 Electrification intensive

A cette phase, il s'agit d'appliquer, dans toute la mesure du possible, des tarifs ne dépassant pas ceux de la ville et assurant, par une dégressivité bien étudiée, une augmentation rapide des ventes.

Dans toutes les zones étudiées, quoique sous des formes diverses, les prix sont largement dégressifs en fonction de la consommation. Il existe généralement un prix spécial pour la consommation de nuit et pour les applications thermiques.

3.1.3 Le prix de revient ou d'achat du courant

Le prix de revient ou d'achat du courant ne pose guère de problème particulier en zone rurale, si ce n'est par l'effet du facteur «durée d'utilisation» dans la formule d'achat (surtout en ce qui concerne l'électricité d'origine thermique).

Nous avons cependant vu plus haut qu'une zone rurale bien équipée en appareils peut atteindre la même utilisation qu'une zone urbaine.

Signalons encore la possibilité, en région de montagne, d'exploiter des barrages d'intérêt local et de réduire les frais de transport de l'énergie à distance (sous réserve de l'interconnexion des réseaux primaires).

3.1.4 Des pertes en lignes et en transformateurs

Il semble que les pertes en lignes et en transformateurs soient plus considérables dans les zones rurales que dans les villes. Mais nous ne pensons pas que cela puisse constituer un facteur déterminant de la rentabilité. Il faut toutefois rester vigilants à ce sujet.

3.1.5 Les frais d'exploitation non proportionnels à l'étendue du réseau

Parmi les frais d'exploitation non proportionnels à l'étendue du réseau, seules les questions des taxes perçues par les pouvoirs publics et de l'importance des frais d'encaissement nous paraissent se poser d'une façon particulière en zone rurale.

3.1.5.1 Taxes et redevances au profit des pouvoirs publics

Les taxes appliquées dans les zones considérées sont très variées quant à leur mode d'application et à leur taux.

Outre les impôts directs et indirects au profit de l'Etat, les pouvoirs publics locaux participent parfois à la recette (sous forme de redevances), ou au bénéfice de l'exploitation (par exemple, dans la zone flamande, avec les «Intercommunales»).

Dans la région du Neubourg, il est perçu en basse tension diverses taxes correspondant à 7,24 % de la recette brute, au profit des pouvoirs publics (taxe de prestation de service, taxe à la valeur ajoutée et taxe locale), auxquelles s'ajoute une surtaxe représentant 7,21 % de la recette brute, au profit du syndicat départemental d'électrification rurale, qui en redistribue la majeure partie (voir 3.41 ci-après). En Belgique, une taxe de 7 % en basse tension et de 1,1 % en haute tension, au profit de l'Etat, est ajoutée au montant des factures. Dans la zone de Willisau, les taxes s'élèvent à 5 % de la recette brute. En Allemagne et dans d'autres régions, les communes bénéficient d'un rabais sur le prix de l'énergie pour l'éclairage public, les applications scolaires, les mairies et autres bâtiments publics.

Dans d'autres régions, l'Etat et les pouvoirs publics locaux renoncent entièrement ou partiellement à la taxation de l'énergie.

En général, il apparaît qu'en raison des conditions plus défavorables de la distribution, le prélèvement des pouvoirs publics se situe à un niveau plus bas dans les zones rurales que dans les villes.

3.1.5.2 Etendue des frais d'encaissement

Dans les régions rurales, les releveurs de compteurs et éventuellement les encaisseurs ont beaucoup de chemin à faire et le coût de leurs prestations par abonné est relativement élevé.

Il y a moyen de réduire ces frais en supprimant l'encaissement à domicile et même en espaçant davantage les relevés (relevé tous les six mois, ou même annuellement). Ce procédé exige cependant un système de paiement par acomptes, les clients versant chaque mois ou tous les deux mois une fraction du montant total présumé de la facture finale. Le décompte final permet de facturer les différences éventuelles. Ce procédé a été employé avec succès dans certaines régions allemandes et autrichiennes, et doit être appliqué en France; il est à l'étude dans d'autres pays. Les possibilités de réduction des frais paraissent être importantes.

3.1.6 Le coût d'investissement du réseau de distribution

L'étendue des investissements est influencée en tout premier lieu par la densité de la population, mais aussi par l'étendue de l'électrification et le niveau de sa consommation.

Les investissements dans les zones étudiées s'élevaient, *en francs suisses,* à:

Valeurs neuves

	Investissements par abonné	Investissements centimes/kWh
Galloise	2559	59,0
Neubourg	2200	120,0
Willisau (zone rurale)	2784	45,3
Willisau (totale)	2475	34,4
Ravensburg (zone rurale)	1316	37,0
Willisau (zone industrielle)	2325	30,2
Zone flamande	1470	78,0
Goisern et Gosau	544	25,4
Modène	996	93,6
Seixal	423	22,9
Bruges (ville)	1100	25,0
Emmen	1408	20,3
Ravensburg (ville)	652	20,0

Le montant des investissements par abonné varie fortement, entre 500 à 2700 frs. environ. Les investissements par kWh distribué sont très différents; des investissements élevés par abonné peuvent souvent être compensés par une consommation élevée par abonné (Suisse). Cependant les investissements par kWh vendu en région rurale sont à peu près deux fois plus élevés que dans les villes.

3.1.6.1 Les possibilités de limiter les investissements en region rurale

L'étendue des investissements, en région rurale comme ailleurs, est largement fonction de la qualité et de la sécurité du service exigé. Un abaissement des investissements est cependant rendu possible par la normalisation du matériel et par l'adoption de réseaux-types bien étudiés.

3.1.6.1.1 Lignes

Au cours de l'électrification des régions rurales, la nécessité s'impose à tout moment de prévoir l'accroissement de la consommation. Il est indiqué d'établir les lignes primitives sur des poteaux suffisants pour supporter ultérieurement des sections de fils plus grandes et éventuellement aussi des tensions plus élevées.

Dans la plupart des pays, on a tendance à choisir le béton pour les poteaux des lignes basse tension (Belgique, Italie). Les lignes moyenne tension sont déjà exécutées en beaucoup d'endroits avec une distance considérable entre poteaux, afin d'économiser des frais d'indemnisation des propriétaires (Allemagne, France, Angleterre).

Dans les centres de villages, il y a par contre une tendance marquée à rendre souterraines les lignes en moyenne et basse tension, ce qui a une influence défavorable sur les investissements, mais augmente la sécurité d'exploitation et améliore

l'aspect des villages. Il faut cependant signaler la tendance française de ne pas rendre souterraines les lignes basse tension, mais d'exécuter les réseaux BT en façade au moyen de câbles torsadés.

On tend également à construire des conduites circulaires et des réseaux maillés (Allemagne, Suisse, Portugal). Cela permet de meilleures conditions de charge et une meilleure sécurité d'alimentation; par contre, la protection des réseaux maillés est plus coûteuse.

3.1.6.1.2 Postes de transformation

Les postes de transformation offrent les plus grandes possibilités de normalisation du matériel. Signalons surtout les postes de transformation sur poteaux de type normalisé, employés en régions rurales faiblement habitées.

En Allemagne et en France, on a expérimenté avec succès des postes construits d'éléments préfabriqués selon les normes des entreprises distributrices. Les postes de transformation blindés offrent également des possibilités de rationalisation.

3.1.6.1.3 Critères adoptés pour la construction et pour le renforcement des réseaux

Pour la construction et le renforcement des réseaux dans les différentes régions examinées, les bases suivantes ont été retenues:

3.2 Evolution de la rentabilité de la distribution rurale

Dans la phase de l'électrification primitive, la rentabilité de la distribution (mise à part la période de lancement) était assurée par définition. On ne construisait que des réseaux rentables à brève ou moyenne échéance. Cette rentabilité se détériore au cours de la phase de généralisation, par suite des investissements considérables à effectuer.

Elle s'améliore ensuite, lorsque la phase de l'électrification intensive succède à l'électrification généralisée.

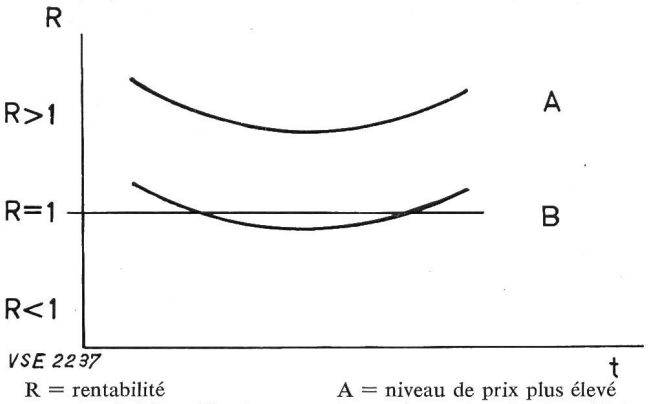
Si l'on exprime la rentabilité par la fraction

$$\frac{\text{Rendement}}{\text{taux normal d'intérêt}}$$

on peut représenter comme suit son évolution au cours des trois phases précitées.

Si l'on peut assurer par des tarifs socialement et économiquement admissibles un taux de rentabilité ≥ 1, il n'y a pas de problème d'investissement, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de solution de continuité entre les deux premières phases (primitive et généralisée) de l'électrification.

Si, au contraire, cette rentabilité ne peut être assurée au-delà d'une certaine limite par les ressources propres de l'exploitation, il convient que les pouvoirs publics interviennent en vue de la généralisation de l'électrification (et parfois même, dans les cas les plus difficiles, pendant un certain temps encore après que cette généralisation ait été atteinte).



R = rentabilité — A = niveau de prix plus élevé
t = degré d'électrification — B = niveau de prix plus réduit

Lorsque cette intervention est nécessaire même pour la pose du réseau primitif, la phase de l'électrification primitive se confond d'emblée avec celle de l'électrification généralisée.

3.3 Le concours des pouvoirs publics

La justification d'une intervention des pouvoirs publics réside dans le fait qu'il s'agit de mettre à la disposition du public un bien devenu indispensable à la vie et au développement économique.

La plupart des entreprises de distribution sont certes à même de prendre à leur charge pour quelque temps et dans une certaine mesure une détérioration de la rentabilité, à condition qu'il existe une chance de la voir s'améliorer ultérieurement par suite du développement de la vente d'énergie et qu'il existe de même des garanties en ce qui concerne le maintien, à ce moment, de tarifs suffisants.

Il est toutefois évident que, si les investissements dépassent une certaine limite, les pouvoirs publics doivent intervenir au moyen de subventions, pour abaisser les frais d'investissement et assurer ainsi la rentabilité de la distribution.

C'est la seule façon d'assurer une généralisation de la distribution. Dès ce moment, d'ailleurs, la situation peut changer: les investissements supplémentaires, nécessaires pour faire face à l'accroissement de la vente, peuvent alors, bien souvent, être considérés comme rentables.

Il existe, bien sûr, des cas où la dispersion de la population à desservir rend vaine la recherche d'un équilibre financier: en ce cas, le service de distribution ne sera jamais «self supporting». Le maintien d'une aide directe des pouvoirs publics se justifie alors par des raisons de politique sociale

Tableau VI

	Willisau	Seixal	N-E Modène	Neubourg	Ravensburg	Galloise
Postes/km²	0,8	0,47	0,63	0,36	0,6	—
Puissance installée en transformateur par 100 abonnés	500	30	73,5	112	185	—
Rayon d'action d'un PT km	0,5	1,8	1	0,4	—	
Différence de tension admissible	± 5 %	± 5 %	± 5 %	± 5...7 %	± 5 %	± 6 %
Puissance installée mise à disposition en kW par abonné (ménage)	10			5,5 [1])		4,5
Agriculture: Puissance kVA/ha	25	15		12,2		

[1]) 5,5 kW en monophasé, 16,5 kW en triphasé.

et de développement régional. Mais, en général, les pouvoirs publics n'interviennent plus, à ce stade, que d'une façon indirecte dans l'économie électrique, par le biais de leur politique économique et sociale générale: développement régional, rationalisation de l'agriculture, équipement rural, aménagement du territoire, etc.

3.4 Application de ces principes dans les zones étudiées

L'aide des pouvoirs publics est donc indispensable, ainsi qu'on vient de le voir, à l'électrification généralisée des régions rurales à faible densité de population. Dans la plupart des pays, la législation prévoit de telles contributions des pouvoirs publics.

3.4.1 Le plateau du Neubourg

En France, l'aide des pouvoirs publics a connu plusieurs modalités; pour la première et la deuxième phases de l'électrification, des contributions considérables des départements et des communes ont été prévues. En outre, les entreprises de distribution ont pu percevoir une taxe additionnelle temporaire sur les tarifs, de 5 à 9 %, au profit d'un fonds spécial d'amortissement.

En 1947, fut fondé le Syndicat départemental d'électrification rurale, qui groupait toutes les communes et qui retirait des ressources considérables de taxes additionnelles sur les tarifs. Le taux était d'environ 9 % du prix pour l'éclairage et de 8,4 à 10 % du prix de la force motrice. Le syndicat consacre une partie de ses ressources aux extensions du réseau BT pour alimenter de nouveaux groupes d'immeubles et des bâtiments publics. Chaque année, un programme officiel est fixé, qui doit être approuvé par le ministère de l'Agriculture et l'EDF.

L'exécution et le financement de ce programme sont assurés comme suit: pour les travaux de renforcement: 50 % EDF, 15 % communes, 35 % ministère de l'Agriculture; pour l'extension des réseaux: 25 % EDF, 15 % communes, 60 % ministère de l'Agriculture. En outre, il existe pour la zone considérée un programme non officiel, sans approbation de l'EDF, et financé par les taxes additionnelles sur les tarifs.

3.4.2 La zone au nord-est de Modène

En Italie, l'électrification de régions rurales est encouragée de différentes manières par les pouvoirs publics: subventions à fonds perdu dans les frais de construction du réseau, prêts à intérêt limité. Certaines provinces et communes accordent parfois de leur côté des subventions à la distribution.

Depuis la nationalisation des entreprises d'électricité, le nouvel organisme national, l'ENEL, a préparé un programme en vue de coordonner cette action. Suivant ce programme, le coût de l'électrification serait désormais pris en charge à 80 % par l'état, les 20 % restants demeurant à charge de l'ENEL. L'ENEL s'engagerait en échange à raccorder progressivement au réseau toutes les maisons et les fermes qui ne sont pas encore électrifiées.

3.4.3 La zone de Ravensburg

En *Allemagne,* l'Etat contribue surtout à l'électrification des régions agricoles. Pour la rationalisation de leurs entreprises, les agriculteurs obtiennent des prêts à intérêt réduit (en vue de la construction de nouvelles fermes ou l'amélioration de fermes existantes). (Voir ci-dessus au paragraphe 1.2.2.)

3.4.4 La région de Willisau

En *Suisse,* l'aide des pouvoirs publics se limite au raccordement d'exploitations très dispersées, surtout en région montagneuse. La fédération, les cantons et les communes participent à ces frais à concurrence de 40 %, tandis que l'entreprise de distribution en supporte 60 %.

3.4.5 La zone flamande

En *Belgique,* l'Etat a pris à sa charge 30 % des travaux pour l'électrification des habitations dispersées. Cette intervention ne suffisant pas pour résoudre les problèmes de rentabilité, les provinces et les communes ont pris leur part dans l'effort financier nécessaire. Les provinces ont supporté 30 % des frais; l'entreprise de distribution a pris à sa charge 3000 F belges par maison, et le reste fut payé par les communes. Pour 633 maisons non encore raccordées dans la zone étudiée en 1950, le total des frais était de 11,4 mill. de FB, dont 16,7 % furent supportés par l'entreprise de distribution, 41,2 % par l'Etat et la province et 42,1 % par les communes intéressées. A la troisième phase de l'électrification, les communes se sont associées aux entreprises de distribution au sein des «Intercommunales» et partagent avec elles les profits de l'exploitation.

3.4.6 La zone de Seixal

Au *Portugal* ont été édictées des lois prévoyant l'octroi de subventions de l'Etat pour la construction des réseaux électriques. Ce n'est qu'en 1955 que cette aide de l'Etat a été intensifiée. La loi de 1955 prévoit le paiement, par l'Etat, de 50 à 75 % des frais de premier établissement des réseaux ruraux. Pour le renforcement et la modification de réseaux, la contribution de l'Etat s'élève encore à 20 ou 50 %. Ces contributions de l'Etat sont versées aux communes, qui les transmettent aux entreprises de distribution. Le reste des frais est supporté par les communes, les entreprises de distribution, ou par les deux.

En fin de concession, les installations subventionnées font retour gratuitement aux communes, c.-à-d. dans la proportion des subventions accordées.

3.5 Nécessité d'une politique cohérente

Une dernière remarque s'impose. Si l'on considère l'effort considérable accompli par les pouvoirs publics dans le domaine de la distribution d'électricité, il apparaît indispensable de ne pas gaspiller cette aide en soutenant plusieurs formes d'énergie, ce qui serait nuisible à l'économie générale. Si l'électricité, pour des raisons techniques, sociales et économiques, est la seule à pouvoir apporter à chaque maison l'énergie nécessaire à l'éclairage, la radio, la télévision, les armoires frigorifiques et à tous les moteurs électriques, etc., elle peut aussi être employée, sans grands frais supplémentaires, pour les usages thermiques, tels que la cuisinière, le chauffe-eau, les cuiseurs de plantes fourragères, etc.

Du point de vue de l'économie générale, il n'est pas souhaitable de ne charger l'électricité que d'une partie des tâches, et de subventionner, pour les autres, d'autres formes d'énergie incapables de les assurer toutes. La politique de subvention des pouvoirs publics doit rester cohérente.

4. Conclusions générales

Nous pouvons dégager de nos comparaisons une série de constantes:

4.1

Quelles que soient les situations particulières, l'électrification des zones rurales passe généralement par trois phases successives:

a) Le distributeur — en général, au départ, un concessionnaire particulier ou une société commerciale — pose ses réseaux partout où la fourniture de «l'éclairage électrique» lui semble pouvoir assurer, dans un avenir plus ou moins proche, une certaine rentabilité de ses capitaux. C'est «*l'électrification primitive*»;

b) Avec le souci de procurer à tous les bienfaits non seulement de l'éclairage, mais aussi de la «petite» force motrice électrique (pour alléger notamment les travaux agricoles), les pouvoirs publics encouragent — et la plupart du temps, subventionnent — un programme d'«*électrification généralisée*»;

c) Une fois cette phase atteinte et compte tenu de l'accroissement des ressources individuelles et de la multiplicité des applications de l'électricité, les distributeurs s'attachent à pratiquer une politique d'information, de promotion et d'amélioration du service, destinée à réaliser *l'électrification intensive* des zones qui leur sont confiées. Cette phase coïncide généralement avec des regroupements d'exploitation ou des réformes structurelles et une collaboration accrue avec les pouvoirs publics locaux et régionaux.

Toutes les zones examinées ont dépassé le stade de l'électrification primitive. Les zones galloise et suisse, de même que la région de Ravensburg, sont déjà fort avancées dans la phase «intensive»; la zone flandrienne et la zone du Salzkammergut ont également doublé ce cap, tandis que la zone du Neubourg, celle de Modène et celle du Seixal s'apprêtent à achever la généralisation de la distribution.

Il importe de redire ici que l'ambition de l'entreprise de distribution doit être d'accélérer au maximum le passage d'une phase à l'autre.

C'est ainsi que, dans la zone du Neubourg, les deux dernières phases se «télescopent»: les préoccupations de l'EDF vont déjà à l'intensification des applications diverses, avant même que tous les immeubles de la zone soient raccordés au réseau.

Ceci ne nous empêche pas de penser qu'un distributeur, déchargé du souci de l'électrification des derniers écarts, se trouve psychologiquement mieux placé pour mener avec dynamisme une action de développement en profondeur de la consommation.

Il faut également tenir compte, à chaque phase, des nécessités ultérieures de la distribution: une vue prospective est indispensable tant au point de vue technique (emplacement des cabines, renforcement ultérieur des conducteurs, passage du monophasé au triphasé, qu'en ce qui concerne l'aménagement du territoire (extension des quartiers d'habitation, zone industrielle, développement du tourisme, etc.).

Seul un examen attentif de ces perspectives, la recherche systématique d'information à ce sujet et un contact étroit avec les instances compétentes permettent au distributeur de poser correctement les problèmes d'investissement et d'éviter aussi bien les inconvénients d'une excessive timidité (obligation de «refaire» plusieurs fois le réseau à quelques années d'intervalle) que ceux d'une trop grande témérité (investissements exagérés, charges financières stériles).

En tout état de cause, les réseaux doivent être conçus de manière à permettre d'exécuter aux moindres frais les renforcements ou extensions ultérieurs.

4.2

Les subventions directes des pouvoirs publics sont généralement indispensables pour passer du stade de l'électrification *primitive* à celui de l'électrification *généralisée*. Il est suffisamment démontré que, faute d'une politique résolue dans ce domaine, les zones rurales sont appelées à péricliter et finalement à se dépeupler. Il faut éviter à cet égard l'écueil nullement imaginaire, de limitations techniques exagérées dans les conditions d'octroi de subventions pour la construction de réseaux: on a vu dans certaines régions maintenir, de ce fait, des tensions de distribution inadéquates ou construire de trop longues antennes, ce qu'une réglementation plus souple eût pu éviter. Au stade de l'électrification *intensive*, le concours des pouvoirs publics se traduit généralement d'une autre manière. Il consiste surtout dans l'adoption d'une politique de développement régional, de rationalisation de l'agriculture, de décentralisation industrielle, de rénovation de l'artisanat (crédit professionnel), d'amélioration des communications, etc.

Ce concours n'en reste pas moins très précieux: rappelons à cet égard — à titre d'exemple — l'efficacité de l'aide apportée dans la zone de Ravensburg et dans la zone de Willisau par les subventions et les crédits avantageux attribués par l'Etat pour l'équipement des fermes en complément des efforts accomplis dans le même but par le distributeur lui-même.

On nous permettra d'appliquer ici à l'aide des pouvoirs publics ce que nous avons dit au paragraphe précédent de l'action des distributeurs et de souligner l'intérêt qu'il peut y avoir à s'engager, même avant la réalisation complète d'une électrification généralisée, dans une action d'intensification de la consommation. L'expérience de régions plus avancées dans cette voie peut en effet servir de guide et permettre d'orienter dès ce moment l'action des pouvoirs publics vers les objectifs généraux de développement rural, que nous venons de citer.

Grâce à l'électricité, en effet, la «ville» a cessé d'avoir le monopole des conditions de viabilité de l'artisanat, de l'industrie, du commerce comme de l'administration, de l'enseignement, de la culture, etc. Mais il appartient aux pouvoirs publics de tirer parti de ces possibilités.

4.3

L'expérience des zones suisse, allemande et belge montre d'ailleurs à suffisance qu'il existe une nette corrélation entre l'électrification et l'évolution sociale: à l'électrification intensive correspond un plus grand attachement des populations à la vie rurale, une augmentation du nombre d'habitants, une amélioration du niveau de vie. En sens inverse, la lenteur relative de l'électrification de la zone au nord de Modène ne doit pas être entièrement étrangère au dépeuplement de la région.

Mais il faut dire — l'exemple gallois est frappant à cet égard — que l'électrification, à elle seule, ne peut influencer de façon déterminante l'évolution démographique. L'exemple

français et l'exemple autrichien le montrent également. La promotion de l'économie régionale, l'amélioration de l'habitat, un meilleur aménagement du territoire ont une importance essentielle [1]).

C'est que l'électrification n'est pas une initiative isolée; elle ne peut être dissociée de son contexte. Faute de quoi d'ailleurs, elle manque ses meilleures chances. C'est pourquoi tous les facteurs démographiques, géographiques, économiques et humains retiennent, à bon droit, l'attention des responsables de la gestion des entreprises de distribution.

Dans ce but, ils collaborent avec toutes les instances publiques ou privées ayant une responsabilité quelconque dans le développement régional.

En d'autres termes, le distributeur d'énergie électrique en région rurale ne peut se contenter d'être un bon technicien, un bon gestionnaire et un bon commerçant: il se sent aussi co-responsable de l'amélioration du niveau de vie de la population desservie et prend dès lors, légitimement, toute initiative utile dans ce sens.

Personne ne s'étonne d'ailleurs de constater la nécessité, pour une entreprise d'utilité publique, de baser son activité sur un intérêt sincère pour l'ensemble des problèmes humains de sa région.

[1]) Les observations sont concordantes à cet égard: la diversification des activités économiques permet à l'électricité de jouer un rôle plus important dans chacune d'elles.

4.4

Il appartient cependant, avant tout, au distributeur d'assurer aux populations rurales un service aussi proche que possible des conditions d'exploitation régnant à la ville. Il doit veiller à la sécurité d'alimentation (continuité de la fourniture), au maintien d'une réserve de puissance suffisante, à la stabilité de la tension. Il doit assurer sur place un service technique et commercial personnalisé et appliquer, si possible, les mêmes tarifs qu'en ville. Il faut cependant reconnaître que, dans bien des cas, ce dernier point n'est possible que moyennant transferts, soit par l'intermédiaire des pouvoirs publics, soit — ce qui est préférable — par péréquation interne.

Tout cela implique, bien entendu, l'adoption de solutions techniques convenables, conçues en fonction des situations rurales et du but que l'on s'est assigné. Cela implique également le choix et la poursuite résolue d'une politique d'expansion et de diffusion sans restriction de toutes les applications, c'est-à-dire la recherche de l'équilibre financier à un niveau élevé de consommation.

Il nous paraît en effet évident qu'une promotion vigoureuse des ventes et une organisation souple, centrée sur le service et l'information, sont seules capables d'assurer la rentabilité normale des capitaux à investir dans un tel programme et de procurer du même coup, à la distribution en zone rurale, la qualité de service que mérite son importance économique et sociale.

Le chauffage électrique des locaux en Suède

par *W. Locher*, Lucerne

644.1:621.365(485)

1. Indications générales

Avec une superficie de 450000 km², presque 11 fois plus étendue que la Suisse, la Suède comptait 7,84 millions d'habitants le 1er janvier 1967. 4,53 millions vivent dans les villes et 3,31 millions à la campagne. La densité de la population est de 19 habitants par km². Il est vrai que 10 % seulement de la superficie totale consistent en terres arables et en prairies, 50 % sont couverts de forêts et le reste est accaparé par les montagnes et les lacs, dont on dit que la Suède en possède plus de 90000.

L'électricité couvre à l'heure qu'il est le tiers environ des besoins globaux d'énergie, lesquels accusent en moyenne un taux de croissance annuelle de 3 %. On estime les réserves de forces hydrauliques du pays à quelque 200000 GWh, dont 80000 GWh sont économiquement exploitables.

En 1966 on a produit 50770 GWh, dont 45650 dans des usines hydrauliques et 5120 dans des usines thermiques. On a importé en outre 1490 GWh de Norvège et du Danemark. A cette époque, la puissance installée totale dans les usines atteignait 12300 MW.

En Suède, le consommateur principal d'énergie électrique est la grosse industrie, avec 22490 GWh. En 1966, les petits abonnés ont consommé 15210 GWh, l'industrie électrochimique et électrothermique 2690 GWh, les chemins de fer 1830 GWh et les chaudières électriques 1110 GWh, tandis que 2580 GWh étaient exportés.

L'entreprise de l'Etat participe pour 45 % à la production globale d'énergie de la Suède; 40 % sont produits par des usines privées et 15 % par des entreprises communales.

L'entreprise de l'Etat fut créée en 1909 et s'occupait au début en première ligne de la mise en valeur des riches forces hydrauliques à l'extrême nord du pays. A cet effet, il fallait établir un vaste réseau de lignes à haute tension, pour livrer l'énergie produite aux chemins de fer de l'Etat, à l'industrie, aux entreprises communales et aux sociétés privées de distribution. Les usines de l'Etat ne fournissent directement le courant aux petits abonnés que sur une faible échelle. Elles sont organisées en une entreprise commerciale indépendante, avec une direction générale à Stockholm et 7 directions d'exploitation dans les diverses régions de ce vaste pays, allongé du nord au sud. En 1966 la production d'énergie des usines de l'Etat s'est élevée à 23840 GWh.

Appartiennent aux entreprises communales toute une série de grands services urbains, dont une partie possède des centrales propres, hydrauliques et thermiques, comme Stockholm et la ville de Skellefteå, tandis que d'autres achètent toute l'énergie dont ils ont besoin à l'entreprise de l'Etat.

Parmi les entreprises privées figure une série de grands consortiums industriels, qui produisent eux-mêmes leur énergie électrique. A côté de cela il existe un certain nombre d'entreprises électriques régionales privées, dont une partie des actions sont aux mains de services urbains. La plus grande entreprise de ce genre, les Forces motrices de la Suède méridionale, a accusé un mouvement total d'énergie de 5910 GWh en 1966.

Le réseau à très haute tension de la Suède comprend aujourd'hui, en chiffre rond, 3500 km de lignes à 400 kV et 4800 km de lignes à 220 kV. La première ligne à 220 kV fut construite déjà en 1936 et c'est en 1952 qu'entra en service la

première ligne à 400 kV entre Harspånget et Hallsberg, d'une longueur approximative de 1000 km. L'entreprise de l'Etat a constitué un pool avec les autres entreprises possédant des lignes à très haute tension, de sorte qu'actuellement tout le réseau est exploité uniformément. Dans l'ouest et le sud de la Suède on rencontre encore fréquemment des lignes à 130 et à 70 kV. Le transport sous tension moyenne a lieu à 40, 20, 10 ou 6 kV. La tension de la distribution générale est normalisée à 220/380 V.

Un cas particulier est celui du câble sous-marin entre la terre ferme et l'île de Gotland, exploité en courant continu sous 100 kV et qui a 100 km de longueur environ. Sur le continent se trouve une station de redresseurs alimentée par le réseau à 130 kV, tandis que dans l'île le courant continu est retransformé en courant triphasé pour être livré au réseau à 30 kV.

2. Situation du marché

Au cours des dernières décennies, le taux d'accroissement annuel de la consommation d'électricité est resté assez constant, soit 6,5 %. Durant les années de guerre, la construction de nouvelles installations hydrauliques était restée un peu en retard, de sorte que les entreprises de distribution d'électricité eurent de la peine à tenir la cadence de la demande rapidement croissante en période d'après-guerre. C'est pourquoi l'on commença, parallèlement à l'extension de la mise en valeur des réserves hydrauliques, à construire des usines thermiques à combustion de charbon et de mazout. Jusque vers la fin de la dernière décennie, les entreprises d'électricité renoncèrent à toute propagande susceptible de favoriser la consommation. Mais entre-temps le prix du mazout a fortement baissé aussi en Suède, de sorte que le chauffage moderne au mazout a refoulé de plus en plus l'ancien chauffage au charbon et au bois, englobant du même coup la préparation d'eau chaude, qui fut enlevée à l'électricité.

Par ailleurs, les prix de revient des usines thermiques purent être diminués grâce aux prix plus bas de l'huile et aux rendements meilleurs des unités de turbines toujours plus puissantes. En outre, il se dessine pour le proche avenir une autre dégression des prix, due à l'entrée en service des usines nucléaires. Une centrale nucléaire développée en Suède même, d'une puissance thermique de 65000 kW, est déjà en service au sud de Stockholm. Le réacteur, qui consomme de l'uranium naturel et utilise l'eau lourde comme modérateur et réfrigérant, fournit la vapeur tant pour le chauffage à distance d'un faubourg de Stockholm que pour l'exploitation d'une turbine à basse pression de 11000 kW. L'entreprise de l'Etat a en construction une autre centrale nucléaire du même type mais plus puissante à Marviken. Quelques entreprises privées importantes ont constitué un consortium pour financer la construction d'un réacteur à eau bouillante, type américain.

3. Nouvelle politique de vente

Au début des années soixante, une nouvelle situation s'est présentée sur le marché suédois de l'énergie: il fallait trouver un débouché adapté à la production rapidement croissante des nouvelles usines thermiques, classiques et atomiques; le chauffage électrique des locaux venait au premier plan.

Pour donner plus d'attrait au courant destiné au chauffage, il s'agissait de remanier la structure des tarifs suédois. Chaque entreprise d'électricité a naturellement le droit d'appliquer ses propres tarifs. Cependant, l'Union des Centrales suédoises d'électricité publie des directives sur la forme et les taux des tarifs, qui sont généralement suivies par les entreprises. Il est vrai que dans le nord du pays, avec sa concentration de centrales hydrauliques de grande puissance, les prix du courant sont un peu plus bas que dans les autres régions de la Suède. Basé sur les directives élaborées ces dernières années, un tout nouveau système tarifaire s'est imposé pour les petits abonnés, que nous allons esquisser à l'aide des tarifs de l'entreprise d'Etat. Par la suite, ces tarifs furent également adoptés, pour l'essentiel, par les autres sociétés.

4. Tarifs

Les petits abonnés sont alimentés sur la base de tarifs binômes. La taxe de base est fixée d'après la grandeur du coupe-circuit principal. L'abonné a le choix entre les 6 tarifs suivants:

4.1 Tarif normal A (tarif 11)

4.1.1 Taxe de base:

Tableau I

Classe d'abonnement	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Calibre du coupe-circuit (A) principal pour 380/220 V	16	20	25	35	50	63	80	100	> 100
Taxe de base («S») en fr./an	112	168	224	336	510	660	920	1270	[1])

[1]) Selon convention spéciale

Pour le système de tension 127/220 V qui n'est pas normalisé jusqu'à présent, la taxe de base est abaissée de 2 classes, c'est-à-dire que les abonnés avec 25 A ou moins paient fr. 112.– par an! Si le raccordement est monophasé, les abonnés avec un coupe-circuit principal jusqu'à 50 A sous 220 V, ou bien jusqu'à 63 A sous 127 V sont rangés dans la classe 1.

4.1.2 Prix de l'énergie: 6,7 ct./kWh

4.2 Tarif normal B (tarif 17)

4.2.1 Taxe de base: 2 × S (donc le double de la taxe de base du tableau I)

4.2.2 Prix de l'énergie: 4,6 ct./kWh

4.3 Tarif double (tarif 21)

4.3.1 Taxe de base: S (selon tableau I)
en plus taxe fixe: fr. 50.—/an

4.3.2 Prix de l'énergie: HT (06...22 h) 6,7 ct./kWh; BT (22...06 h) 3,35 ct./kWh

4.4 Tarif à puissance limitée (tarif 31)

4.4.1 Taxe de base: S (selon tableau I)
en plus taxe fixe: fr. 50.—/an
Taxe de puissance pour la puissance de base abonnée: fr. 100.— par kW et par an

4.4.2 Prix de l'énergie:

4.4.2.1 pour la consommation dans les limites de la puissance abonnée: 2,7 ct./kWh

4.4.2.2 pour le surplus de la consommation: 6,7 ct./kWh

4.5 Tarif pour charge constante (tarif 41)

4.5.1 Taxe de base: S (selon tableau I)
Taxe de puissance: fr. 61.— par kW et par an
Pour calculer la taxe de puissance, on prend la moyenne des 4 maxima mensuels des 15 minutes les plus chargeés.

4.5.2 Prix de l'énergie: 3,4 ct./kWh

4.6 Tarif pour de courtes durées d'utilisation (tarif 51)

Taxe annuelle fixe fr. 1260.—

4.6.1 Taxe de puissance:

jusqu'à 50 kW —

au-dessus de 50 kW fr. 40.— par kW supplémentaire et par an

4.6.2 Prix de l'énergie: 6,7 ct./kWh

Pour calculer la taxe de puissance, on prend la moyenne des 4 maxima mensuels des 15 minutes les plus chargeés. Ce nouveau système de tarifs a déjà été introduit et sert de base à la facturation du courant pour la plupart des petits abonnés. Ajoutons que les tarifs 41 et 51 sont appliqués avant tout au petit artisanat. Les consommateurs qui chauffent leur habitation à l'électricité peuvent choisir entre les tarifs 17, 21 et 31.

En plus de ces tarifs il est exigé une taxe générale sur l'énergie, prélevée par l'Etat, qui se monte à 7 % de la facture de courant pour les petits consommateurs, et à 10 % pour les gros.

Nous allons donner deux exemples permettant de connaître les répercussions de ces tarifs.

Exemple A

Abonné domestique sans chauffage électrique des locaux, consommant annuellement 4000 kWh. Dans ce cas, c'est le *tarif 11* qui est appliqué.

Taxe de base (coupe-circuit principal de 16 A)	fr. 112.—
Prix de l'énergie: 4000 kWh à 6,7 ct.	fr. 268.—
Total par année	fr. 380.—

Le prix moyen est de 9,5 ct./kWh.

Exemple B

Abonné domestique avec chauffage électrique des locaux, consommant 20000 kWh au total par année (y compris la cuisson, l'eau chaude, etc.).

Avec le tarif 17:

Taxe de base (coupe-circuit principal 20 A) 2 × 168 fr.	fr. 336.—
Prix de l'énergie: 20000 kWh à 4,6 ct.	fr. 920.—
Total par année	fr. 1256.—

L'énergie revient en moyenne à 6,28 ct./kWh.

Avec le tarif 31:

La puissance de base abonnée est de 3,5 kW	
Consommation dans les limites de la puissance abonnée	18000 kWh/an
Consommation additionnelle	2000 kWh/an
Taxe de base (coupe-circuit principal 20 A)	fr. 168.—
Taxe fixe supplémentaire	fr. 50.—
Taxe de puissance 3,5 kW à fr. 100.—	fr. 350.—
Prix de l'énergie: 18000 kWh à 2,7 ct.	fr. 486.—
2000 kWh à 6,7 ct.	fr. 134.—
Total par année	fr. 1188.—

Le prix moyen est de 5,94 ct./kWh.

Dans tous ces trois exemples s'ajoute encore la taxe de l'Etat, égale à 7 % du montant de la facture.

Le prix moyen pour une consommation annuelle dans le ménage de 4000 kWh atteint 9,5 ct./kWh et s'approche ainsi des conditions rencontrées en Suisse. Il est remarquable, toutefois, que *la taxe de base est sensiblement plus élevée que chez nous, ce qui permet par ailleurs de maintenir bas le prix de l'énergie.* Ce fait explique aussi pourquoi les chauffe-eau à accumulation à chauffage nocturne sont loin d'avoir trouvé en Suède une diffusion aussi étendue qu'en Suisse. Lors de la visite de différentes maisons pour une famille dans le nord de la Suède, il a été frappant de constater que partout un chauffe-eau à accumulation électrique de 450 à 500 litres était en service continu. La préparation d'eau chaude obtenue de cette façon en quantité pratiquement illimitée facilite la concurrence avec les installations chauffées au mazout.

L'exemple B d'un consommateur avec chauffage électrique des locaux a été calculé selon les tarifs 17 et 31, qui sont l'un et l'autre au libre choix des abonnés. On est parti de la supposition qu'il y a chauffage direct, mode resté prépondérant en Suède jusqu'à ce jour. Pour une accumulation de nuit, c'est le tarif 21 (tarif double) qui entrerait en ligne de compte!

Le calcul au tarif 17 donne avec 6,28 ct./kWh un prix moyen un peu plus élevé qu'au tarif 31 avec 5,94 ct./kWh. Cependant, ces deux chiffres peuvent être qualifiés de favorables. Le tarif 17 paraît être le plus employé, étant donné qu'au tarif 31, avec une charge de base aussi faible que celle admise de 3,5 kW, il faudrait atteindre une durée d'utilisation de plus de 5000 heures, ce qui semble élevé, même en tenant compte des longues périodes de chauffage en Suède. Selon la dimension du coupe-circuit principal, on pourrait prélever une puissance de 12 kW. Par conséquent, le tarif 31 n'est intéressant que pour les abonnés profitant d'une longue durée d'utilisation.

Ainsi que nous l'avons dit au début, ces tarifs valent pour le domaine de l'entreprise de l'Etat, mais ils ont été adoptés en grande partie par les autres entreprises. Il existe encore à côté de cela des tarifs spéciaux pratiqués par quelques sociétés, p. ex. un tarif de nuit pour le chauffage à accumulation, avec compteur séparé, qui prévoit une taxe annuelle de base de fr. 66.50 et un prix du courant de 2,9 ct./kWh entre 22 et 06 heures.

5. Isolement thermique des bâtiments

Tout en baissant les prix du courant, les entreprises d'électricité encouragèrent les propriétaires à prévoir un meilleur isolement thermique des bâtiments, soutenues par des prescriptions de l'Etat et grâce à l'octroi par les banques de crédits de construction particulièrement favorables pour les édifices bien calorifugés. Les fenêtres sont toutes à double, voire à triple vitrage.

Pour les maisons entièrement chauffées à l'électricité, on recommande les valeurs suivantes de k, coefficient de conductivité calorifique:

pour les parois extérieures	0,2 à 0,3 kcal/m². °C. h
pour les toitures	0,15 à 0,2 kcal/m². °C. h
pour les planchers	0,2 à 0,4 kcal/m². °C. h

Dans un rapport récent, on a examiné l'influence d'un isolement excellent ou normal de maisons à une famille à chauffage électrique direct, sur la puissance appelée et la consommation de courant. Le tableau II en illustre l'intéressant résultat.

Influence de l'isolement sur la puissance appelée et la consommation de courant, en cas de chauffage électrique direct

Tableau II

Stockholm 100 m², Δt = 39 °C	très bon isolement		isolement normal	
	kW	kWh	kW	kWh
transmission de chaleur	4,7	13 100	6,9	19 400
ventilation	1,7	4 700	1,7	4 700
eau chaude	1,0	4 700	1,0	4 700
chaleur libre (free heat)	—0,5	—3 500	—0,5	—3 500
Total approximatif	7,0	19 000	9,0	25 500

Les chiffres du tableau II se rapportent à une maison à une famille, d'une superficie de 100 m², aux environs de Stockholm. Pour une température interne de 21° on a admis une température externe de −18°, qui n'intervient que tous les 15 ans durant plus de 5 jours par année. Il s'agit donc d'adapter le système de chauffage à une différence de température Δt de 39°.

En se basant sur des données expérimentales, on a estimé à 4 Gcal par an la consommation de chaleur nécessitée pour l'eau chaude d'une maison de cette grandeur. Cette quantité d'énergie est produite sans difficultés par un chauffe-eau électrique d'une capacité de 1 m³ (1000 l) avec un élément chauffant de 1 kW. Il serait possible de le bloquer pendant les pointes.

Ce qu'on est convenu d'appeler la «chaleur libre» (free heat) et qui provient du rayonnement solaire, de la chaleur dégagée par le corps des habitants, les lampes et les petits appareils électro-ménagers, nous l'avons prudemment portée en compte pour 3500 kWh/an.

Pour la ventilation, on a admis un renouvellement complet de l'air dans l'espace de 2 heures.

Pour une très bonne isolation il a été fait usage de matériel ayant un coefficient de conductivité thermique $k = 0{,}32$ kcal/m². °C. h, tandis que pour une isolation normale on a utilisé du matériel avec $k = 0{,}47$ kcal/m². °C. h.

Il ressort du tableau II qu'avec *une isolation optimum, la puissance nécessaire peut être réduite de 2 kW et la consommation annuelle de courant de 6500 kWh!* Puissance et énergie dépendent naturellement du climat et de la grandeur de la maison. Le tableau III indique les données correspondantes pour 3 objets de diverses grandeurs, situés dans une ville du nord, du centre et du sud de la Suède.

Influence de la grandeur du bâtiment et du climat sur la puissance et l'énergie nécessaires, pour le chauffage électrique direct

Tableau III

Superficie m²	Pitea Suède-nord		Stockholm Suède-centre		Hälsingborg Suède-sud	
	kW	kWh	kW	kWh	kW	kWh
Isolation optimum						
80	7,5	21 500	5,5	16 000	5,5	14 000
100	9,0	26 000	7,0	19 000	6,5	17 000
150	12,5	37 000	9,5	26 500	9,0	23 500
Isolation normale						
80	10,0	29 000	7,5	21 000	7,0	18 000
100	12,0	34 500	9,0	25 500	8,5	22 500
150	12,0	48 500	13,0	35 500	12,0	31 500

6. Comparaison des frais

L'entreprise d'Etat suédoise a aussi établi une comparaison des frais entre un chauffage central à eau chaude fonctionnant au mazout, et un chauffage électrique direct. Elle était consciente des difficultés de cette entreprise, vu les nombreux facteurs tels que la situation géographique, le climat local, le degré d'isolation du bâtiment, la fréquence de l'aération, l'état du brûleur à mazout, le coût de l'huile et les exigences individuelles des habitants de la maison, susceptibles d'influencer le résultat d'une telle comparaison. Pour que celle-ci soit correcte, il faut admettre dans les deux cas une très bonne isolation de la maison, y compris l'éventualité d'une isolation supplémentaire pour le chauffage électrique. Par ailleurs, pour le chauffage au mazout, on doit tenir compte des frais aupplémentaires pour le local de la chaudière, la cheminée et le ramonage de celle-ci.

Comme objet de comparaison, on a pris de nouveau une

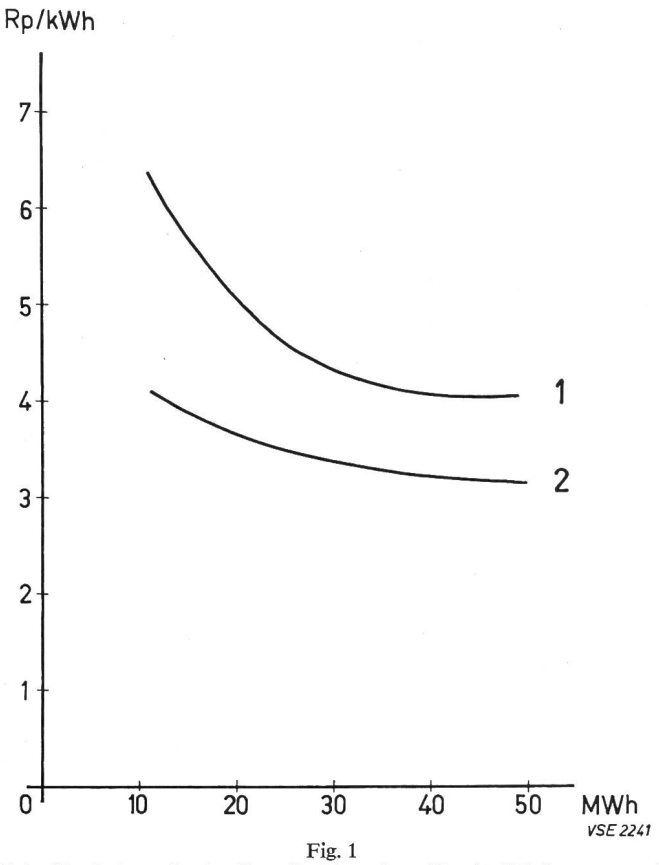


Fig. 1

Prix d'équivalence du chauffage électrique (sans l'impôt d'Etat) par rapport au mazout, pour un rendement global du chauffage central au mazout = 50 %

1 chauffage électrique direct
2 chauffage électrique à accumulation

maison à une famille, de 100 m² de surface, située à Stockholm. Pour le rendement global de l'installation de chauffage au mazout, on a admis les variantes de 50 % et de 60 %. Le coût de la consommation d'huile diffère aussi selon les cas; on a admis un prix de fr. 150.—/m³ (fr. 18.—/100 kg).

Pour calculer le prix d'équivalence du chauffage électrique, on a admis dans les tableaux IVa et IVb les mêmes frais annuels pour les deux modes de chauffage. Dans le prix du courant est comprise la taxe de 7 % prélevée sur l'énergie. Le prix d'équivalence net proprement dit se tiendrait donc, pour une isolation optimum, entre les limites de 4,6 à 5,1 ct./kWh et pour une isolation normale de 4,1 à 4,6 ct./kWh.

Frais d'installation et d'exploitation en francs et prix d'équivalence en ct./kWh pour un bungalow de 100 m² à Stockholm

Tableau IVa

	Chauffage central au mazout			
	Isolation optimum		Isolation normale	
	Frais d'install.	Frais annuels	Frais d'install.	Frais annuels
Isolation supplémentaire	2100.—	110.—	—.—	—.—
Local de la chaudière cheminée	1700.—	90.—	1700.—	90.—
Installation du chauffage	5500.—	410.—	5500.—	410.—
Total	9300.—	610.—	7200.—	500.—
Ramonage		125.—		125.—
Mazout (Fr. 18/100 kg		550.— à 660.—		670.— à 810.—
Frais globaux annuels	1285.— à 1395.—		1295.— à 1435.—	

Tableau IVb

	Chauffage électrique direct			
	Isolation optimum		Isolation normale	
	Frais d'install.	Frais annuels	Frais d'install.	Frais annuels
Isolation supplémentaire	3400.—	185.—	—.—	—.—
Local de chauffe cheminée	—.—	—.—	—.—	—.—
Installation du chauffage	2500.—	175.—	2900.—	190.—
Total	5900.—	360.—	2900.—	190.—
Prix d'équivalence de l'énergie électr. en ct./kWh corresp. aux frais annuels ci-dessus		4,9...5,5		4,4...4,9

Ces prix sont valables exclusivement pour le courant de chauffage. Si l'énergie totale pour le ménage était vendue à un tarif unique, il en résulterait d'après les données de l'Entreprise d'Etat une augmentation de 0,85 ct./kWh pour le prix moyen d'équivalence.

Ces prix d'équivalence ont été calculés aussi pour différentes grandeurs de maison dans les diverses régions de la Suède. Les plus importants sont groupés dans le tableau V.

Prix d'équivalence en ct./kWh, sans la taxe d'Etat (7%). Suppositions: isolation optimum, rendement global du chauffage au mazout 50% (Taxe d'Etat sur l'huile: 8%) Tableau V

Surface occupée par la maison m²	Suède du nord Piteå	Suède centrale Stockholm	Suède du sud Hälsingborg
80	5,2	5,6	6,0
100	4,9	5,1	5,5
150	4,4	4,5	4,6

Avec un rendement du chauffage au mazout de 60 %, les prix d'équivalence sont inférieurs de 0,5 ct./kWh.

On a représenté dans la fig. 1, sous forme de courbes, les prix d'équivalence pour le chauffage électrique direct et pour le chauffage à accumulation. Plus les besoins de courant augmentent et plus le prix d'équivalence diminue, jusqu'à ce qu'il atteigne le minimum pour 50 MWh environ.

On peut dire en terminant que, pour une maison à une famille bien isolée de grandeur moyenne en Suède centrale, le prix d'équivalence par rapport au mazout est actuellement de 5 ct./kWh.

7. Prix de revient et de distribution de l'énergie

L'entreprise d'Etat a essayé de calculer les frais de l'énergie pour le chauffage électrique. On a déterminé à 3500 heures environ par année la durée d'utilisation du chauffage électrique des locaux. En supposant que l'énergie est produite dans des centrales thermiques classiques modernes (usines à vapeur à condensation et usines à turbines à gaz), que le prix du mazout est de 5,5 ct./Gcal et que le taux de l'intérêt pour les capitaux empruntés reste au niveau de 6½ %, on a calculé un prix de revient de 2,9 ct./kWh. Ces prix pourraient baisser encore de quelques dixièmes de centime, si l'on recourt à des centrales atomiques. Par conséquent, on peut calculer avec un prix de revient de 2,5 à 3,0 ct./kWh au départ de la centrale.

Selon la situation géographique, les frais de transport par le réseau à haute tension varient de 1,7 à 2,5 ct./kWh. Dans le nord de la Suède, ils sont en général de 0,4 ct./kWh plus bas que dans les autres régions du pays.

On sait que *les frais de distribution dans le réseau local baissent rapidement avec un meilleur degré d'utilisation,* ce qui se répercute par une forte diminution du prix de l'énergie électrique de chauffage.

Frais de distribution locale, calculés pour 253 maisons à une famille Tableau VI

	sans chauff. él. ct./kWh	avec chauff. él. ct./kWh
Distribution à 10 kV	1,30	0,57
Transformation 10/0,4 kV	0,58	0,24
Distribution à 0,4 kV	3,55	0,73
Pertes	0,05	0,07
Total	5,48	1,61

Des calculs analogues ont porté sur des colonies de maisons pour une famille dans le nord de la Suède; ils ont donné pour la distribution un coût marginal de l'ordre de 0,9 ct./kWh. Dans les régions à population clairsemée on arrive à des valeurs de 1,3 ct./kWh.

On peut conclure de ces calculs qu'en Suède centrale, dans le domaine de l'entreprise de l'Etat, le prix de revient de l'énergie pour le chauffage électrique direct reviendra à 5,1...5,9 ct./kWh, un peu moins dans le nord du pays. Ces chiffres, qu'il faut entendre loco consommateur se tiennent à peu près au niveau des prix d'équivalence précédemment calculés.

8. Avantages du chauffage électrique des locaux

Mais le chauffage électrique des locaux offre encore toute une série d'avantages, qui n'apparaissent pas entièrement dans la comparaison des prix. Ce sont: le réglage rapide, la propreté et la sûreté d'un fonctionnement sans pannes. Plus de remplissage de tanks, plus d'entretien du brûleur, plus de cheminée. Pas de flamme ouverte dans la maison, ni odeur d'huile, ni pollution de l'air, sans parler de l'élimination du danger de tanks inétanches. Il n'y a plus de tuyaux inesthétiques et de radiateurs difficiles à nettoyer. *Un réglage rapide et individuel de la température ambiante est possible.*

Ainsi que nous l'avons vu d'après les exemples exposés dans ce rapport, la recette moyenne provenant d'un abonné dont le ménage est chauffé à l'électricité se situe entre 5,9 et 6,3 ct./kWh pour une consommation annuelle globale de 20000 kWh. Ce prix ne comprend pas la taxe de 7 % prélevée par l'Etat sur l'énergie dépensée. Mais il faut ajouter qu'une taxe de 8 % est aussi prélevée sur le chauffage au mazout.

Il serait intéressant de connaître l'influence du chauffage électrique direct sur le diagramme de charge. La centrale urbaine de Skellefteå, une ville côtière dans le nord de la Suède, a effectué des mesures à cet effet, arrivant à des résultats fort impressionnants. Dans la fig. 2 on a représenté l'allure de la charge dans un quartier d'habitations comptant 32 maisons chauffées à l'électricité, un jour de décembre, et d'autre part la courbe de charge d'une colonie de 115 maisons sans chauffage électrique. Ce qui surprend, c'est la charge nocturne élevée, bien que dans cette région il n'y ait ni installations de chauffage à accumulation, ni chauffe-eau à accumulation, mais où tout fonctionne par chauffage direct.

La fig. 3 montre la courbe de charge des deux mêmes groupes d'abonnés un jour ensoleillé du mois de mars. L'influence du rayonnement solaire l'après-midi est remarquable.

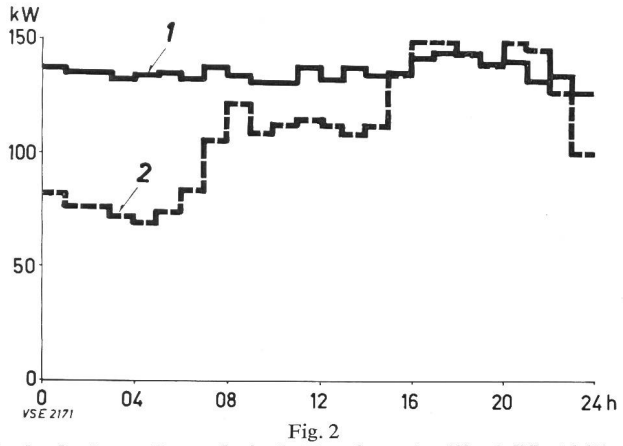


Fig. 2

Courbe de charge d'une colonie de 32 maisons chauffées à l'électricité, un jour de décembre à Skellefteå, comparée à l'allure de la courbe de charge dans une colonie de 115 maisons sans chauffage électrique

1 = avec chauffage électrique des locaux (chauffage direct)
2 = sans chauffage électrique des locaux

Les 32 maisons chauffées à l'électricité ont en moyenne une surface de 107 m² et une puissance moyenne installée de 11,4 kW pour le chauffage et la préparation d'eau chaude. La consommation annuelle moyenne est au total de 22500 kWh par maison, dont 19500 kWh pour le chauffage et l'eau chaude. La puissance totale intervenue par maison fut de 6,4 kW (5,4 kW seulement pour le chauffage et l'eau chaude). Les chauffages sont prévus pour une température extérieure minimum de -30 °C. Durant la période observée, le minimum fut de -25 °C.

En Suède, pour autant que le chauffage électrique entre en considération, on installe jusqu'à ce jour presque exclusivement le chauffage direct. En revanche, lors de rénovation de chauffages centraux dans de vieux bâtiments, on choisit souvent le chauffage électrique à accumulation, et ceci sur la base d'un accumulateur central d'eau chaude, ce qui permet de réutiliser les radiateurs et les conduites fréquemment encore intacts. Le chauffe-eau à accumulation doit être choisi assez grand pour que la chaleur accumulée de nuit suffise à chauffer la maison le jour suivant. Les poêles à noyau d'accumulation solide ne sont pas utilisés jusqu'ici en Suède.

Le prix d'équivalence par rapport au chauffage au mazout est de 3,4 ct./kWh pour le chauffage électrique à accumulation. Le tarif 21 (tarif double) prévoit un prix du courant du même ordre pour l'énergie utilisée entre 22 et 06 heures.

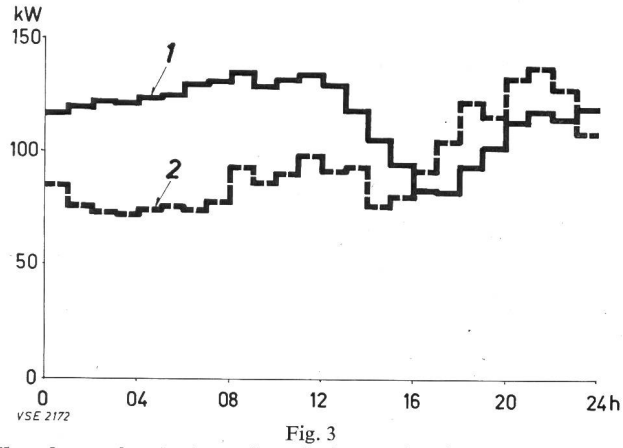


Fig. 3

Allure des courbes de charge des colonies mentionnées à la fig. 2, un jour ensoleillé de mars

1 = avec chauffage électrique des locaux (chauffage direct)
2 = sans chauffage électrique des locaux

9. Perspectives

L'entreprise d'Etat a calculé que, sans extension de ses usines génératrices, elle dispose actuellement de 700 millions de kWh environ par année d'énergie de nuit, qui suffisent à chauffer près de 30000 maisons à une famille. La capacité de production monte rapidement, de sorte que, jusque vers le milieu des années 70, elle pourra vraisemblablement ravitailler en énergie les chauffages électriques à accumulation de 50000 à 60000 maisons.

Il faudra naturellement renforcer le réseau de distribution dans les régions écartées, si l'on y installe le chauffage à accumulation nocturne sur une grande échelle. Cependant les frais de renforcement restent dans des limites modestes. Un exemple portant sur 78 maisons isolées et en rangées a montré qu'il faudrait renforcer avant tout les postes de transformateurs et le réseau à basse tension, et cela à un coût de 0,85 à 1,3 ct./kWh, suivant la durée de la période de chauffe.

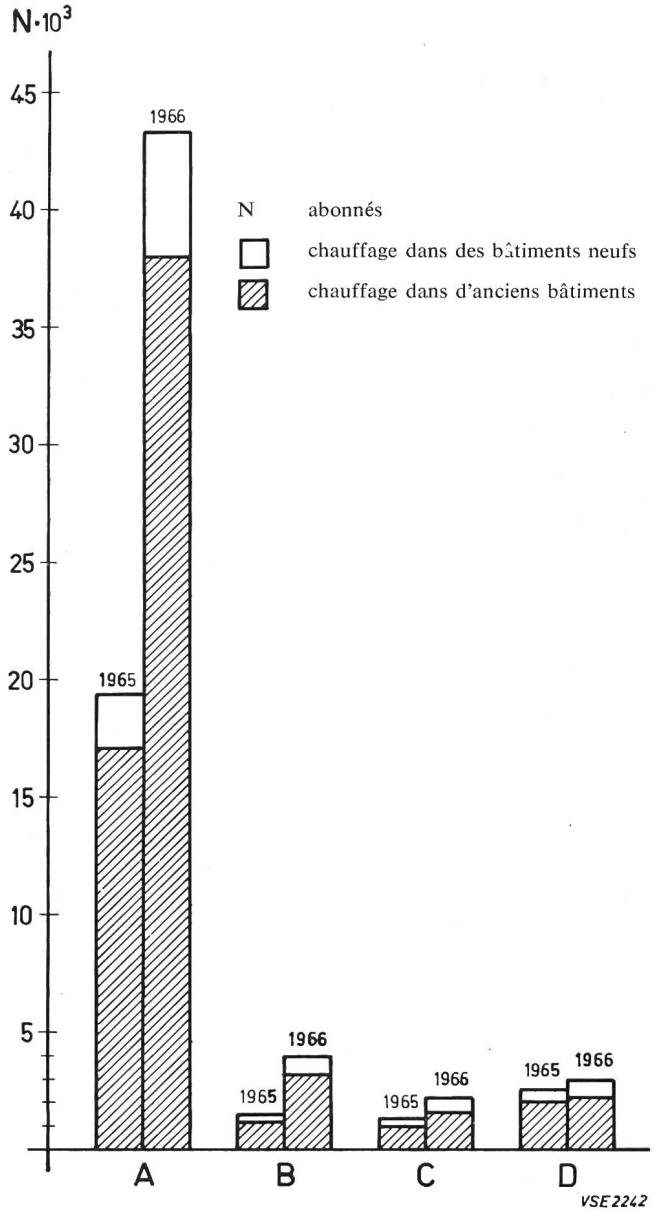


Fig. 4

Nombre d'abonnés avec chauffage électrique des locaux en Suède, en 1965 et 1966

A = maisons pour une ou deux familles
B = appartements dans maisons de plusieurs familles
C = commerce et industrie
D = administration et écoles

C'est pourquoi l'entreprise d'Etat a décidé de propager davantage à l'avenir aussi le chauffage électrique à accumulation nocturne et les chauffe-eau à accumulation.

La fig. 4 illustre le développement du chauffage électrique des locaux au cours des deux dernières années. On peut en déduire que, de beaucoup, le plus grand nombre de chauffages électriques se trouve installé dans des maisons à une et à deux familles. Dans cette catégorie, le nombre d'installations a plus que doublé en 1966 par rapport à l'année précédente et se monte à 44000 environ. Mais on a aussi installé plusieurs milliers d'installations de chauffages électriques dans des maisons à plus de deux familles, ainsi que dans des écoles et des bâtiments d'administration. Il est remarquable de constater aussi le grand nombre d'installations de ce genre dans de vieux édifices. Fin 1966, le total des abonnés avec chauffage électrique des locaux s'élevait en Suède à 60000 en chiffre rond, ce qui représente environ 2 % des 3,4 millions d'abonnés. Dans le domaine desservi par l'entreprise d'Etat, cette fraction a déjà atteint 5 %.

En résumé, on peut dire ceci de la situation actuelle du chauffage électrique des locaux en Suède:

L'introduction du chauffage électrique des locaux fait de rapides progrès. La mise à disposition à des prix intéressants de la quantité d'énergie demandée à cet effet est assurée par la mise en service de grosses centrales atomiques. Dans les bâtiments neufs on installe de préférence le chauffage direct. Dans les vieux bâtiments et les grands édifices, c'est jusqu'ici le chauffage central à eau chaude avec accumulation qui s'impose. Il existe quelques installations disséminées de chauffage par le plancher et par le plafond.

La consommation d'énergie dans les ménages entièrement électrifiés (avec chauffage électrique) atteint 8 à 10 fois ce qu'elle était auparavant. Grâce aux nouveaux tarifs le courant de chauffage peut être cédé à des prix à peu près équivalents à ceux du mazout. On prend son parti des menus frais supplémentaires, vu que le confort y gagne considérablement par la suppression de la poussière, de la fumée et des odeurs. Un avantage particulier du chauffage électrique réside dans la possibilité de régler avec plus de nuances la température des différents locaux. En outre, les prescriptions officielles pour un bon isolement des locaux favorisent le chauffage électrique de ceux-ci, et l'utilisation aussi complète que possible de la chaleur dite «libre» contribue pour sa part à la rentabilité des installations.

Selon des estimations prudentes, on aura besoin en 1975 dans les régions desservies par l'entreprise de l'Etat, d'une quantité d'énergie de 2000 à 3000 GWh pour le chauffage électrique des locaux. Pour la Suède entière, il en faudra trois fois plus. F: Bq

Adresse de l'auteur:
W. Locher, ing. dipl. EPF, Meisenweg 8, 6006 Lucerne.

Construction d'usines

La centrale nucléaire de Beznau est ouverte au public

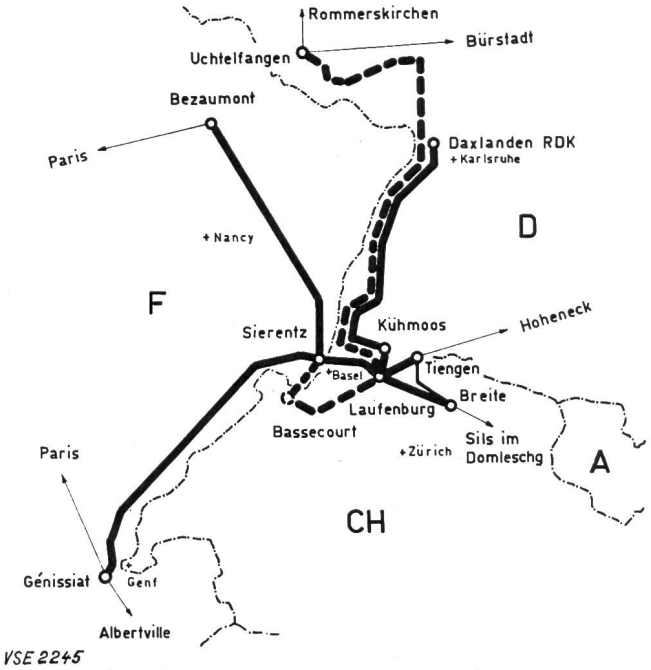
Au début du mois de mars les NOK ont donné aux représentants de la presse ainsi qu'au grand public l'occasion de visiter le chantier de Beznau. Par des expositions instructives de modèles et de figures ainsi que par des projections de films on a essayé d'y expliquer le fonctionnement de la centrale atomique. Actuellement les diverses parties de l'installation sont assemblées dans le bâtiment du réacteur et dans la salle des machines de Beznau I, tandis que les travaux d'excavation pour la centrale Beznau II ont été commencés. La consommation actuelle de 5 TWh dans le propre réseau de distribution, et la tendance d'un doublement de cette consommation tous les 12 ans permettent aux NOK d'absorber tous les 6 ans la production d'une centrale de la taille de Beznau I. La décision récente de construire Beznau II et le délai de la mise en service de cette centrale au printemps 1972 ont imposé aux NOK de conclure des contracts de fourniture d'énergie avec 3 grandes entreprises d'électricité suisses, c'est-à-dire avec l'Aar et Tessin S. A. pour l'électricité (Atel) Olten, l'Electricité de Laufenbourg S. A. (EDL) et les Forces Motrices de la Suisse Centrale (CKW) Lucerne, qui absorberont jusqu'en 1975 une grande partie de la production, c'est-à-dire jusqu'au moment où cette énergie sera absorbée complètement par le réseau de NOK.

La construction en commun de 2 centrales Beznau I et II permettra non seulement une réduction des coûts de construction mais également des frais de personnel. Après la mise en service de la 2e centrale, l'effectif du personnel de 90 personnes environ s'accroîtra de 60 personnes. La puissance installée par personne s'élèvera de ce fait à 4,7 MW.

La visite du chantier a mis en évidence que l'emplacement des installations permettant des agrandissements futures n'aurait pu être mieux choisi vu que l'approvisionnement en eau de refroidissement est garanti par l'Aar et qu'il existe une puissante station de couplage dans le voisinage immédiat des centrales. A la rigueur, l'alimentation en énergie des services auxiliaires peut être assurée par la centrale hydroélectrique de Beznau. Comme sources d'énergie indépendantes, on dispose en plus de deux groupes électrogènes avec moteurs diesel. Une description détaillée des installations suivra à un date ultérieure. F/Ro

L'interconnexion à 380 kV entre l'Allemagne, la France et la Suisse

Depuis le début de l'année 1968, l'interconnexion des réseaux à 380 kV de la République fédérale allemande, de la France et de la Suisse est chose faite. Les entreprises allemandes Badenwerk et Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke S. A. et l'Electricité de France ont convenu avec l'Electricité de Laufenbourg de réaliser une liaison à 380 kV avec une station transformatrice 380/220 kV à Laufenbourg pendant les années 1967 et 1968. L'esquisse donne un aperçu des lignes à 380 kV projetées et partiellement réalisées. Nous reviendrons sur cet événement sous peu. *AE*



Lignes à 380 kV en service à partir de décembre 1967
Lignes à 380 kV mises en service en 1968