

Cahier technique n° 133

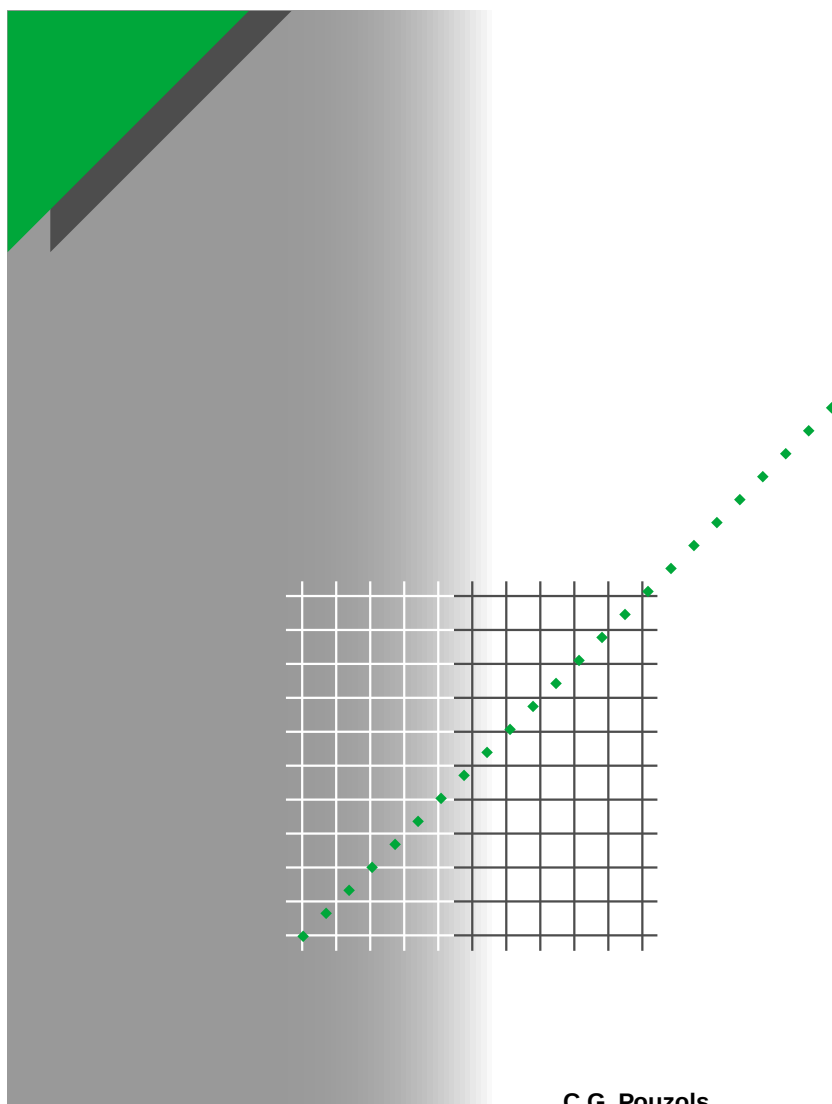
Gestion de l'énergie dans les processus industriels

Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique



C.G. Pouzols

Les Cahiers Techniques constituent une collection d'une centaine de titres édités à l'intention des ingénieurs et techniciens qui recherchent une information plus approfondie, complémentaire à celle des guides, catalogues et notices techniques.

Les Cahiers Techniques apportent des connaissances sur les nouvelles techniques et technologies électrotechniques et électroniques. Ils permettent également de mieux comprendre les phénomènes rencontrés dans les installations, les systèmes et les équipements.

Chaque Cahier Technique traite en profondeur un thème précis dans les domaines des réseaux électriques, protections, contrôle-commande et des automatismes industriels.

Les derniers ouvrages parus peuvent être téléchargés sur Internet à partir du site Schneider Electric.

Code : <http://www.schneider-electric.com>

Rubrique : **Le rendez-vous des experts**

Pour obtenir un Cahier Technique ou la liste des titres disponibles contactez votre agent Schneider Electric.

La collection des Cahiers Techniques s'insère dans la « Collection Technique » de Schneider Electric.

Avertissement

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent ouvrage, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans cet ouvrage.

La reproduction de tout ou partie d'un Cahier Technique est autorisée après accord de la Direction Scientifique et Technique, avec la mention obligatoire : « Extrait du Cahier Technique Schneider Electric n° (à préciser) ».

n° 133

**Gestion de l'énergie dans les
processus industriels**

C.G. POUZOLS

Gestion de l'énergie dans les processus industriels

Les possibilités d'économie d'énergie dans les processus industriels résultent de :

- la lutte contre les gaspillages,
- la rationalisation des processus de fabrication,
- la substitution de l'électricité aux énergies traditionnelles ou l'autoproduction à partir de récupération.

Des exemples montrent le rôle tenu par l'automatisation dans la solution de ces problèmes.

Nota : ce texte a fait l'objet d'une communication au colloque « Électrotechnologies in industry » à Montréal Canada - 25/27 mai 1982. Il a été établi dans le cadre du SERCE (Syndicat des Entrepreneurs de Réseaux de Centrales et d'Équipement industriel électriques) par : M. Pouzols, Merlin Gerin, avec la collaboration de MM. Bruché « Forclum », Leblanc « Saunier-Duval », Lefranc « Trindel », Mulot « SERCE », Raymond « Comsip Entreprise ».

Si les industries gourmandes d'énergie (le raffinage de l'aluminium par exemple) ont toujours pratiqué la gestion de l'énergie, il n'en a pas été de même jusqu'à ces derniers temps pour celles où la part de l'énergie n'intervenait que pour un faible pourcentage dans les prix de revient des produits qu'elles élaboraient.

Le décennie qui vient de s'écouler a vu, cependant, le coût de l'énergie augmenter d'une façon considérable. Et même si le ratio :

$$\frac{\text{coût de l'énergie}}{\text{chiffre d'affaires}}$$

peut encore rester faible, les économies à réaliser dans le domaine énergétique sont souvent du même ordre de grandeur que la marge bénéficiaire. On ne peut plus négliger un moyen d'augmenter la compétitivité des entreprises, compétitivité qui, de plus en plus, va devenir une condition de leur survie.

Bon nombre d'industriels ont donc commencé à mettre en place une politique de l'énergie. Ils sont aidés dans ce travail :

- par les bureaux d'ingénierie,
- par les fournisseurs de produits énergétiques, aux premiers rangs desquels on trouve des distributeurs d'électricité,
- par les constructeurs et les entrepreneurs qui leur fournissent et mettent en oeuvre leurs équipements de production.

Représentant d'un organisme qui regroupe une grande partie des entreprises françaises d'installations électriques, je m'intéresserai plus particulièrement à la Gestion de l'Energie électrique.

Sommaire

1 Définition de la gestion d'énergie	p. 4
2 Mesures immédiates - Gestion de l'outil industriel existant	
2.1 Les approvisionnements en énergie électrique et leurs utilisations	p. 5
2.2 Actions correctives à entreprendre	p. 5
2.3 Optimisation du contrat de fourniture de l'énergie électrique	p. 7
3 Remise en cause des choix énergétiques et de l'infrastructure des processus de production	p. 8
3.1 Substitution	p. 9
3.2 Auto-production	p. 9
3.3 Justification économique des investissements	p. 9
4 Conclusion	p. 12

1 Définition de la gestion de l'énergie électrique

Avant toute chose, il convient de préciser en quoi consiste cette gestion et quels objectifs lui sont assignés.

Nous pouvons distinguer deux fonctions :

- assurer la sécurité de l'approvisionnement du consommateur au moindre coût et en contrôler l'utilisation pour maintenir les consommations au

minimum compatible avec les impératifs de la production,

- organiser la recherche et la mise en place de moyens conduisant à utiliser l'énergie sous la forme la plus rentable en remettant en cause les choix énergétiques antérieurs et/ou l'infrastructure des processus de production.

2 Mesures immédiates gestion de l'outil industriel existant

2.1 Les approvisionnements en énergie électrique et leurs utilisations

Pour la production de leur énergie électrique, les pays industrialisés font appel à un éventail très diversifié d'énergies primaires et développent des techniques de haute fiabilité dans la conception de leurs réseaux de transport et de distribution électrique. On peut donc considérer que l'énergie électrique est une des mieux placées quant à la sécurité de la fourniture et plus particulièrement dans les pays qui importent la plus grande partie de leurs combustibles.

Dans une première analyse, la réduction du coût de l'énergie électrique consommée nécessite :

- une meilleure connaissance de sa tarification et une vérification de la bonne adaptation de la consommation aux contraintes tarifaires,
- une lutte contre les gaspillages et une amélioration des rendements sans bouleverser l'appareil industriel.

Tarification

L'énergie électrique doit être produite à l'instant où elle est consommée. Ainsi cette absence de stockage conduit, en général, le producteur à la facturer différemment, en fonction du moment. Nous voyons ainsi en France le prix du kWh consommé varier des heures creuses aux heures de pointe en passant par les heures pleines et ceci d'une façon différente entre les mois d'hiver et les mois d'été.

Le consommateur acquitte aussi une prime indépendante de sa consommation, fonction de la puissance souscrite et assortie d'une majoration sensible s'il la dépasse. Cette prime est directement liée aux investissements que le producteur a dû engager (centrale, réseaux de transport et de distribution,...).

Contrôle de la consommation

Le rythme de la production industrielle tenait rarement compte des variations tarifaires de l'énergie électrique car les sujétions qui en auraient découlé n'auraient pu être justifiées par les économies réalisées.

Il n'en est plus de même maintenant. La planification pour une meilleure utilisation de l'outil de travail doit prendre en compte cette nouvelle donnée, ce qui implique une connaissance détaillée des consommations. L'industriel sera donc amené à demander à son installateur la mise en place, en des points judicieusement choisis, de compteurs, de wattmètres enregistreurs ou de tout autre appareil de contrôle sans pour cela aller jusqu'à en placer un en amont de chaque machine. Le choix de ces équipements n'est pas l'opération la plus facile à réaliser. Le succès dépend cependant du soin avec lequel il sera fait.

2.2 Actions correctives à entreprendre

Des statistiques pourront être ainsi établies. Ces informations pourraient d'ailleurs être regroupées grâce à des installations de contrôle centralisé. Elles permettront d'utiliser au mieux l'électricité par des mesures simples et peu coûteuses, telles que :

- sensibilisation des usagers et des responsables de la conduite des machines,
- modification des horaires de production,
- délestage de certains récepteurs,
- régulation fine des process,
- utilisation de sources d'énergie existantes et non employées.

Sensibilisation des usagers et des responsables de la conduite des machines à l'économie

Par des campagnes d'information et grâce aux statistiques, il est possible de faire porter l'effort sur les postes les plus dépensiers.

Modification des horaires de production

Elle permet d'utiliser les périodes où l'énergie est la moins chère, tout en évitant le travail de nuit qui conduit à des coûts salariaux beaucoup plus importants et qui est difficilement accepté.

■ 1^{er} exemple : dans une usine de toiles et papiers abrasifs, la fabrication de jour est continue : le déroulement du support, sa préparation, son encollage, le saupoudrage des grains abrasifs. Par contre le séchage et la polymérisation s'effectuent à des températures différentes selon l'abrasif sans nécessiter de main-d'œuvre. Cela se fait la nuit. La longue bande d'abrasif est stockée en accordéon dans de hauts et longs tunnels. Avantage double : tout d'abord, diminution de la prime à la puissance souscrite, ensuite moindre coût de l'énergie pendant les heures de nuit (dites heures creuses).

■ 2^{ème} exemple : dans la sidérurgie et en particulier les aciéries électriques, chaque

coulée dure plusieurs heures et se trouve constituée par un cycle bien déterminé d'opérations différentes : chargements, fusions, additions, versement de la poche. Certaines opérations, comme la première fusion, consomment la puissance maximale, alors que d'autres : chargements, coulée, n'utilisent que quelques centaines de kW. Il y a quelques années, les coulées se succédaient sans interruption. Maintenant dans la plupart de ces usines, les heures de démarrage et de fin d'opération sont programmées pour éviter que les fusions et surtout celle du premier chargement interviennent à des heures de pointe.

Délestage de certains récepteurs

Les récepteurs, dont le fonctionnement peut être différé sans compromettre la production afin de ne pas dépasser la puissance souscrite, peuvent faire l'objet d'un délestage. Nous pouvons citer de nombreux cas d'usines où l'on a recours à des solutions plus ou moins complexes pour obtenir ce résultat.

■ 1^{er} exemple : à l'usine de flaconnage de Mers-les-Bains, un simple contact sur le maxigraphe fait déclencher l'appoint électrique du four (300 kW) dès que l'on approche de la puissance souscrite soit 8 000 kW.

■ 2^{ème} exemple : une usine de produits réfractaires, près d'Avignon, utilise un système par programmeur pour arrêter temporairement un ou plusieurs fours électriques dans les mêmes conditions. Il existe des relais plus perfectionnés qui sont adaptés aux conditions de facturation des différents distributeurs. En France, où sont facturés les dépassements qui sont les différences entre la puissance moyenne mesurée pendant des périodes successives de 10 mn et la puissance souscrite, de tels relais commandent le délestage dès que l'extrapolation de la consommation, depuis le début de la période, peut laisser prévoir un dépassement en fin de période.

Régulation fine des process

L'utilisation éventuelle des moyens d'automatismes existants (informatiques ou autres) peut conférer à l'utilisateur une meilleure maîtrise d'exploitation de son système.

■ 1^{er} exemple : cas d'une usine de fabrication de bouteilles de verre qui utilise de grandes quantités d'air comprimé. C'est le seul domaine où il est possible de modifier notablement la consommation électrique mais qui représente environ 2 000 kW sur un total de 6 000 kW. La centrale air comprimé comprend : 2 compresseurs 400 kW, 3 compresseurs 300 kW, 3 compresseurs 250 kW. Actuellement la mise en service ou l'arrêt des groupes se fait

manuellement pour maintenir la pression d'air entre 2,4 et 2,8 bars.

Bientôt, en utilisant l'automate de fabrication existant, ce réglage se fera automatiquement. La pression sera maintenue à $2,6 \pm 0,05$ bars et l'automate choisira le compresseur à démarrer ou à arrêter en limitant la consommation d'énergie. On escompte ainsi une économie d'énergie d'environ 2,5 % de la consommation globale soit plus de 1 000 000 kWh/an.

L'économie découle d'une meilleure interprétation des grandeurs caractéristiques, d'un contrôle affiné, d'une connaissance supérieure du déroulement du processus, et ceci facilite une décision la mieux adaptée.

■ 2^{ème} exemple : cas d'un laminoir de 50 MW dont l'automatisation est conçue dans l'esprit d'une utilisation maximale des énergies cinétiques. Sa consommation estimée devant être inférieure d'au moins 10 % à celle d'un laminoir piloté par un automatisme classique. C'est la possibilité d'anticipation de certaines décisions qui permet d'éviter certaines pertes d'énergie en prenant en compte les inerties caractéristiques.

■ 3^{ème} exemple : cas de magasins de stockage mécanisés de grande hauteur dont la conduite automatique des machines de stockage permet d'accroître le débit « d'entrée-sortie » des matières, par une optimisation du déplacement des machines entre les différents emplacements de stockage et les bases d'entrée-sortie.

Cette mise en œuvre vise à diminuer (à défaut de pouvoir les supprimer complètement) les trajets des machines à vide, ainsi que les allers-retours successifs dans une même zone. Elle permet une diminution sensible de la consommation d'énergie : fréquence de démarrage et temps de fonctionnement des moteurs moins élevés, pour un même service rendu. Dans les process discontinus de ce type, une utilisation plus rationnelle du système de production, obtenue en optimisant des critères de productivité, entraîne une optimisation de la consommation d'énergie.

■ 4^{ème} exemple : cas d'une usine de décarbonatation d'eau potable. Dans cette usine, un automate assure la variation continue de vitesse des moteurs de pompes, de façon à l'ajuster aux caractéristiques débit et pression des réseaux.

■ 5^{ème} exemple : cas d'une distribution d'eau potable.

En fonction des consommations d'eau instantanées appelées sur le réseau, un automate optimise la marche des pompes ; il détecte d'autre part, en temps réel, toute fuite sur les canalisations.

Dans les exemples précédents, l'automatisation était appliquée aux procédés de fabrication, mais on peut étendre son application à des installations auxiliaires (chauffage, ventilation, etc.) ainsi que le montrent les deux exemples suivants :

■ 6^{ème} exemple : cas d'un bâtiment à usage de bureaux et d'entrepôts.

Dans cette installation, un automate programmable assure entre autres les fonctions suivantes :

□ programmation en fonction des régimes d'occupation des locaux :

- de la mise en route de la ventilation,
- du taux de renouvellement d'air,
- de la température ambiante,
- de l'éclairage ;

□ optimisation de l'heure de remise en route du chauffage à l'issue des périodes d'arrêt, en fonction de l'évolution des températures ambiantes et extérieures ;

□ contrôle de l'éclairage en fonction de l'éclairement extérieur ;

□ ajustement continu de la température de soufflage d'air en fonction de l'évolution des températures ambiantes, de façon à éviter toute surchauffe en hiver et tout refroidissement surabondant en été ;

□ démarrages séquentiels des chaudières et des groupes frigorifiques de façon à éviter le fonctionnement des machines avec des charges insuffisantes, donc des rendements faibles.

■ 7^{ème} exemple : ventilation de parkings souterrains.

Un automate assure :

- la modulation de l'éclairage des tunnels d'accès en fonction de l'éclairement extérieur ;
- la modulation continue des débits de ventilation en fonction de la concentration de monoxyde de carbone dans les locaux.

Utilisation de sources d'énergie existantes et non employées

C'est plus particulièrement le cas des groupes électrogènes de remplacement ou de sécurité qui ont été mis en place pour satisfaire certains besoins vitaux en cas de disparition de la source principale. Leur mise en service, aux heures les plus critiques pour le distributeur de l'énergie électrique, peut réduire sensiblement l'appel de puissance et entraîner une réduction appréciable du coût de l'énergie électrique.

Du point de vue national, une telle opération n'est pas absurde car cette fraction de la production électrique se ferait de toute façon à partir de produits pétroliers de haute qualité (utilisation, par le producteur, de turbines à gaz).

En tenant compte des pertes en ligne et dans les transformateurs, le rendement global du distributeur n'est pas plus élevé que celui du simple particulier.

Exemple : une entreprise française vient de mettre en service, au siège d'une grande banque installée dans une tour à Paris la Défense, plusieurs groupes électrogènes de secours de 1 250 kVA et l'un d'entre eux est utilisé régulièrement pendant les heures de pointe. Il fournit 800 kW, deux heures le matin et deux heures l'après-midi pendant les quatre mois d'hiver.

2.3 Optimisation du contrat de fourniture de l'énergie électrique

Ces opérations une fois terminées, qui n'ont pas entraîné d'investissements importants ou qui auront pu être intégrées dans les frais d'exploitation, on pourra réétudier le contrat de fourniture de l'énergie électrique.

En possession des nouvelles données de l'installation et des prévisions de leur évolution, on pourra, par le calcul et la simulation, essayer plusieurs types de contrats afin de choisir le mieux adapté.

3 Remise en cause des choix énergétiques et de l'infrastructure des processus de production

Cette première approche de la gestion de l'énergie, qui n'aura nécessité que du temps et quelques investissements limités, aura apporté déjà certains résultats mais souvent on ne pourra pas s'en contenter.

3.1 Substitution

Les prix des diverses énergies n'ont pas augmenté de façon équivalente. La sécurité des approvisionnements n'est plus, pour certaines d'entre elles, ce qu'elle était autrefois. Il faut, pour chaque machine, pour chaque unité de production, remettre en cause les choix qui avaient été faits autrefois.

Pour la production de chaleur, qui est une des principales utilisations de l'énergie électrique en particulier quand elle fait appel au simple effet Joule, l'électricité ne paraît pas, a priori, être un bon candidat pour remplacer les combustibles classiques. Tout le monde sait, en effet, qu'il faut consommer environ 2,5 thermies dans les centrales thermiques pour disposer de 1 kWh chez l'utilisateur. Un raisonnement trop rapide incite à utiliser directement ces 2,5 thermies sur les lieux mêmes où se manifeste le besoin, mais la nature même de l'électricité permet aussi de fournir de la chaleur avec une meilleure efficacité en utilisant l'un des principes suivants :

- induction et hystérésis pour l'élévation ou le maintien en température de pièces magnétiques,
- amorçage d'arcs,
- rayonnement infrarouge que l'on peut focaliser,
- pertes diélectriques (micro-ondes),
- etc.

La consommation d'énergie n'est donc pas une fin en soi, elle découle d'un procédé de fabrication. Si le procédé change, la consommation d'énergie associée change aussi en quantité ou en nature d'énergie consommée, mais quel que soit le procédé choisi, il doit rendre, à l'industriel, le même service en qualité et en quantité. C'est à cette condition que l'on peut parler de substitution entre énergies :

Une substitution doit être considérée à service rendu égal pour l'industriel.

Pour évaluer l'intérêt d'une substitution en France, EdF propose d'utiliser un coefficient qu'elle appelle γ et qui se définit comme suit :

- dans le cas où la substitution de l'électricité à un combustible est totale :

$$\gamma = \frac{\text{nombre de thermies consommées par le 1^{er} procédé}}{\text{nombre de kWh consommés par le procédé de substitution}}$$

- dans le cas où la substitution n'est que partielle, le coefficient devient :

$$\gamma = \frac{\text{diminution du combustible consommé}}{\text{augmentation de l'électricité consommée}}$$

ou, sous une forme plus mathématique :

$$\gamma = \frac{C1 - C2}{E2 - E1}$$

- « C » désignant les consommations de combustible en thermies,
- « E » désignant les consommations d'électricité en kWh,
- les indices 1 étant réservés à l'ancien procédé,
- les indices 2 aux nouveaux procédés.

Un exemple va illustrer l'utilisation de ce coefficient.

L'industrie du verre utilise depuis des siècles toutes les énergies primaires (bois, charbon, fuel, gaz, etc.) dans ses fours, pour assurer la fusion des produits qui donneront le verre.

L'utilisation de l'électricité s'est développée d'abord en appoint et maintenant en remplacement parce qu'elle présente de multiples avantages : pas de pollution, facilité de conduite, réduction des investissements et maintenant économie d'énergie.

Il faut actuellement, dans un four chauffé au fuel, environ 115 g de combustible par kg de verre

fondue et dans un four électrique, moins d'un kWh.

Après plusieurs réalisations d'appoints électriques dans les fours existants de 1 000 à 3 500 kW, un industriel verrier a donc décidé, bien que le coefficient de substitution γ soit à peine supérieur à 1,15, de construire des fours entièrement électriques pour des puissances installées de l'ordre de 6 000 kW en France même et en Italie, les travaux sont en cours.

Le tableau de la **figure 1** donne quelques exemples de coefficients de substitution calculés pour différentes applications.

Si le producteur de l'énergie électrique doit établir une relation entre ce coefficient de substitution « γ » et la proportion des différentes

énergies primaires qui entrent dans le fonctionnement de ses centrales, ce ne peut être la préoccupation de l'industriel. Lui ne comparera que des coûts d'énergie, estimant que ceux-ci l'incitent à faire des choix conformes à l'intérêt général, après avoir contribué à son intérêt particulier.

Pour l'exemple, prenons le cas où du fuel oil lourd, au prix de 1 250 FF/tonne, soit 0,125 FF par thermie, est remplacé par de l'électricité à 0,25 FF par kWh.

Le rapport : $\frac{\text{prix kWh}}{\text{prix thermie}} = 2$

La substitution ne pourra être économiquement intéressante que si elle conduit à un coefficient de substitution supérieur à 2.

Coefficient de substitution	γ
Traitement thermique (remplacement four à gaz par four à résistance)	3,3
Chauffage métaux avant formage (induction)	3,1
Thermomatisation de poutrelles en béton	3,8
Chauffage de l'eau pour échaudage dans un abattoir	4,5
Séchage de carreaux de plâtre (pompe à chaleur)	4,6
Gélification de revêtement routier (infra-rouge)	5,2
Concentration de lacto-sérum (recompression mécanique de vapeur)	13
(osmose inverse)	114

Fig. 1 : exemples de coefficients de substitution.

3.2 Auto-production

La substitution de l'électricité aux procédés traditionnels pose, comme on vient de le voir, des problèmes au niveau de l'économie de l'énergie primaire quand cette électricité provient du réseau de distribution publique. Ce n'est plus le cas pour la partie qui peut être produite à partir de ressources locales appartenant à l'industriel et souvent inexploitées. Parmi ces ressources, on peut citer, sans que cette liste soit exhaustive.

■ les chutes d'eau qui ont été abandonnées à une époque où l'énergie fossile était très bon

marché, ou dont la rentabilité n'a pas été, jusqu'ici, mise en évidence,

- la combustion de déchets qui, jusqu'ici, étaient rejetées dans la nature,
- la récupération de chaleurs latentes diverses,
- la compensation de l'énergie réactive,
- etc.

Le coefficient γ , défini plus haut, devient alors très grand (voire infini).

3.3 Justification économique des investissements

Les critères économiques

Pour pratiquer les substitutions dont on a parlé plus haut, ou mettre en valeur des ressources inexploitées, l'industriel va devoir investir des sommes parfois importantes. Les facultés de financement de ses projets n'étant pas illimitées,

il sera obligé de faire des choix qui seront basés sur des critères économiques dont voici les principaux :

- la durée de retour de capitaux investis,
- le taux de rentabilité interne,
- le taux d'enrichissement relatif.

■ la durée de retour de capitaux investis C'est le temps au bout duquel la somme des économies réalisées atteint la valeur de l'investissement.

■ le taux de rentabilité interne :

C'est le taux de l'intérêt annuel d'une somme équivalant à l'investissement qui aurait rapporté, pendant la durée de vie de l'installation, une somme égale au total des économies, diminuée de la valeur de l'investissement.

■ le taux d'enrichissement relatif :

C'est le rapport à l'investissement, du total, pendant la durée de vie de l'installation, des capacités d'auto-financement annuelles procurées par le dispositif économiseur, diminuées de l'investissement.

Ces calculs économiques peuvent, à première vue, paraître simples, il ne faut cependant pas oublier que la valeur de l'argent évolue dans le temps et que, pour rester homogène, on doit exprimer toutes ces valeurs à une même date, de préférence l'origine de l'installation.

C'est l'**actualisation**.

En outre, dans les recettes procurées par l'investissement envisagé, en plus des économies proprement dites, il faudra tenir compte de toute les aides et incitations financières dispensées par les Pouvoirs Publics ou autres organismes, sans oublier celles qui sont d'ordre fiscal.

C'est le taux d'enrichissement relatif qui est le plus apte à tenir compte de ce dernier aspect de la question.

Si la substitution envisagée est totale ou si le projet d'exploitation d'une énergie locale ne peut comporter qu'un seul cas de figure, on calculera le critère de choix de l'investissement retenu, et après comparaison avec les divers autres projets de toute nature, qui sont soumis aux services financiers, le dossier d'économie d'énergie sera accepté ou refusé.

Mais les choses ne sont pas toujours aussi simples : si la substitution n'est que partielle il faut déterminer dans quelle proportion l'énergie électrique va remplacer l'énergie traditionnelle pour que l'opération soit la plus rentable. Dans les calculs on fait alors varier la puissance électrique de l'installation envisagée par pas successifs dans les limites que l'on s'est fixées et, pour chaque valeur intermédiaire, on calcule le critère de choix de l'investissement de façon à obtenir une représentation graphique de ce critère en fonction de la puissance. Si ces limites sont bonnes, on voit la durée de récupération passer par un minimum alors que les taux de rendement interne et d'enrichissement relatif passent par des maxima.

La valeur des puissances correspondant à ces points singuliers, mais aussi l'allure de la courbe

à l'approche de ces points, intéressent le financier.

Pour illustrer ceci, je prendrai un exemple d'autoproduction très particulier, qui est la compensation de l'énergie réactive.

La nécessité d'une approche globale

Mises à part les installations faisant appel uniquement à l'effet Joule, les récepteurs électriques consomment, dans des proportions variables, à la fois de l'énergie active et de l'énergie réactive. De par sa nature, l'énergie réactive ne demande aucune énergie primaire pour sa création. Toutefois, sa circulation dans les générateurs et dans les réseaux de distribution entraîne :

■ d'une part, des pertes par effet Joule qui, elles, consomment de l'énergie primaire,

■ d'autre part, des investissements qui pèsent sur le coût de l'énergie électrique en général, ce qui justifie sa facturation par le distributeur.

La production d'énergie réactive au point de consommation doit être considérée comme une auto-production. Elle s'obtient d'une façon très simple, comme chacun sait, à partir de batteries de condensateurs.

Du calcul préconisé plus haut, fait pour une usine française consommant environ 2 000 000 kWh/an et fonctionnant 8 750 h/an avec une tg ϕ moyenne mensuelle variant de 0,75 à 0,8, on déduit que l'installation de 3 000 kVAr de condensateurs est payée en 1 an 1/2 (actualisation comprise).

L'usine était alimentée par un réseau 60 kV, et comportait, après transformation, deux réseaux internes :

■ le premier sous 15 kV,

■ le second sous 400 V.

La batterie fut installée sur le réseau 15 kV.

Certains feront remarquer que l'on aurait pu produire l'énergie réactive plus près des récepteurs en plaçant les condensateurs sur le réseau 400 V. Le calcul montre alors que la batterie optimale, compte tenu du supplément d'investissement (le kVAr BT est, en effet, plus cher que le kVAr MT) est ramenée de 3 000 à 1 000 kVAr, alors que la durée de récupération du capital investi passe de 1 an 1/2 à 2 ans.

Le tableau de la **figure 2** donne les gains annuels en TEP (Tonne Equivalente Pétrole) pour les deux solutions. Il montre que la solution 15 kV malgré les apparences est la plus avantageuse aussi bien pour le consommateur que pour l'économie générale du pays.

Cette comparaison met bien en évidence les difficultés d'un choix économique. Souvent, ne vouloir examiner qu'un aspect restrictif du problème peut conduire à une fausse solution.

	Solution 15 kV 3 000 kVAR payé en 1 an 1/2	Solution 400 V 1 000 KVAR payé en 2 ans
TEP économisées sur le réseau de l'usine	0	6,25
TEP économisées sur le réseau du distributeur	37,5	12,5
Total	37,5	18,5

Fig. 2 : économies réalisables avec la production d'énergie réactive.

4 Conclusion

Nous avons vu que pour de nombreuses raisons, parmi lesquelles le souci de rester compétitif occupe une place prépondérante, la gestion économique de l'énergie devient un sujet d'actualité. Des mesures immédiates, mettant fin à un simple laxisme ou apportant une plus grande rationalité dans le détail du fonctionnement des processus, sont généralement préconisées dans un premier temps. Ces mesures, prises individuellement, peuvent ne représenter qu'un gain assez mince, mais bien orchestrées dans le cadre d'une véritable politique de l'énergie, elles finissent par procurer des résultats appréciables.

Comme le montre le nombre des exemples cités, l'automatisation prend, dans ce domaine, une large place. Il faut cependant ne pas oublier qu'elle avait déjà une autre motivation : la productivité. Lui faire prendre en compte la dimension énergétique des problèmes qu'elle a à résoudre n'est qu'une fonction marginale supplémentaire qui n'entraîne que de faibles suppléments du coût des installations.

On aura cependant assez vite fait le tour des possibilités de cette première approche de la question et, très rapidement, on sera conduit à

envisager des transformations de l'outil de travail plus spécifiques et plus importantes. Elles entraîneront des investissements souvent coûteux, qui ne pourront être justifiés par de simples considérations techniques, car ces dernières ne prennent pas en compte la dimension économique du problème.

Enfin, il faut penser en même temps au présent et à l'avenir car il n'est pas réaliste de croire que l'on puisse, même à moyen terme, retrouver de l'énergie abondante et bon marché.

Alors : agir sur les installations et équipements existants est la seule façon d'obtenir les résultats rapides qui sont nécessaires, mais agir sur les installations, équipements et ensembles à réaliser permettra de parvenir, dans l'avenir, à des économies à moindre prix et avec une meilleure efficacité que s'il fallait, une fois les réalisations menées à leur terme, y introduire les dispositifs et les révisions de processus nécessaires pour améliorer le rendement énergétique.

