

# Chapitre K

## Efficacité énergétique de la distribution électrique

### Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>K2</b>
<b>2</b>	<b>Efficacité énergétique et électricité</b>	<b>K3</b>
	2.1 Une réglementation volontariste partout dans le monde	K3
	2.2 La norme NF EN 15232	K4
	2.3 Comment parvenir à l'efficacité énergétique	K5
<b>3</b>	<b>Diagnostic par mesures électriques</b>	<b>K8</b>
	3.1 Les mesures électriques	K8
	3.2 Des appareils de mesure adaptés	K8
<b>4</b>	<b>Des gisements d'économies d'énergie</b>	<b>K10</b>
	4.1 Les moteurs	K10
	4.2 La variation de vitesse	K11
	4.3 La régulation	K13
	4.4 L'éclairage	K14
	4.5 La correction du facteur de puissance et le filtrage d'harmoniques	K16
	4.6 La gestion de charge	K17
	4.7 Systèmes d'information et de communication	K18
	4.8 La conception des systèmes d'information et de surveillance	K21
<b>5</b>	<b>Comment évaluer les économies d'énergie</b>	<b>K26</b>
	5.1 Procédures IPMVP et EVO	K26
	5.2 Pour une performance soutenue	K28

K1

**Nota :**

Les spécificités des normes et réglementations françaises sont présentées sur un fond gris.

Ce chapitre est destiné à faciliter les échanges entre les concepteurs d'installations électriques et les utilisateurs, consommateurs d'énergie. Ces derniers devant très souvent être conseillés pour choisir les meilleures options à retenir pour réduire leurs consommations et dépenses énergétiques.

Bien qu'un grand nombre de facteurs influencent attitudes et opinions en matière d'efficacité énergétique, en particulier l'augmentation du coût de l'énergie et un sentiment croissant de nos responsabilités écologiques, il est probable que c'est la législation qui a l'impact le plus profond sur les comportements et les procédures. Les divers gouvernements partout dans le monde se donnent des objectifs d'économie d'énergie et introduisent les réglementations nécessaires pour les atteindre. La réduction des émissions de gaz à effets de serre est un objectif global formulé à la conférence sur l'environnement de Kyoto en 1997 et finalement ratifié par 169 pays en décembre 2006.

Aux termes du protocole de Kyoto, les pays industrialisés se sont engagés à réduire leurs émissions collectives de gaz à effets de serre de 5,2 % d'ici 2008-2012 par rapport à 1990 (ce qui par rapport au niveau d'émissions prévu en 2012 avant le protocole, représente une réduction effective de 29 %). Pour l'Europe, l'un de ses objectifs est une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 20 % d'ici 2020. Or, si ces émissions de CO<sub>2</sub> proviennent pour 27 % du secteur des transports, 16 % du résidentiel, 8 % du tertiaire et 49 % de l'industriel, jusqu'à 50 % sont attribuables à la consommation électrique des trois secteurs, immobilier, commercial et résidentiel. En outre, avec la prolifération des appareils ménagers et d'autres équipements comme les systèmes de ventilation et de climatisation, la consommation d'électricité augmente plus rapidement que celle des autres formes d'énergie.

Ainsi, pour atteindre l'objectif de réduction de 20 % de la consommation d'ici 2020, il faut satisfaire les conditions suivantes :

- toutes les nouvelles constructions doivent consommer 50 % d'énergie en moins,
- 1/10<sup>ème</sup> des bâtiments existants doit réduire sa consommation de 30 % chaque année.

Il est évident que d'ici 2020, dans la plupart des pays, 80% de tous les bâtiments auront déjà été construits. La remise à niveau des bâtiments existants et une meilleure gestion de l'énergie sont indispensables pour atteindre les objectifs de réduction des émissions. Etant donné que dans les pays de l'ouest, la plupart des bâtiments bénéficient déjà d'aménagements qui améliorent leur performance thermique comme l'isolation murale, l'isolation des greniers et le double-vitrage, le seul moyen d'obtenir une réduction additionnelle est de réduire la consommation d'énergie. L'amélioration de la performance thermique et énergétique des bâtiments existants deviendra très probablement obligatoire pour répondre aux objectifs définis.

Il existe des technologies qui permettent de promouvoir l'efficacité énergétique à plusieurs niveaux, de la réduction de la consommation d'énergie électrique au contrôle efficace des autres sources d'énergie. Une réglementation ambitieuse peut être nécessaire pour assurer un déploiement de ces technologies suffisamment rapide pour atteindre les objectifs d'ici 2020.

## 2 Efficacité énergétique et électricité

*Les réglementations pour les économies d'énergie concernent tous les bâtiments nouveaux comme anciens... et leurs installations électriques.*

### 2.1 Une réglementation volontariste partout dans le monde

Le protocole de Kyoto marque le début de la prise en charge claire par les gouvernements d'objectifs quantitatifs et d'un agenda spécifique de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Au-delà des engagements de Kyoto, un grand nombre de pays se sont donné des objectifs fermes à long terme qui répondent aux dernières recommandations du GIEE -Groupement d'Intérêt Economique Européen- au CCNUCC -Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques- sur les économies d'énergie et qui visent à stabiliser la concentration en CO<sub>2</sub>.

L'Union Européenne donne l'exemple avec un engagement ferme portant sur une réduction de 20 % avant 2020 auquel tous les chefs d'état des pays membres de l'UE en mars 2007 ont souscrit. Cet accord connu sous le nom de 3x20, vise une réduction de 20 % des émissions de CO<sub>2</sub>, une amélioration de 20 % de l'efficacité énergétique et l'utilisation de 20 % d'énergies renouvelables. Certains pays européens envisagent l'adoption d'un objectif de réduction de 50 % à l'horizon 2050. Mais il n'est pas possible d'atteindre ces objectifs sans changements profonds : réglementation, législation et normalisation sont les outils que les gouvernements devront utiliser avec de plus en plus de fermeté.

Partout dans le monde, la législation et les réglementations renforcent les obligations des parties prenantes et mettent en place une infrastructure fiscale et financière.

#### ■ Aux Etats-Unis

- acte sur la politique énergétique de 2005,
- réglementation de la construction,
- réglementation de l'énergie (10CFR434),
- programmes de gestion de l'énergie des divers états (10CFR420),
- règles de conservation de l'énergie pour les produits de grande consommation (10CFR430).

#### ■ En Chine

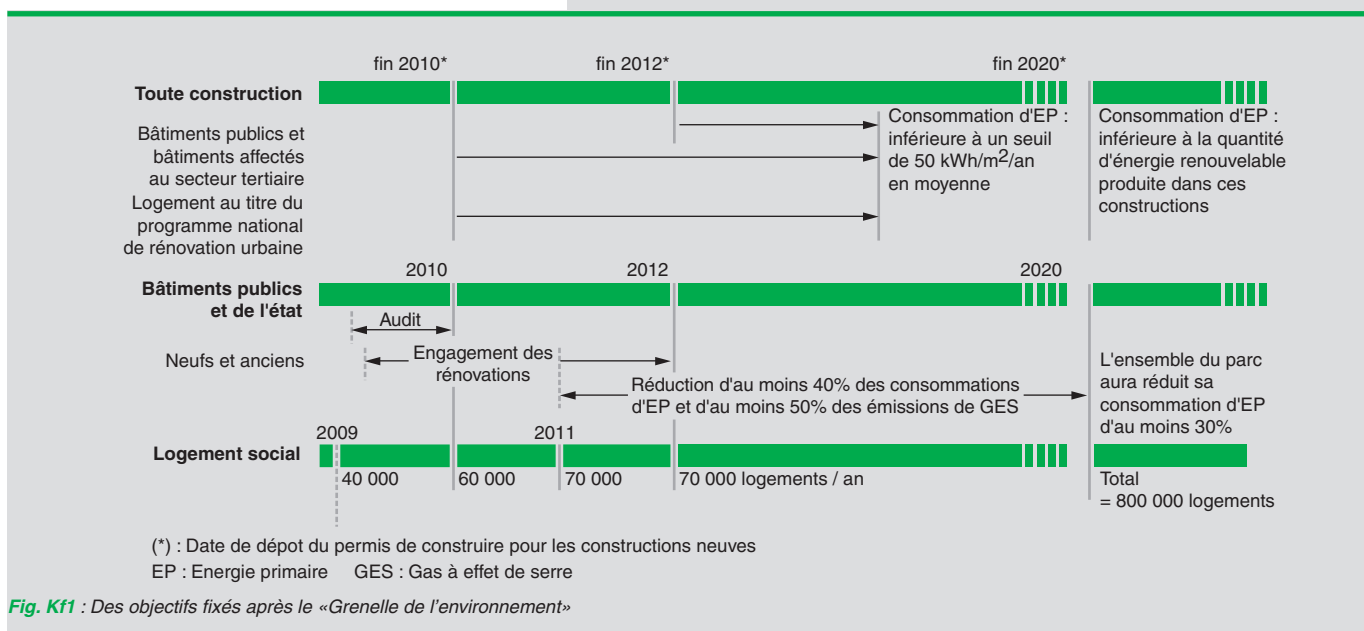
- loi sur la conservation de l'énergie,
- loi sur l'architecture (Efficacité énergétique et construction),
- loi sur les énergies renouvelables,
- 1 000 principaux programmes de conservation de l'énergie industrielle.

#### ■ Dans l'Union Européenne

- système communautaire d'échange de quotas d'émission,
- directive sur la performance énergétique dans la construction,
- directive sur les produits utilisateurs d'énergie,
- directive sur les prestataires et les consommateurs d'énergie.

■ En France, en octobre 2007, les rencontres du «Grenelle de l'environnement» ont abouti à des décisions à long terme en matière d'environnement et de développement durable dont le planning représenté par la **Figure Kf1** donne un aperçu.

K3



Toutes ces réflexions conduisent aussi à un élargissement de la réglementation (cf. **Fig. Kf2**), à de nombreux programmes d'incitation, fiscaux, financiers et législatifs qui sont mis en place aux niveaux national et régional, par exemple :

- programmes d'évaluation et d'audit,
- programmes d'étiquetage de la performance,
- réglementation de la construction,
- certificats de performance énergétique.

Obligations (Sigles et titre)	Détails	Concernés
<b>DPE</b> Diagnostic de Performance Energétique	Evaluation d'un bâtiment, à la vente ou à la location : ■ énergie consommée (chauffage, eau chaude, climatisation, ...), ■ gaz à effet de serre émis, ■ amélioration à apporter.	Les propriétaires d'immeubles
<b>CEE</b> Certificat d'Economie d'Energie	Ce système impose à des fournisseurs d'énergie (EDF, GDF, fuel, ...) de mettre en place chez leurs clients : ■ des actions d'économie d'énergie (isolation, régulation du chauffage, lampes basse consommation, ...), ■ pénalités, si non respect des quotas.	Les fournisseurs d'énergie
<b>RT2005</b> Réglementation Thermique 2005	Le maître d'œuvre (constructions neuves) s'engage à prendre en compte, toutes les possibilités d'amélioration de la performance énergétique.	Les architectes et maîtres d'oeuvre,
<b>HQE</b> Haute Qualité Environnementale	Démarche pour construire des bâtiments : ■ sains et confortables, ■ avec impacts les plus faibles possibles sur l'environnement.	Les constructeurs : entreprises, administrations, particuliers, promoteurs immobiliers
<b>Grenelle</b> de l'environnement	Plus de 20 plans d'action contre la pollution et les gaspillages d'énergie ■ 2007 - 2012 : l'Etat rénove ses bâtiments dans les 5 ans, ■ 2012 : tous les bâtiments neufs sont basse consommation, ■ 2020 : les bâtiments produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.	Toutes les administrations

**Fig. Kf2** : Un environnement réglementaire français bien orienté «Efficacité énergétique»

**K4**

Tous les secteurs (administration, industrie, tertiaire et habitat) et toutes les formes d'utilisation de l'énergie (éclairage, ventilation, chauffage, refroidissement et climatisation) sont concernés.

Ces réglementations concernent non seulement les nouvelles constructions et les installations neuves mais aussi les équipements et bâtiments existants dans le secteur industriel.

En outre, les travaux de normalisation ont commencé et un grand nombre de nouvelles normes ont été formulées ou sont en cours de rédaction. C'est le cas des normes réglementant l'emploi des systèmes de gestion de l'énergie (conformes aux normes bien connues ISO 9001 pour la qualité et ISO 14001 pour l'environnement) qui sont en cours de formulation par les agences de réglementation pour les sociétés industrielles et commerciales.

Des normes applicables aux services d'efficacité énergétique sont, elles aussi, en préparation.

## 2.2. La norme NF EN 15232

Déjà en France, depuis le 12 janvier 2008 la norme NF EN 15232 «Performance énergétique des bâtiments - Impact de l'automatisation de la régulation et de la gestion technique du bâtiment» est en application.

Cette norme spécifie notamment :

- une liste des fonctions d'automatisation, de régularisation et de gestion technique du bâtiment ayant un impact sur la performance énergétique des bâtiments ;
- des méthodes pour :
  - définir les spécifications minimales concernant les fonctions de régulation d'automatisation et de gestion technique du bâtiment,
  - estimer l'impact de ces fonctions sur un bâtiment donné,
  - obtenir une première estimation de l'impact de ces fonctions sur des bâtiments type.

## 2 Efficacité énergétique et électricité

Elle est destinée aux pouvoirs publics pour définir des spécifications minimales, des procédures d'inspection et des méthodes de calcul, mais aussi aux :

- propriétaires de bâtiments, architectes ou ingénieurs qui spécifient les fonctions à mettre en oeuvre pour un bâtiment neuf ou pour la rénovation d'un bâtiment existant,
- concepteurs qui vérifient que l'impact de toutes les fonctions d'automatisation, de régulation et de gestion technique.

### 2.3 Comment parvenir à l'efficacité énergétique

Il est possible dès aujourd'hui de réaliser des économies d'énergie jusqu'à 30%, mais pour bien comprendre la nature de cette réduction potentielle, il est essentiel de bien comprendre d'abord la différence entre efficacité énergétique active et passive.

#### Efficacité énergétique active et passive

L'efficacité énergétique passive est celle qui résulte de la réduction des pertes thermiques, de l'utilisation d'équipements à faible consommation énergétique, etc. L'efficacité énergétique active est celle qui résulte de la mise en oeuvre d'une infrastructure de mesure, de surveillance et de contrôle de l'utilisation de l'énergie pour un changement permanent.

Toutes ces économies peuvent être amplifiées par une analyse et des actions correctives plus adaptées, par exemple, alors qu'une économie de 5 à 15 % est possible par une optimisation de l'usage des installations et des appareillages utilisés (arrêt des systèmes quand ils cessent d'être nécessaires, réglages des moteurs et du chauffage), des économies plus importantes sont possibles, jusqu'à :

- 40 % de l'énergie motrice grâce au contrôle des systèmes motorisés par commande et automatisation,
- 30 % sur l'éclairage lorsqu'il est contrôlé par un système d'optimisation automatique.

Mais les économies peuvent disparaître rapidement dans les cas suivants :

- arrêts non planifiés et non gérés de l'équipement et des processus,
- absence d'automatisation et de réglage (moteurs, chauffage),
- intermittence des comportements d'économie.

Une approche pragmatique est de discerner les consommateurs, envisager les économies passives, puis actives pour terminer par la mise en oeuvre des dispositifs de contrôle et d'entretien pour la pérennisation de ces économies, d'où les quatre étapes suivantes.

- La première étape est le diagnostic, et sa priorité est de mieux identifier les principales sources de consommation, les dynamiques des consommations, etc. Pour cela, des mesures initiales et un processus d'évaluation comparative permettent d'évaluer la performance, de définir les principaux axes d'amélioration et d'estimer l'ampleur des économies qu'il est possible de réaliser. Car : «Nous ne pouvons pas améliorer ce que nous ne savons pas mesurer !» (Lord Kelvin).
- Il faut ensuite définir les exigences de base en matière d'efficacité énergétique passive, par exemple :

- remplacer les appareils et équipements anciens par d'autres à faible consommation (ampoules, moteurs, etc.),
- améliorer l'isolation thermique et garantir la qualité de l'énergie afin de travailler dans un environnement stable dans lequel les économies peuvent être maintenues dans le temps.

- La phase d'automatisation ou phase d'efficacité énergétique active suit : tout ce qui consomme de l'énergie doit faire l'objet d'une gestion active pour assurer des économies permanentes.

Une efficacité énergétique active est possible non seulement lorsque des dispositifs et appareils à haut rendement énergétique sont installés, mais aussi avec tous les types d'appareils. C'est le contrôle qui est critique pour une efficacité maximale, par exemple une ampoule qui reste éclairée dans une pièce vide même si elle est à faible consommation, gaspille toujours de l'énergie !

En résumé, c'est bien la gestion de l'énergie qui est la clé de l'optimisation de son usage et de l'élimination du gaspillage.

K5

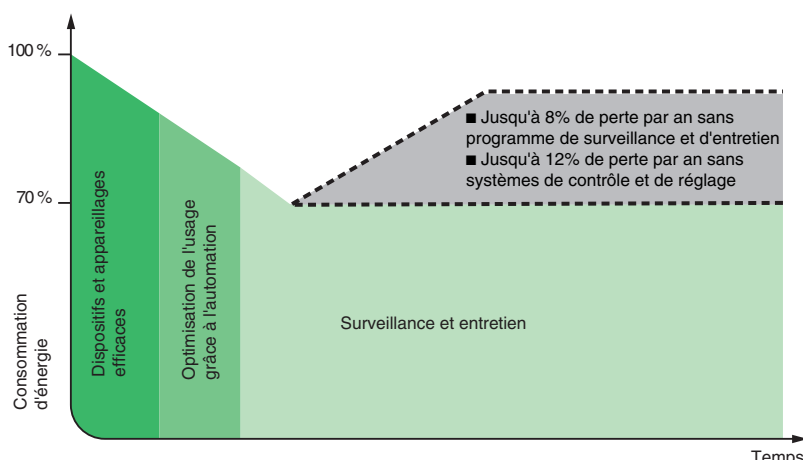
■ Réaliser les modifications de base, introduire l'automatisation et finalement mettre en place l'infrastructure de surveillance, d'entretien et d'amélioration continue, constituent la dernière phase. C'est cette infrastructure qui engage, par un processus continu, la poursuite de l'efficacité énergétique pour l'avenir (cf. **Fig. K1**).

1 Quantification	2 Implémentation des mesures de base	3 Automatisation	4 Surveillance et amélioration
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Compteurs d'énergie</li> <li>■ Compteurs de la qualité de l'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dispositifs à faible consommation</li> <li>■ Matériaux d'isolation thermique</li> <li>■ Qualité de l'énergie</li> <li>■ Fiabilité de l'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Systèmes de gestion des bâtiments</li> <li>■ Systèmes de contrôle de l'éclairage</li> <li>■ Systèmes de contrôle des moteurs</li> <li>■ Commandes à vitesse variable</li> <li>■ Systèmes de contrôle de l'habitat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Logiciels de gestion de l'énergie</li> <li>■ Systèmes de surveillance à distance</li> </ul>

**Fig. K1** : Les 4 conditions de la pérennité des économies

### La clé des économies pérennes

Comme le montre la **Figure K2**, 30 % d'économie d'énergie est possible et facilement réalisable dès aujourd'hui, mais une perte jusqu'à 8% par an intervient en l'absence d'entretien approprié et de surveillance des principaux indicateurs. L'information devient dès lors la clé du caractère durable des économies d'énergie.



**Fig. K2** : Les technologies de contrôle et de surveillance garantissent le caractère pérenne des économies

En conséquence, des systèmes de surveillance de l'énergie ou d'information sont indispensables et doivent être organisés pour relever ce défi.

L'efficacité énergétique requiert donc une démarche structurée pour garantir des économies substantielles et permanentes, mais seules les sociétés qui se sont donné les moyens d'une intervention active sur l'ensemble du processus peuvent fournir à leurs clients les économies promises. Schneider Electric peut aussi apporter une aide avec sa démarche basée sur la gestion du cycle de vie des produits des clients (cf. **Fig. K3**).

L'atteinte des objectifs fixés, en final, ne peut être que le résultat du partage des risques et d'une relation gagnant-gagnant entre les différents acteurs de cette démarche.

Sur la base des rapports fournis par le système de surveillance de l'énergie ou le système d'information, des projets d'efficacité énergétique appropriés peuvent être formulés, selon différentes stratégies acceptables par tous ces acteurs.

■ Commencer par un projet facile et relativement peu onéreux qui permet de réaliser des gains rapides avant de passer à des investissements plus importants, c'est la solution souvent privilégiée des entrepreneurs.

■ Construire un projet en fonction de l'amortissement possible et nécessaire à son autofinancement est une méthode courante d'évaluation et de choix des projets. Son avantage est la simplicité de l'analyse. L'inconvénient est que cette méthode peut ne pas tenir compte de tout l'impact à long terme du projet.

## 2 Efficacité énergétique et électricité

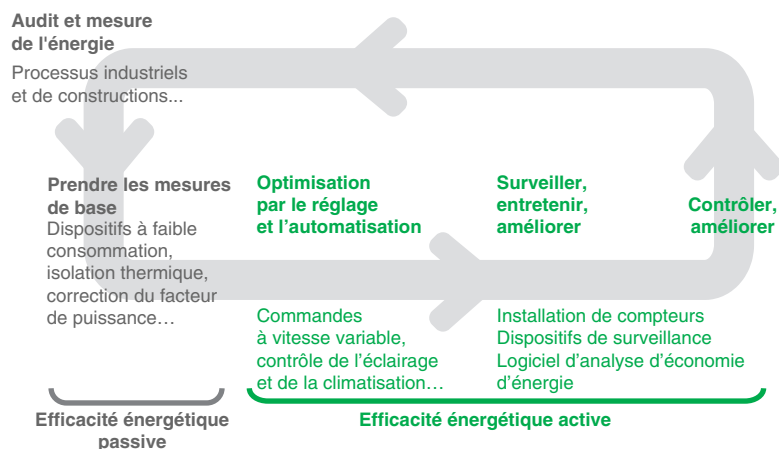


Fig. K3 : Des solutions d'efficacité énergétique basées sur le cycle de vie

■ D'autres stratégies plus complexes peuvent aussi être retenues avec l'analyse de différents paramètres de gestion tels la valeur nette actuelle ou le taux interne de retour sur investissement. Ces stratégies imposent des efforts pour effectuer cette analyse, mais elles fournissent une indication plus exacte de l'impact global du projet.

## 3 Diagnostic par mesures électriques

### 3.1 Les mesures électriques

#### Tension et courant, deux grandeurs à connaître pour tout savoir ou presque

En ce qui concerne les mesures électriques, elles sont réalisées sur les grandeurs de tension et de courant, à partir desquelles se calculent d'autres grandeurs ; puissance, énergie, facteur de puissance, etc.

Il est recommandé de se doter d'un ensemble complet de dispositifs de mesure qui correspond aux exigences de mesures spécifiques de l'application. Il est en effet possible d'améliorer de manière significative la valeur des informations par d'autres données obtenues avec ces mêmes mesures :

- les positions opératoires des dispositifs (marche/arrêt, ouvert/fermé,...),
- le nombre d'heures de fonctionnement et le nombre de commutations,
- la charge d'un moteur,
- la charge d'une batterie,
- les défaillances d'un équipement,
- etc.

Il n'existe pas de solution universelle et il faut rechercher un compromis technico-économique répondant aux besoins spécifiques de chaque situation... Sans oublier que la précision des mesures a, elle aussi, un coût qui doit être mis en rapport avec les retours sur investissement escomptés.

En outre, lorsque des modifications fréquentes du réseau électrique de l'exploitant sont prévisibles compte tenu de son activité, elles doivent inciter à rechercher des optimisations immédiates et substantielles.

A noter que pour une démarche d'efficacité énergétique, d'autres paramètres sont à retenir (températures, éclairage, pression,...) car, si l'énergie se transforme sans perte, l'énergie consommée par un appareil peut être supérieure à l'énergie utile qu'il produit, ainsi un moteur ne transforme pas toute l'énergie qu'il consomme en énergie mécanique, il produit aussi de la chaleur !

#### Avoir des données électriques pertinentes pour des objectifs spécifiques

De plus, outre la recherche d'efficacité énergétique, les données électriques transformées en informations sont généralement destinées à répondre à plusieurs autres objectifs :

- améliorer la compréhension des utilisateurs et les possibilités d'optimisation des appareils et des procédures,
- optimiser le fonctionnement et prolonger la vie des équipements associés au réseau électrique,
- et finalement, jouer un rôle crucial dans l'augmentation de la productivité des processus afférents (procédures industrielles ou même administratives et de gestion) en évitant ou en réduisant les périodes de non productivité et en garantissant la disponibilité d'une énergie de qualité supérieure.

### 3.2 Des appareils de mesure adaptés

Les appareils électroniques remplacent de plus en plus les appareils analogiques dans les installations électriques. Ils permettent de mesurer de nouvelles grandeurs, avec une plus grande précision, et de les mettre à disposition de l'utilisateur, soit localement soit à distance.

Tous ces dispositifs de mesure, désignés sous le terme de «PMD» pour «Performance Measuring and Monitoring Device», doivent satisfaire à une norme internationale, la CEI 61557-12. Selon cette norme, ils ont un code qui indique leurs possibilités de montage, leur fourchette de températures de fonctionnement et leur classe de précision. Le choix et l'identification de tous ces appareils est dès lors bien simplifié (cf. Fig. K4).

A noter que de nombreux dispositifs sont conçus pour participer à cette collecte, tels les relais de protection et de mesure Sepam, les contrôleurs de moteur TeSys U, les contrôleurs de batterie de condensateurs NRC12, ou encore les dispositifs d'alimentation sans coupure Galaxy. Les nouveaux disjoncteurs Masterpact et Compact qui comportent des dispositifs intégrés de mesure Micrologic (cf. Fig. K5) facilitent aussi cette démarche en multipliant les points de mesure.

Enfin, il est maintenant possible de diffuser ces mesures par des réseaux numériques, le tableau de la Figure K6 donne des exemples de mesures disponibles par Modbus, RS485 ou Ethernet.



K8

- c = Mesure du courant
  - S : avec capteur extérieur, D : mesure directe
- v = Mesure de la tension
  - S : avec capteur extérieur, D : mesure directe
- Classe de température
- Classe précision énergie active

PMD / cv / Ktt / p

Unité de mesure PM 700 (Schneider Electric)

Code : PMD/SD/K55/1

Fig. K4 : Identification des dispositifs de mesure selon CEI 61557-12



Fig. K5 : Disjoncteur Compact NSX équipé d'un déclencheur Micrologic et contrôleur TeSys U (Schneider Electric)

### 3 Diagnostic par mesures électriques

	Unités de mesure	Relais de mesure et de protection MT	Relais de mesure et de protection BT	Régulateurs de batterie de condensateurs	Dispositifs de surveillance de l'isolation
Exemples	dispositif de surveillance de circuit, compteur d'énergie	Sepam	Disjoncteurs Masterpact et Compact Micrologic	Varlogic	Système VigiloHM

#### Contrôle de la consommation d'énergie

Energie, inst., max., min.	■	■	■	■	-
Energie, capacité de réenclenchement	■	■	■	-	-
Facteur de puissance, inst.	■	■	■	-	-
Cos φ inst.	-	-	-	■	-

#### Amélioration de la disponibilité de l'énergie

Courant, inst., max., min., déséquilibre	■	■	■	■	-
Courant, capture de forme d'onde	■	■	■	-	-
Tension, inst., max., min., déséquilibre	■	■	■	■	-
Tension, capture de forme d'onde	■	■	■	-	-
État du dispositif	■	■	■	■	-
Historique des défauts	■	■	■	-	-
Fréquence, inst., max., min.	■	■	■	-	-
THDu, THDi	■	■	■	■	-

#### Meilleure gestion de l'installation électrique

Température de la charge, état thermique de la charge et du dispositif	■	■	-	■	-
Résistance d'isolation	-	-	-	-	■

K9

	Contrôleurs de moteur	Commandes à vitesse variable BT	Démarrateurs progressifs BT	Démarrateurs progressifs BT	Dispositifs d'alimentation sans coupure
Exemples	TeSys U	ATV.1	ATS.8	Motorpact RVSS	Galaxy

#### Contrôle de la consommation d'énergie

Energie, inst., max., min.	-	■	-	■	■
Energie, capacité de réenclenchement	-	■	■	■	-
Facteur de puissance, inst.	-	-	■	■	■

#### Amélioration de la disponibilité de l'alimentation

Courant, inst., max., min., déséquilibre	■	■	■	■	■
Courant, capture de forme d'onde	-	-	-	■	■
État du dispositif	■	■	■	■	■
Historique des défauts	■	■	■	■	-
THDu, THDi	-	■	-	-	-

#### Meilleure installation électrique

Température de la charge, état thermique de la charge et du dispositif	■	■	■	■	■
Nombre d'heures de fonctionnement du moteur	-	■	■	■	-
Suivi de la batterie	-	-	-	-	■

Fig. K6 : Exemples de mesures disponibles par Modbus, RS485 ou Ethernet

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

Les économies d'énergie (cf. **Fig. K7**) peuvent être alors obtenues par différentes mesures :

- de réduction d'énergie

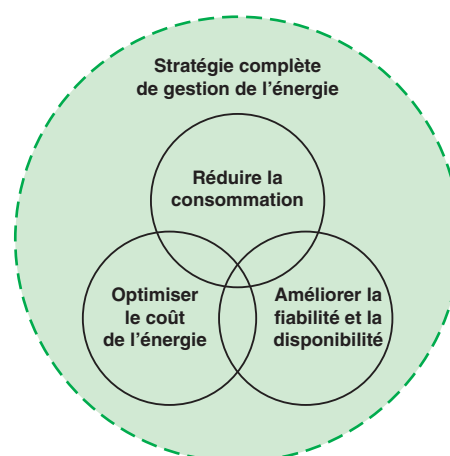
Elles visent à moins consommer pour obtenir les mêmes résultats (ex. : installation de lampes à haut rendement énergétique offrant la même qualité d'éclairage avec moins d'énergie) ou réduisent la consommation d'énergie en veillant à ne pas utiliser plus d'énergie qu'il n'est strictement nécessaire (ex. : une autre méthode est la réduction du nombre de lampes dans une salle qui est trop éclairée).

- d'économie d'énergie

Elles ne réduisent pas la quantité totale d'énergie consommée mais réduisent le coût unitaire. Par exemple, le transfert de certaines activités diurnes pour profiter du tarif préférentiel de nuit ; ou encore évitement des périodes de pointe et des programmes de réponse à la demande.

- de fiabilité de l'énergie

Elles contribuent non seulement à l'efficacité opérationnelle en évitant les arrêts de production, mais évitent aussi les pertes d'énergie associées aux redémarrages fréquents et au travail supplémentaire associé aux lots de produits gâchés.

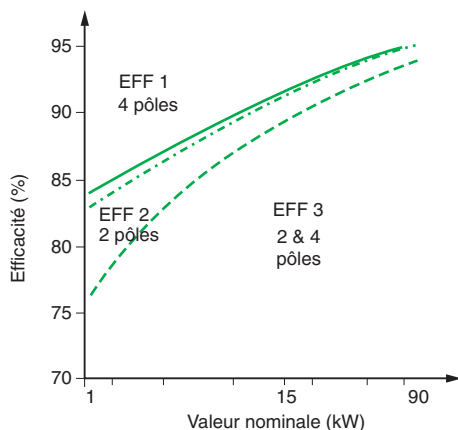


**Fig. K7** : Une stratégie complète de gestion de l'énergie

Dans l'industrie 60 % de l'électricité consommée sert au fonctionnement des moteurs.

Les appareils transformateurs d'énergie sont les premiers gisements d'économie exploitables auxquels tout le monde pense : moteurs, dispositifs d'éclairages et de chauffage.

Mais il y a aussi tous les dispositifs et programmes de commande de ces appareils qui sont susceptibles d'être des sources d'économie.



**Fig. K8** : Définition des classes d'efficacité énergétique pour les moteurs BT établie par la Commission Européenne et le Comité européen des fabricants d'appareils électriques et électroniques ou CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics)

### 4.1 Les moteurs

Les systèmes motorisés figurent parmi les sources potentielles d'économie d'énergie.

Le remplacement des moteurs est souvent envisagé en premier, pour l'amélioration de l'efficacité énergétique passive, pour deux raisons :

- profiter des avantages offerts par les nouveaux moteurs haute performance (cf. **Fig. K8**),
- remédier au surdimensionnement.

Les moteurs qui fonctionnent pendant de longues périodes sont de bons candidats au remplacement par des moteurs haute performance, surtout lorsque les moteurs existants sont anciens et requièrent un rebobinage.

Les moteurs haute performance, selon leur puissance, fonctionnent avec une efficacité supérieure jusqu'à 10% de celle des moteurs standard et les moteurs ayant subi un rebobinage ont une efficacité inférieure de 3 à 4% à celle du moteur d'origine.

Cependant, si l'utilisation du moteur est faible ou modérée (par exemple moins de 3 000 heures par an), le remplacement des moteurs d'efficacité standard (surtout ceux qui n'ont pas encore subi de rebobinage) par des moteurs haute performance, peut ne pas être économique. Il est aussi important de veiller à ce que les caractéristiques de performance critique (comme la vitesse) du nouveau moteur soient équivalentes à celles du moteur existant.

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

■ Les moteurs surdimensionnés ne sont pas seulement inefficaces, ils sont aussi plus chers à l'achat que les moteurs correctement dimensionnés. Les moteurs ont une efficacité optimale lorsqu'ils fonctionnent entre 60 et 100 % de leur charge nominale. L'efficacité baisse rapidement lorsque la charge est inférieure à 50 %. D'un point de vue historique, les concepteurs ont eu tendance à développer des moteurs surdimensionnés pour leur donner une marge de sécurité suffisante et éliminer les risques de défaillance même dans des conditions hautement improbables. Les études montrent qu'au moins un tiers des moteurs sont nettement surdimensionnés et fonctionnent à moins de 50 % de leur charge nominale. La charge moyenne des moteurs est d'environ 60 %.

Les plus gros moteurs ont aussi tendance à avoir un facteur de puissance inférieur, ce qui peut conduire à la facturation de frais de puissance réactive. Les décisions de remplacement doivent tenir compte de ces facteurs et de la période résiduelle de la vie utile du moteur. En outre, il faut noter que certains moteurs peuvent être surdimensionnés, mais que leur charge est si légère ou leur utilisation si peu fréquente, qu'ils ne consomment pas suffisamment d'électricité pour justifier le coût d'un remplacement.

En résumé, la décision du changement doit être précédée d'une réflexion intégrant tous ces paramètres.

D'autres considérations peuvent être appliquées aux moteurs.

■ Améliorer l'efficacité énergétique **active** en arrêtant simplement les moteurs quand ils ne sont pas nécessaires. Cela peut requérir des améliorations en matière de contrôle automatique, de formation ou de surveillance et peut-être d'incitation des opérateurs. Si l'opérateur n'est pas tenu pour responsable de la consommation d'énergie, il est probable qu'il oubliera d'arrêter un moteur dont la marche est momentanément inutile.

■ Surveiller et corriger tous les éléments composant les chaînes cinématiques, en commençant par celles des plus gros moteurs, qui peuvent affecter le rendement global, par exemple rectifier si nécessaire l'alignement des arbres ou des accouplements. A savoir : un décalage angulaire de 0,6 mm au niveau d'un accouplement peut causer une perte possible de puissance de 8%.

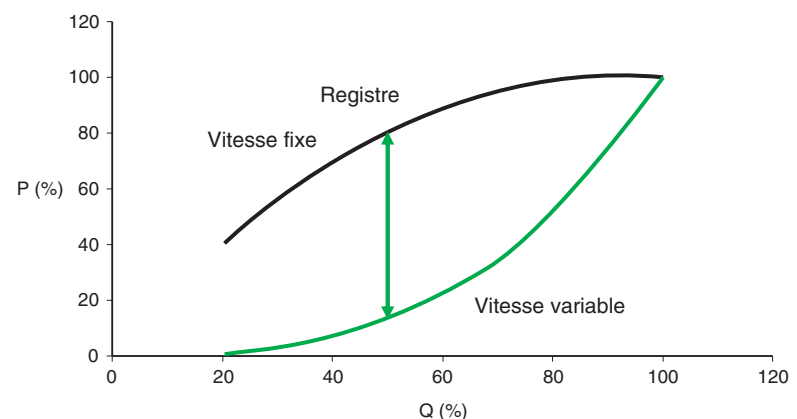
■ Avoir une approche prioritaire sur les pompes et ventilateurs car

- 63% de l'énergie utilisée par les moteurs sert à la propulsion des fluides, comme dans les pompes et les ventilateurs ;
- la régulation du flux est souvent faite avec des vannes, des registres et des papillons d'obturation qui sont des organes provoquant des pertes énergétiques par obturation des conduits alors que les moteurs fonctionnent à plein régime ;
- des projets bien conçus permettent souvent l'amortissement des investissements en moins de dix mois.

*Le juste dimensionnement d'un moteur associé à un contrôle et/ou un variateur de vitesse est une source potentielle d'économie.*

### 4.2 La variation de vitesse

Pour faire varier le flux ou la pression dans un système, il existe plusieurs techniques (cf. **Fig. K9**). Le choix de la technique dépend de la conception de la pompe ou du ventilateur, selon par exemple que la pompe utilisée soit une pompe volumétrique ou centrifuge et le ventilateur centrifuge ou à flux axial.



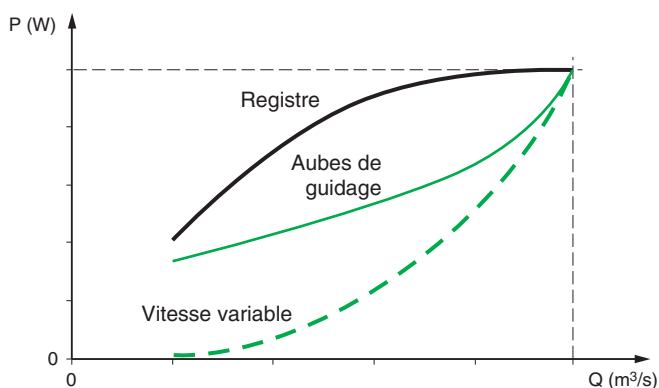
**Fig. K9** : Economie d'énergie théorique avec un ventilateur tournant à une vitesse réduite de moitié

K11

Chaque fois qu'un ventilateur ou une pompe est installé dans le but d'obtenir une certaine plage de débits ou de pressions, le dimensionnement est basé sur la demande maximale. Il est donc généralement surdimensionné et n'opère pas efficacement dans les autres régimes. Ce surdimensionnement systématique, combiné à l'inefficacité des méthodes de contrôle décrites ci-dessus, signifie qu'il est généralement possible de réaliser des économies d'énergie significatives par recours à des méthodes de contrôle qui réduisent le courant d'alimentation de la pompe ou du ventilateur pendant les périodes de demande réduite.

Les systèmes à ventilateur et pompe sont régis par certaines lois d'affinité :

- Le flux est proportionnel à la vitesse de l'arbre : réduire de moitié la vitesse de l'arbre réduit le flux de moitié (cf. Fig K10) ;



**Fig. K10** : Rapport entre énergie et flux pour les différentes méthodes de contrôle de ventilateur telles que, registre, aubes de guidage d'admission et vitesse variable

- La pression ou la hauteur est proportionnelle au carré de la vitesse de l'arbre : réduire de moitié la vitesse de l'arbre réduit la pression au quart de sa valeur.
- L'énergie est proportionnelle au cube de la vitesse de l'arbre : Réduire de moitié la vitesse de l'arbre réduit dans un rapport de 8 la consommation, et donc, réduire le flux de moitié réduit dans un rapport de 8 la consommation. De fait, s'il n'est pas nécessaire que le ventilateur ou la pompe produise 100% du flux ou de la pression, il est possible de réduire l'énergie consommée et l'économie réalisée est substantielle même pour une réduction modeste du flux (cf. Fig K11). Malheureusement, en pratique, les pertes en efficacité des divers composants font que ces valeurs théoriques ne sont pas réalisables.

**K12**

Technique	Inconvénient
Commande d'arrêt et de démarrage	Cette méthode n'est efficace que lorsqu'un flux intermittent est acceptable.
Vanne de commande : une vanne contrôle le flux en augmentant la résistance frictionnelle à la sortie de la pompe.	Gaspillage d'énergie car la pompe produit un flux qui est ensuite réduit par l'action de la vanne. En outre, les pompes ont une plage de fonctionnement optimal et l'augmentation de la résistance par cette méthode peut obliger la pompe à opérer dans une plage d'efficacité réduite (avec gaspillage d'énergie supplémentaire) et dans laquelle sa fiabilité est compromise.
Dispositif de contournement : dans cette méthode, la pompe tourne en continu à plein régime et l'excès de fluide à la sortie de la pompe est canalisé vers la source, d'où un flux réduit sans risque d'augmentation de la pression de sortie.	Le système est très inefficace car l'énergie utilisée pour pomper l'excédent de fluide est entièrement gaspillée.
Pompes ou ventilateurs multiples : ces configurations permettent une augmentation ponctuelle par actionnement de pompes ou de ventilateurs additionnels, ce qui rend le contrôle difficile.	Généralement il y a une perte d'efficacité car le besoin réel est souvent situé entre les différents régimes disponibles.
Registre : technique similaire de celle de la vanne de commande dans un système équipé d'une pompe, elle réduit le flux en obstruant partiellement la sortie du ventilateur.	Gaspillage d'énergie car le ventilateur produit un flux qui est ensuite réduit par l'action du registre.
Vanne de trop plein : technique semblable à celle de la vanne de contournement dans un système équipé d'une pompe. Le ventilateur tourne en permanence à plein régime et le flux excédentaire de gaz est évacué.	Le système est très inefficace car l'énergie utilisée pour propulser l'excédent d'air ou de gaz est entièrement gaspillée.
Ventilateur à pales orientables : l'orientation des pales permet de moduler le flux.	Gaspillage d'énergie car le ventilateur produit un flux qui est ensuite réduit par l'action des pales.
Pales de guidage d'admission : des ailettes obstruent ou facilitent le flux du gaz dans un ventilateur et modulent ainsi le rendement du ventilateur.	Le ventilateur ne produit pas de flux superflu, mais ne fonctionne pas à son meilleur rendement.

**Fig. K11** : Exemples de techniques pouvant bénéficier de commandes à vitesse variable

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

L'utilisation d'une commande à vitesse variable (cf. Fig. K12) en remplacement des techniques évoquées précédemment est une méthode d'efficacité énergétique **active** qui assure le rendement variable requis pour un fonctionnement optimal d'une pompe ou d'un ventilateur.



Altivar 12 (< 4 kW)

Altivar 21 (< 75 kW)

Altivar 71 (< 630 kW)

Fig. K12 : Des variateurs Altivar de différentes puissances (Schneider Electric)

Dans certains cas des solutions simples peuvent être envisagées :

- Quand une modification des dimensions des poulies permet de faire tourner les ventilateurs ou les pompes à leur vitesse optimale. Cette solution ne fournit pas la flexibilité des commandes à vitesse variable, mais elle est peu onéreuse et peut probablement être financée dans le cadre du budget d'entretien sans investissement supplémentaire.
- Lorsque ventilateur ou pompe peut fonctionner à plein régime en permanence sans les méthodes de contrôle décrites précédemment ou avec des méthodes de contrôles installées mais inutilisées (par exemple avec les registres et les vannes ouverts au maximum). Dans ce cas, le dispositif fonctionne avec une efficacité optimale ou proche de l'optimum.

Les économies réalisables, en pratique, dépendent du modèle du ventilateur ou de la pompe, de leur efficacité propre, de la taille du moteur, du nombre d'heures d'utilisation par an, et du coût local de l'électricité. Ces économies peuvent être calculées en utilisant des logiciels spécifiques (Eco 8), ou estimées avec précision par l'installation de compteurs temporaires et l'analyse des données obtenues.

*La régulation de vitesse : une juste adaptation de la consommation énergétique au besoin.*

### 4.3. La régulation

Les lignes précédentes ont déjà présenté l'intérêt des commandes à variation de vitesse pour les pompes et les ventilateurs. Cet intérêt peut être augmenté par leur association à des dispositifs de contrôle et de régulation bien adaptés au besoin.

- Contrôle par pression fixe et variation du flux : ce type de régulation est souvent appliqué aux systèmes de distribution de l'eau (eau potable, irrigation). Il est aussi appliqué pour la circulation des fluides de refroidissement.
- Contrôle des systèmes de chauffage : dans les circuits de chauffage et de refroidissement, le flux doit varier en fonction de la température.
- Contrôle par flux fixe mais avec variation de la pression : Les applications les plus courantes sont dans le pompage (différences de pression dues à des différences de niveaux) comme c'est le cas pour les installations de nettoyage, d'arrosage, de refroidissement et de congélation qui requièrent la fourniture d'un certain volume d'eau même si les conditions d'aspiration et de refoulement varient.

Les avantages immédiats sont les suivants :

- meilleur contrôle et précision supérieure des valeurs de pression ou de flux,
- forte atténuation des effets transitoires dans le réseau électrique et des contraintes mécaniques sur les mécanismes,
- réduction du bruit et des vibrations, car un variateur permet un réglage fin des vitesses qui empêche le fonctionnement de l'équipement à la fréquence de résonance des tuyaux ou des conduites,
- démarrages et arrêts en douceur ;

D'où des avantages induits de :

- plus grande fiabilité et prolongement de la vie des systèmes,
- systèmes de tuyaux ou de conduites simplifiés (élimination des registres, des vannes de commande et des conduites de contournement),
- maintenance réduite.

Pour en final avoir une réduction de la consommation d'énergie et donc des coûts !

K13

## 4.4. L'éclairage

L'éclairage peut représenter plus de 35% de la consommation d'énergie dans les bâtiments en fonction des activités. Le contrôle de l'éclairage est un des moyens les plus faciles de réaliser des économies d'énergie importantes avec un investissement minimal et c'est une des mesures d'économie d'énergie la plus souvent utilisée.

Les systèmes d'éclairage des bâtiments commerciaux sont régis par des normes, réglementations et codes de construction. L'éclairage doit non seulement être fonctionnel, mais il doit aussi répondre aux normes de santé et de sécurité professionnelles et aux exigences opérationnelles.

Dans bien des cas, les bureaux sont trop éclairés et des économies d'énergie passives substantielles sont possibles, par remplacement des luminaires inefficaces, des lampes obsolètes par des lampes haute performance et à faible consommation et par l'installation de ballasts électroniques. Ces réponses sont appropriées dans les salles dans lesquelles l'éclairage est requis constamment ou pendant de longues périodes, avec impossibilité de réaliser des économies en éteignant les lampes. Les périodes d'amortissement peuvent varier, mais de nombreux projets ont des périodes d'amortissement d'environ deux ans.

### Lampes et ballasts électroniques

Selon les besoins en éclairage, du type et de l'âge du système d'éclairage, des lampes plus efficaces peuvent être disponibles. Par exemple il existe de nouvelles lampes fluorescentes, mais le changement d'une lampe requiert généralement le changement du ballast.

Il existe aussi de nouveaux modèles de ballasts permettant de réaliser des économies d'énergie considérables par rapport aux ballasts électromagnétiques antérieurs. Par exemple, les lampes T8 équipées de ballasts électroniques utilisent entre 32 % à 40 % d'électricité de moins que les lampes T12 équipées de ballasts électromagnétiques.

Mais le ballast électronique présente certains inconvénients par rapport au ballast magnétique : sa fréquence de fonctionnement (entre 20 000 et 60 000 Hz) peut induire des bruits ou des distorsions harmoniques dans le réseau électrique avec le risque de surchauffe ou de réduction de la durée de vie des transformateurs, moteurs, conducteurs neutres, voire des déclenchements des systèmes de protection contre les surtensions et des dommages des composants électroniques. En fait ce risque est surtout limité aux installations requérant un éclairage important avec un grand nombre de ballasts électroniques et, la plupart des modèles de ballast sont maintenant équipés de filtres passifs pour limiter la distorsion harmonique à moins de vingt pour cent du courant fondamental, voire à moins de cinq pour cent pour les installations sensibles (hôpitaux, les ateliers de fabrication sensibles, etc.).

D'autres types d'éclairage peuvent être plus appropriés selon les conditions. Une évaluation des besoins en éclairage passe par une évaluation des activités, du degré d'éclairage et de rendu des couleurs requis. Un grand nombre de systèmes d'éclairage anciens ont été conçus pour fournir un éclairage plus intense que nécessaire. Des économies facilement quantifiables peuvent être réalisées en concevant un nouveau système qui réponde exactement aux besoins en éclairage.

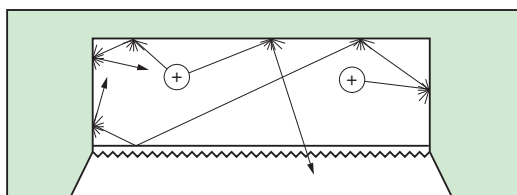
Outre ces économies, tout en répondant aux normes et réglementations en vigueur, la modernisation d'un éclairage apporte d'autres avantages : réduction des coûts d'entretien, juste adaptation aux besoins (bureaux, ateliers passage,...), amélioration du confort visuel (suppression des battements et scintillements souvent causes de migraines et de stress oculaire), et meilleur rendu des couleurs.

### Réflecteurs

Une mesure d'efficacité énergétique **passive** moins populaire, mais qui doit être néanmoins considérée en parallèle à l'utilisation de lampes équipées de ballast, est le remplacement des réflecteurs qui dirigent la lumière des lampes vers les zones d'utilisation. Les progrès réalisés au niveau des matériaux et de la conception ont permis d'améliorer la qualité des réflecteurs qui peuvent être installés sur les lampes existantes. Ce qui permet une intensification de la lumière utile et autorise dans certains cas une réduction du nombre de lampes utilisées, et donc une économie d'énergie sans compromission de la qualité de l'éclairage.

Les nouveaux réflecteurs à haute performance ont une efficacité spectrale supérieure à 90 % (cf. Fig. K13). Cela signifie :

- que deux lampes peuvent être remplacées par une seule lampe. Il est ainsi possible de réduire le coût de l'énergie nécessaire à l'éclairage de 50 % ou plus,
- et que les luminaires existants peuvent être modernisés par l'installation de réflecteurs de type miroir tout en conservant leur écartement, ce qui rend la modernisation facile et peu onéreuse, avec un impact minimal sur la configuration du plafond.



**En haut :** Environ 70 % de la lumière des tubes fluorescents est émise latéralement et vers le haut.

**En bas :** Les nouvelles surfaces argentées sont conçues pour réfléchir un maximum de lumière vers le bas.

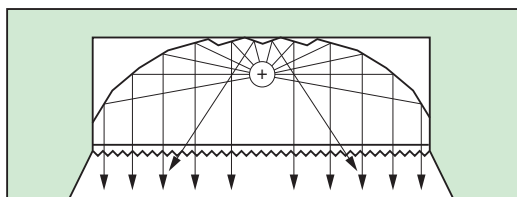


Fig. K13 : Vue d'ensemble du principe de fonctionnement des réflecteurs à hautes performances

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

### Le contrôle de l'éclairage

En elles-mêmes, les mesures d'économie d'énergie passives précédemment décrites ne maximisent pas les économies. L'objectif des programmes de contrôle de l'éclairage est d'assurer le confort et la flexibilité requis par les utilisateurs, tout en assurant simultanément une économie d'énergie active qui minimise les coûts en éteignant les lampes dès qu'elles cessent d'être utilisées. Pour cela, les techniques sont nombreuses et leur sophistication peut varier énormément, mais la période d'amortissement est généralement courte, entre six et douze mois. De nombreux dispositifs sont actuellement exploitables (cf. **Fig. K14**)



**Fig. K14** : Exemples de dispositifs de contrôle d'éclairage : minuteriers, détecteurs de lumière, détecteurs de mouvement

- Les minuteriers, elles éteignent la lumière au bout d'un certain temps, utiles lorsque les périodes d'occupation ou d'activité sont clairement définies tels que pour des lieux de passage.
- Les capteurs d'occupation et des détecteurs de mouvement, ils éteignent la lumière quand aucun mouvement n'a été détecté pendant un certain temps. Ils sont particulièrement adaptés là où les périodes de présence et d'activité ne peuvent pas être connues avec précision (salles d'entreposage, escaliers, ...).
- Les cellules photoélectriques et les capteurs de lumière naturelle pour contrôler les lampes situées à proximité des fenêtres. Lorsque la lumière naturelle est suffisante, les lampes sont éteintes ou mises en veilleuse.
- Les horloges programmables, elles allument et éteignent les lumières à certaines heures prédéterminées (devantures de magasin, bureaux pour les W-E et les nuits).
- Les luminaires à intensité variable, ils délivrent un éclairage réduit (veilleuse) pendant les périodes de faible activité (ex. : parking bien éclairé jusqu'à minuit, mais avec peu de lumière de minuit jusqu'à l'aube).
- Les régulateurs de tension, ballasts ou dispositifs électroniques spéciaux, ils optimisent l'énergie consommée par les lampes (tube fluorescent, lampe à sodium haute pression, ..).
- Les télécommandes sans fil, dont l'application permet une modernisation simple et économique d'installations existantes.

Ces techniques peuvent être combinées et aussi associées à des critères esthétiques, par exemple les panneaux d'éclairage programmables dans des salles de réunions qui ont plusieurs formules d'éclairage (conseil d'administration, exposés, colloques, etc.) actualisables par la simple touche d'un bouton.

K15

### La gestion centralisée de l'éclairage

Il existe maintenant des systèmes de contrôle de l'éclairage tels que ceux basés sur le protocole KNX qui offrent l'avantage supplémentaire de pouvoir être intégrés au système de gestion du bâtiment (cf. Fig. K15). Ils apportent une plus grande flexibilité de gestion, une surveillance centralisée et une intégration des contrôles d'éclairage à d'autres systèmes tels que la climatisation, pour une plus grande économie d'énergie. Certains peuvent permettre des économies d'énergie de 30 %, leur efficacité dépend de l'application dont le choix est donc très important.

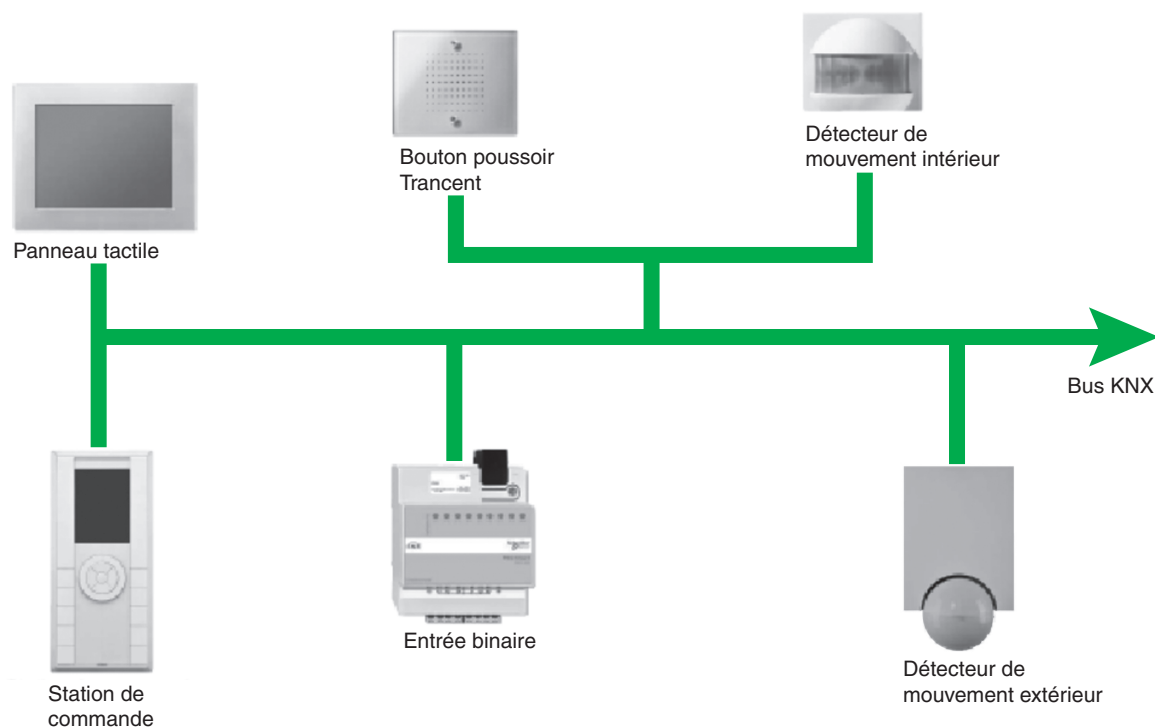


Fig. K15 : Exemple de liaisons réalisées avec le système KNX de Schneider Electric

La conception et la mise en oeuvre de tels systèmes, pour obtenir un résultat commence par un audit de la consommation d'énergie et une étude du système d'éclairage pour définir la meilleure solution d'éclairage et identifier les possibilités de réduction des coûts et de la consommation d'énergie. Dans ce domaine, Schneider Electric propose aussi des solutions de gestion pour les bureaux, et également pour l'éclairage extérieur, parkings et parcs ou jardins paysagés.

### 4.5 La correction du facteur de puissance et le filtrage d'harmoniques

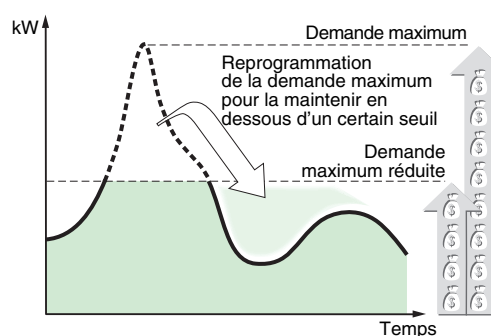
- Lorsque le distributeur d'énergie impose des pénalités pour la consommation de puissance réactive, l'amélioration du facteur de puissance est une mesure d'économie d'énergie passive typique : son rendement est immédiat dès sa mise en oeuvre et elle ne requière aucune modification des procédures ni du comportement du personnel. Les périodes d'amortissement peuvent être de moins d'un an. Pour plus de détails se reporter au chapitre L.
- De nombreux équipements (variateurs de vitesse, ballasts électroniques,...) ainsi que les ordinateurs sont à l'origine d'harmoniques dans leurs réseaux d'alimentations avec parfois des effets significatifs. (surtensions transitoires qui entraînent des déclenchements des relais de protection, échauffements et vibrations qui peuvent réduire l'efficacité et la durée de vie des matériels y compris des batteries de condensateurs destinées à la correction du facteur de puissance). Leur filtrage est aussi une mesure d'économie d'énergie passive typique à envisager. Pour plus de détails se reporter au chapitre M.

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

### 4.6 La gestion de charge

Pour adapter en permanence la consommation d'énergie électrique à la production, les distributeurs modulent leurs tarifs pour inciter les consommateurs à réduire leurs besoins en période de pointe.

Différentes stratégies peuvent être envisagées selon l'importance des consommations et les impératifs d'exploitation : restriction de la demande (cf. **Fig. K16**), évitement des heures de pointe, programmation des charges voire génération complémentaire d'énergie sur le site.



**Fig. K16** : Exemple d'une stratégie de gestion de charge

#### ■ Restriction de la demande

Cette solution peut être prévue par les distributeurs dans des contrats de fourniture comportant des clauses de restriction d'urgence (limite impérative) ou optionnelle dont l'application se fait sur décision du consommateur (avec des tarifs spéciaux). Cette politique de gestion est généralement appliquée pendant les mois les plus chauds ou les plus froids de l'année, lorsque les besoins en ventilation et en climatisation ou en chauffage des entreprises et des particuliers sont très élevés et consomment une grande quantité d'électricité en plus de la demande normale. Cette réduction de la consommation dans l'habitat et le tertiaire est difficilement applicable en raison de l'impact significatif sur le confort des occupants, les clients industriels sont plus susceptibles de participer à un tel programme, et s'ils disposent d'une quantité significative de charges non essentielles ils peuvent bénéficier de ces contrats qui réduisent le coût unitaire jusqu'à 30 %.

#### ■ Evitement des heures de pointe

Il s'agit alors de déplacer les pointes de consommation selon les plages tarifaires, et ainsi minimiser la part correspondante de la facture... même si la consommation totale reste inchangée.

#### ■ Programmation des charges

Ce mode de gestion est possible pour des entreprises qui peuvent planifier leur consommation de manière à profiter des tarifs inférieurs pour toutes leurs activités pour lesquelles l'heure n'est pas un facteur important ou critique.

#### ■ Génération complémentaire d'énergie sur le site

Cette alimentation par des groupes électrogènes augmente la flexibilité de l'exploitation en fournissant l'énergie requise pour continuer à fonctionner normalement pendant les périodes de demande de pointe et de restriction de la demande. Un système de contrôle automatisé peut être configuré pour gérer cette production selon les besoins et selon les tarifs applicables à chaque instant. Lorsque le prix de l'énergie fournie dépasse celui de la génération interne, le système de contrôle effectue un transfert automatique.

K17

## 4.7. Systèmes d'information et de communication

### Un système d'information

Pour être utiles, les données (mesures, états de fonctionnement, bases tarifaires,...) doivent être transformées en informations diffusées à tous les acteurs de l'efficacité énergétique selon leur besoin (pour augmenter le savoir de tous les intervenants du processus de gestion de l'énergie), et expliquées (pour une parfaite compréhension nécessaire au développement des capacités de contrôle et d'intervention qui seules permettent les économies d'énergie effectives). La circulation de ces données doit aboutir à l'action, puis pour maintenir l'efficacité énergétique, elle doit perdurer... (cf. Fig. K19).

Ce cycle opérationnel ne peut fonctionner que si un réseau de communication efficace est en place.

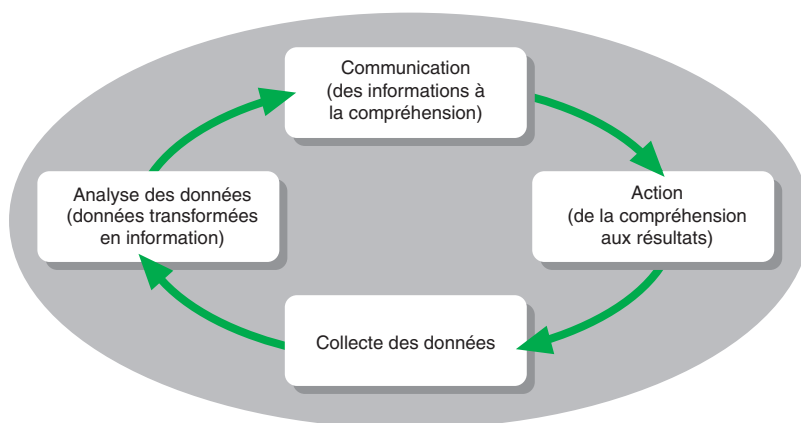


Fig. K17 : Le cycle opérationnel des données indispensable à l'efficacité énergétique

Le système d'information est alors prêt à être utilisé quotidiennement, pour atteindre les objectifs d'efficacité énergétique spécifiés par la direction de la société, par les opérateurs aux différents postes de consommation d'électricité (processus industriels, éclairage, climatisation, etc) et à la contribution positive de ces postes de consommation au fonctionnement de la société (quantité de produits fabriqués, confort des visiteurs dans un supermarché, température ambiante dans une salle réfrigérée, etc).

### Un système de surveillance

■ Pour un audit rapide, voire permanent

La connaissance et la diffusion de ces données sont des facteurs de progrès dans l'instant, mais les réseaux électriques sont soumis à des évolutions rapides nécessitant de répondre toujours à la même question, «Ce réseau peut-il prendre en charge cette nouvelle évolution ?».

Dans cette situation, un système de surveillance des échanges et des consommations d'énergie est à même de fournir toutes les informations requises pour un audit complet du site. Cet audit couvrant non seulement l'électricité, mais aussi l'eau, l'air, le gaz et la vapeur.

Le degré d'efficacité des processus et des installations industrielles peut être déterminé à partir des mesures, évaluations comparatives et données de consommation d'énergie normalisées.

■ Pour des prises de décisions rapides et justifiées

Des plans d'action appropriés peuvent être mis en place incluant la mise en place de systèmes de contrôle et d'automatisation de l'éclairage et des bâtiments, une commande à vitesse variable, l'automatisation de processus, etc.

Les enregistrements des informations sur l'utilisation effective des équipements permettent de déterminer avec précision la capacité disponible sur le réseau ou sur un transformateur, et aussi de déterminer les interventions d'entretien les plus appropriées et le moment le plus approprié pour les réaliser... ni trop tôt, ni trop tard.

### Les réseaux de communication

Système d'information et système de surveillance vont de pair avec les réseaux de communication, Intranet ou Internet, les échanges étant organisés au sein d'architectures informatiques à définir selon les besoins de chaque exploitant.

K18

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

### ■ L'Intranet

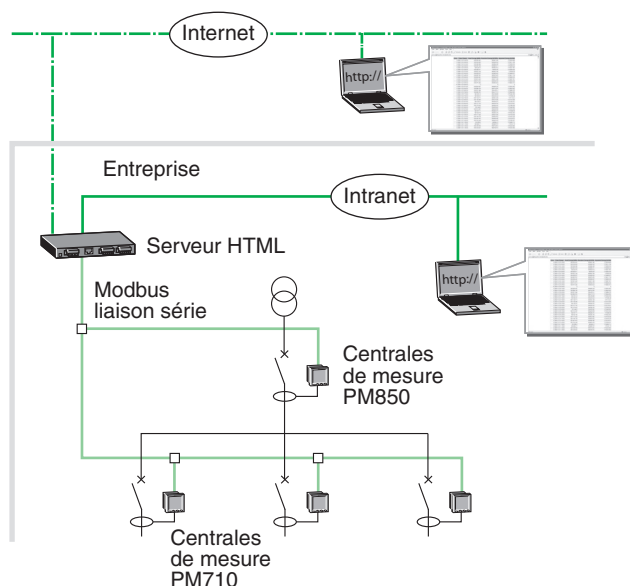
Les échanges de données dans le secteur industriel utilisent généralement les technologies Web implémentées de manière permanente sur le réseau de communication d'entreprise et plus spécialement, sur un réseau Intranet qui est d'usage privé pour l'exploitant, industriel ou gestionnaire.

En ce qui concerne les échanges de données industrielles entre les systèmes connectés par un lien de transmission physique, par exemples RS 485 et modem (GSM, Radio etc.), le protocole Modbus est un protocole très largement utilisé avec les compteurs et les dispositifs de protection des réseaux électriques. A noter que ce protocole créé par Schneider Electric, est maintenant normalisé.

En pratique, les données électriques sont enregistrées dans des serveurs Web industriels installés dans les armoires électriques ; elles sont transmises en utilisant le protocole TCP/IP extrêmement commun et normalisé pour limiter les coûts récurrents d'entretien informatique inhérents à tout réseau informatique. C'est ce principe qui est utilisé par Schneider Electric pour la communication de données utiles à la recherche de l'efficacité énergétique, sans logiciel additionnel, par la seule utilisation d'un navigateur Internet sur PC. Ces armoires électriques sont autonomes sans qu'il soit nécessaire de recourir à un système informatique additionnel. Ainsi, la totalité des données relatives à l'efficacité énergétique est enregistrée et peut être communiquée de la manière ordinaire sur les réseaux intranet, GSM, de téléphonie fixe, etc.

### ■ L'Internet

Enfin la télésurveillance et la télécommande donnent une plus grande disponibilité et accessibilité aux données ainsi qu'une plus grande souplesse d'intervention. La **Figure K18** montre le schéma d'une telle installation : grâce à une connexion sur un serveur et un navigateur Web standard, il est possible d'utiliser très simplement les données et de les exporter vers des tableaux de type Microsoft Excel™ pour tracer les courbes de puissance en temps réel.



**Fig. K18** : Exemple d'un réseau d'information Intranet protégé par un serveur (EGX400 - Schneider Electric) et surveillé à partir du réseau Internet

### ■ Les architectures

Traditionnellement et pendant de nombreuses années, les systèmes de surveillance et de contrôle ont été centralisés et basés sur les systèmes d'automatisation SCADA (Supervisory, Control et Data Acquisition).

Actuellement, trois niveaux d'architecture sont couramment distingués (cf. **Fig. K19** page suivante).

#### □ Architecture de niveau 1

Un nouveau concept d'équipement intelligent a été conçu récemment grâce aux nouvelles capacités inhérentes à la technologie Web. Il peut être positionné comme l'équipement de base dans la gamme des systèmes de surveillance en donnant l'accès aux informations sur l'électricité n'importe où dans le site. L'accès à l'Internet est aussi possible pour tous les services externes au site.

K19

□ Architecture de niveau 2

Ce système a été conçu spécifiquement pour les électriciens, et adapté aux exigences des réseaux électriques.

Cette architecture est basée sur un système de surveillance centralisé qui répond à tous les besoins de surveillance du réseau électrique. L'installation et l'entretien nécessitent naturellement un niveau de compétence inférieur que le niveau 3, tous les dispositifs de distribution électrique étant déjà présents dans une bibliothèque spécialisée. Finalement, le coût d'acquisition est minimisé en raison de la simplicité des besoins d'intégration du système.

Sur certains sites, les niveaux 2 et 3 peuvent cohabiter.

□ Architecture de niveau 3

L'investissement dans un tel système est généralement réservé aux installations haut de gamme qui sont soit grosses consommatrices d'énergie, soit utilisatrices d'équipements très sensibles aux variations de la qualité de l'énergie et ayant besoin d'une grande disponibilité de l'électricité. Pour répondre à l'exigence de très grande disponibilité, ce système requiert très souvent la prise en charge de manière transparente (sans impact visible), au premier défaut, des composants de l'installation. Le coût initial conséquent, les compétences requises pour réaliser correctement ce système et le coût des mises à jour nécessaires pour répondre à l'évolution du réseau peuvent rebuter les investisseurs potentiels qui imposent alors des études préalables très détaillées.

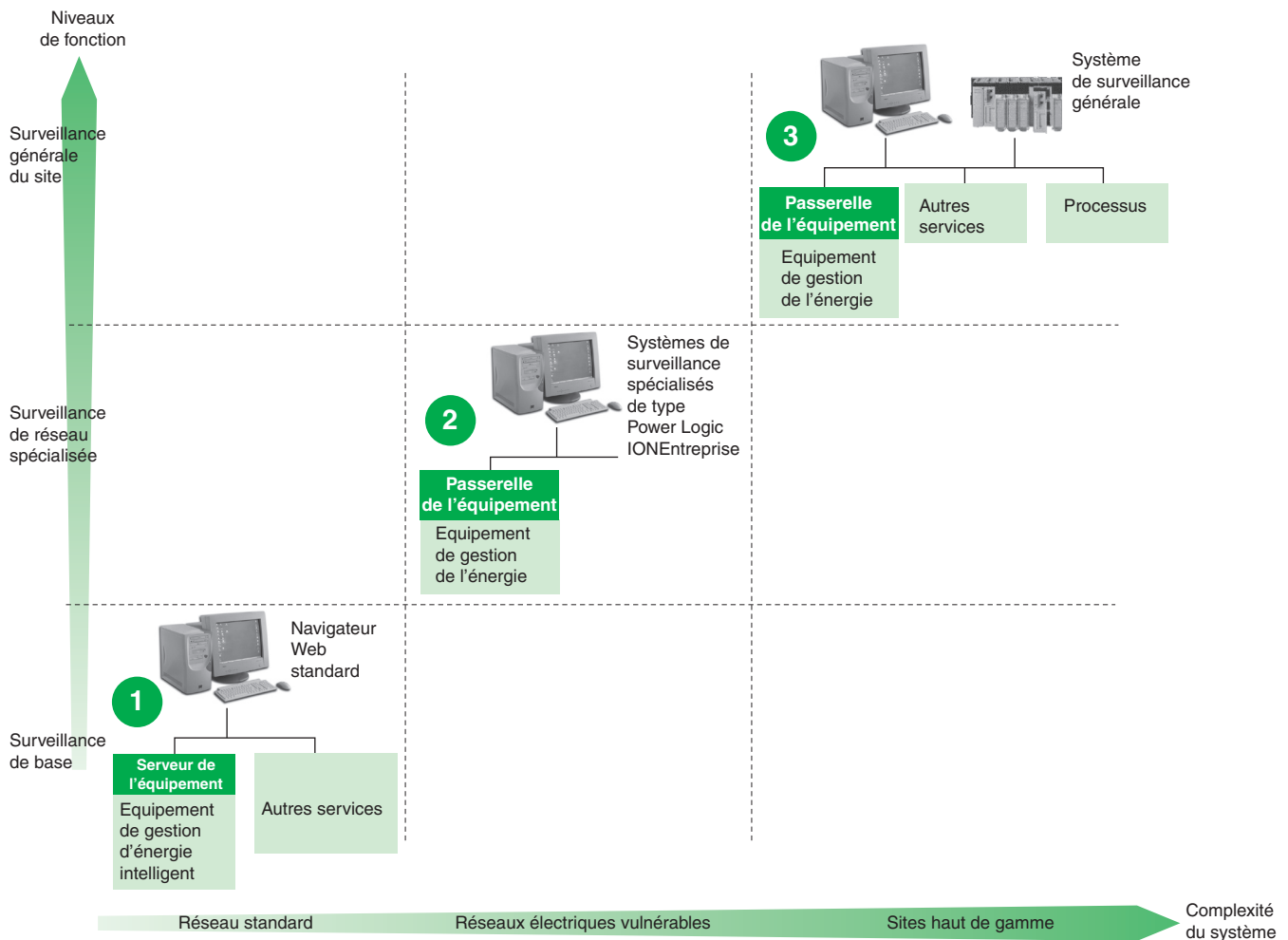


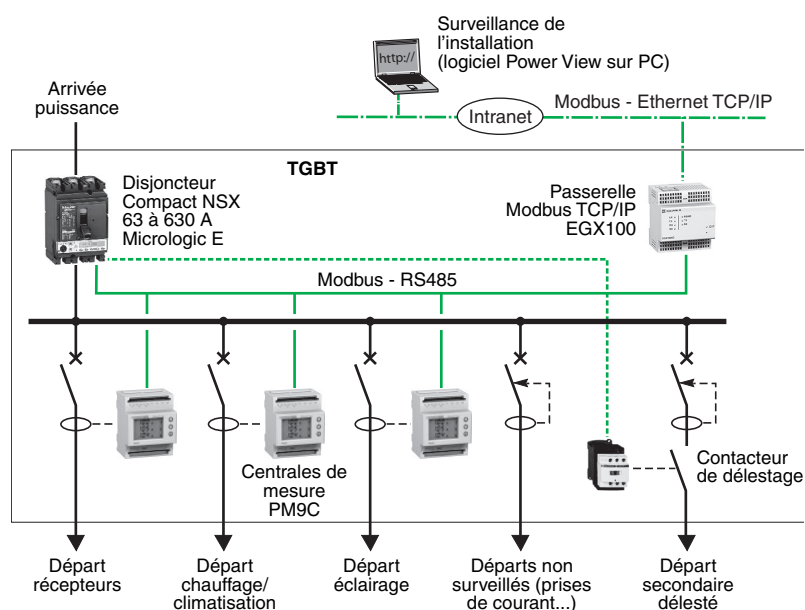
Fig. K19 : Positionnements d'un système de surveillance

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

### 4.8 La conception des systèmes d'information et de surveillance

En fait, physiquement, ces systèmes de surveillance et de contrôle énergétique sont très proches et imbriqués dans l'architecture de la distribution électrique dont ils reprennent souvent la géographie.

Les schémas types présentés dans les **Figures K20 à K24** sont des exemples imaginés avec la prise en compte des impératifs habituels pour la distribution citée (nombres de départs, quantité et qualité de l'énergie nécessaire, réseaux numériques, mode de gestion,...). Ils permettent de voir et comprendre tous les services exploitables au bénéfice de l'efficacité énergétique.



**Fig. K20** : Architecture de surveillance pour un petit site permettant le sous-comptage uniquement

K21

**K - Efficacité énergétique de la distribution électrique**

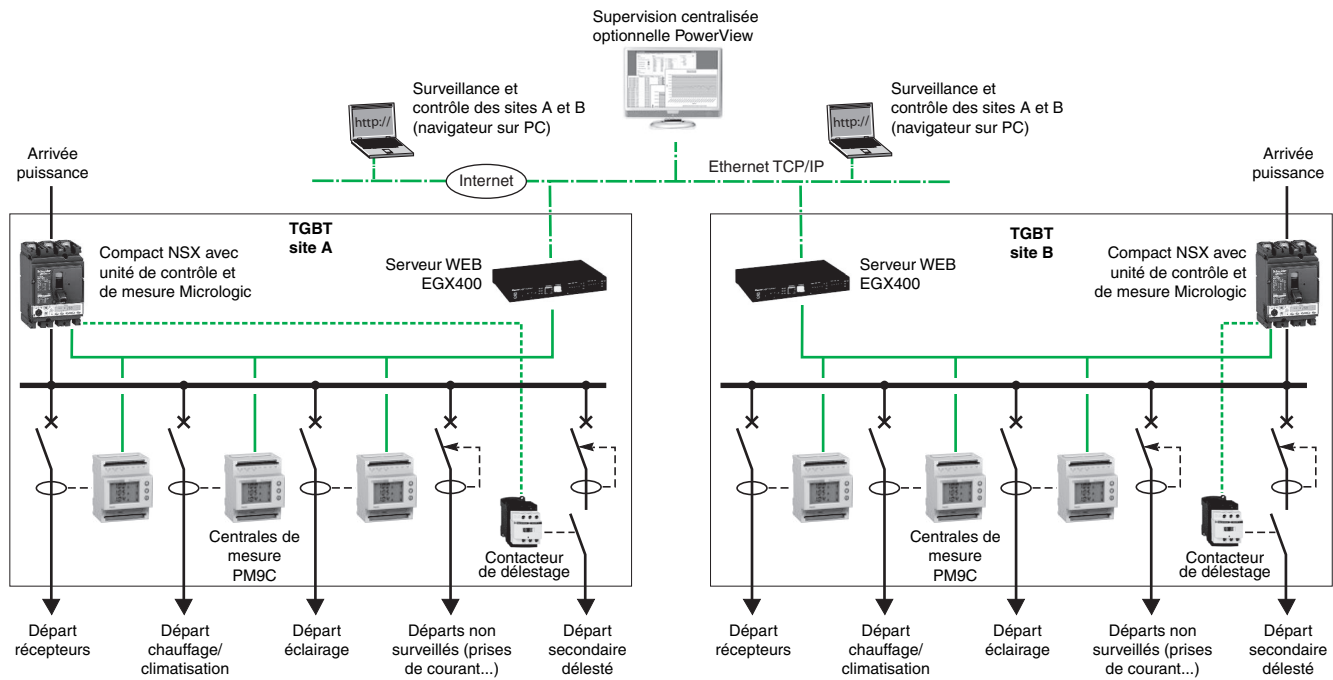


Fig. K21 : Architecture de surveillance et commande pour une entreprise composée de plusieurs petits sites

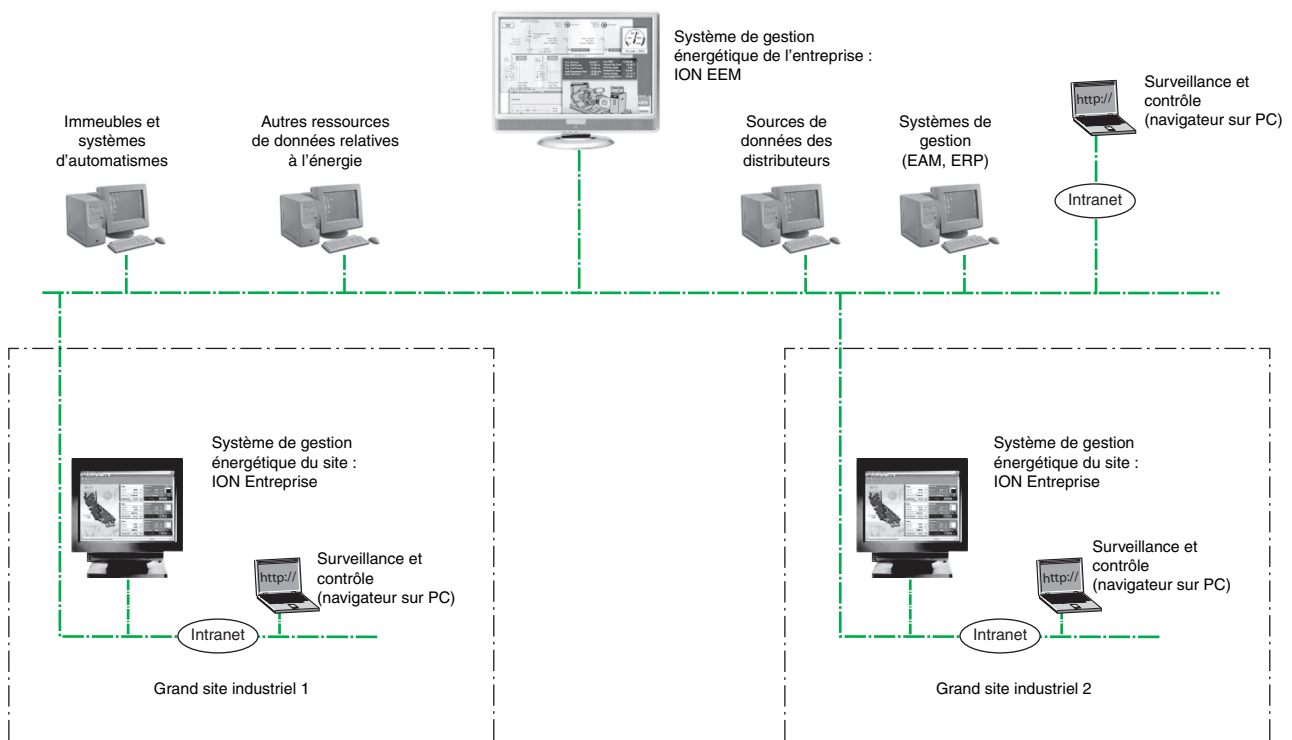
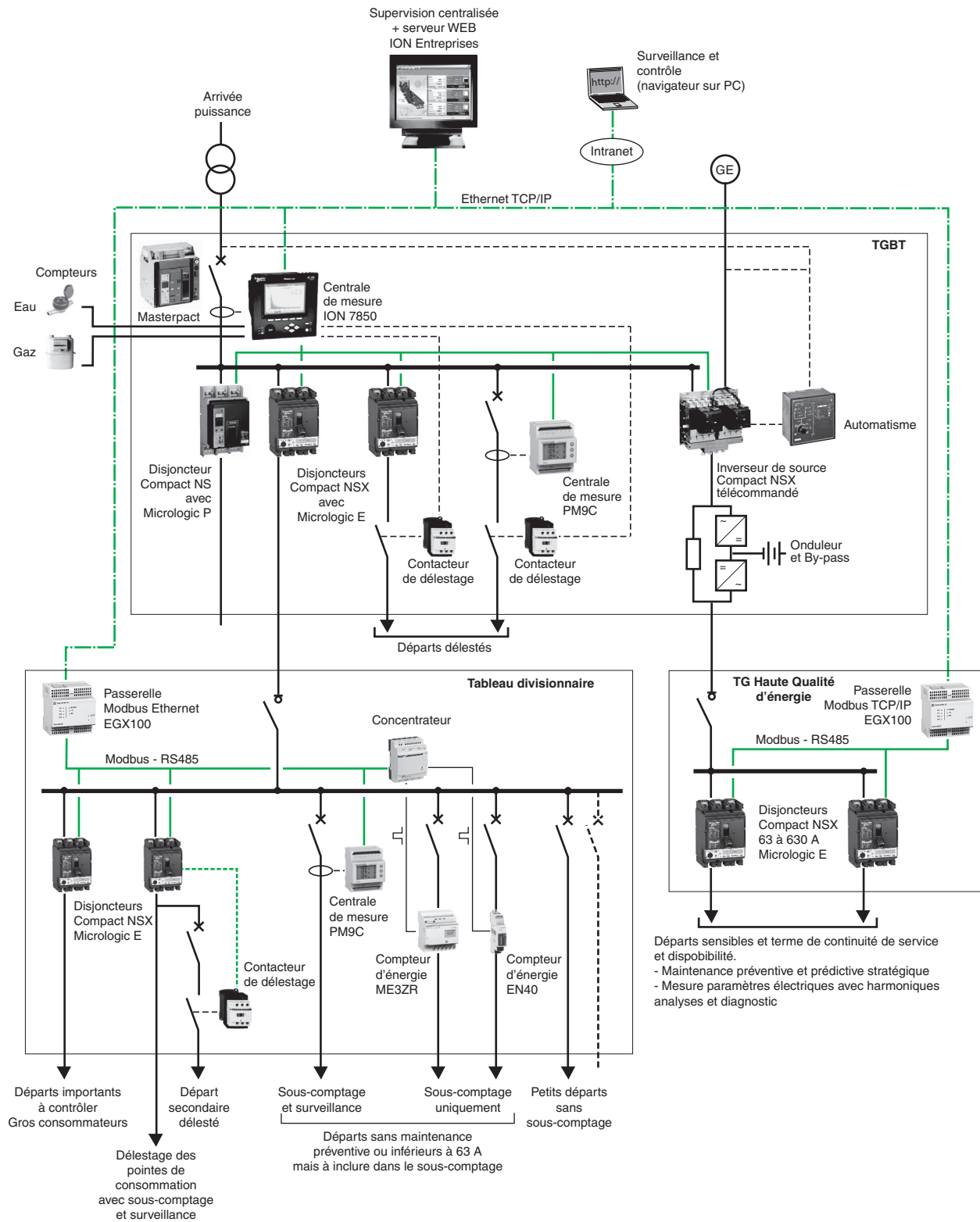


Fig. K22 : Architecture pour les multisites de grande taille

# 4 Des gisements d'économies d'énergie



K23

Fig. K23 : Architecture de surveillance et commande pour un grand site industriel sensible

**K - Efficacité énergétique de la distribution électrique**

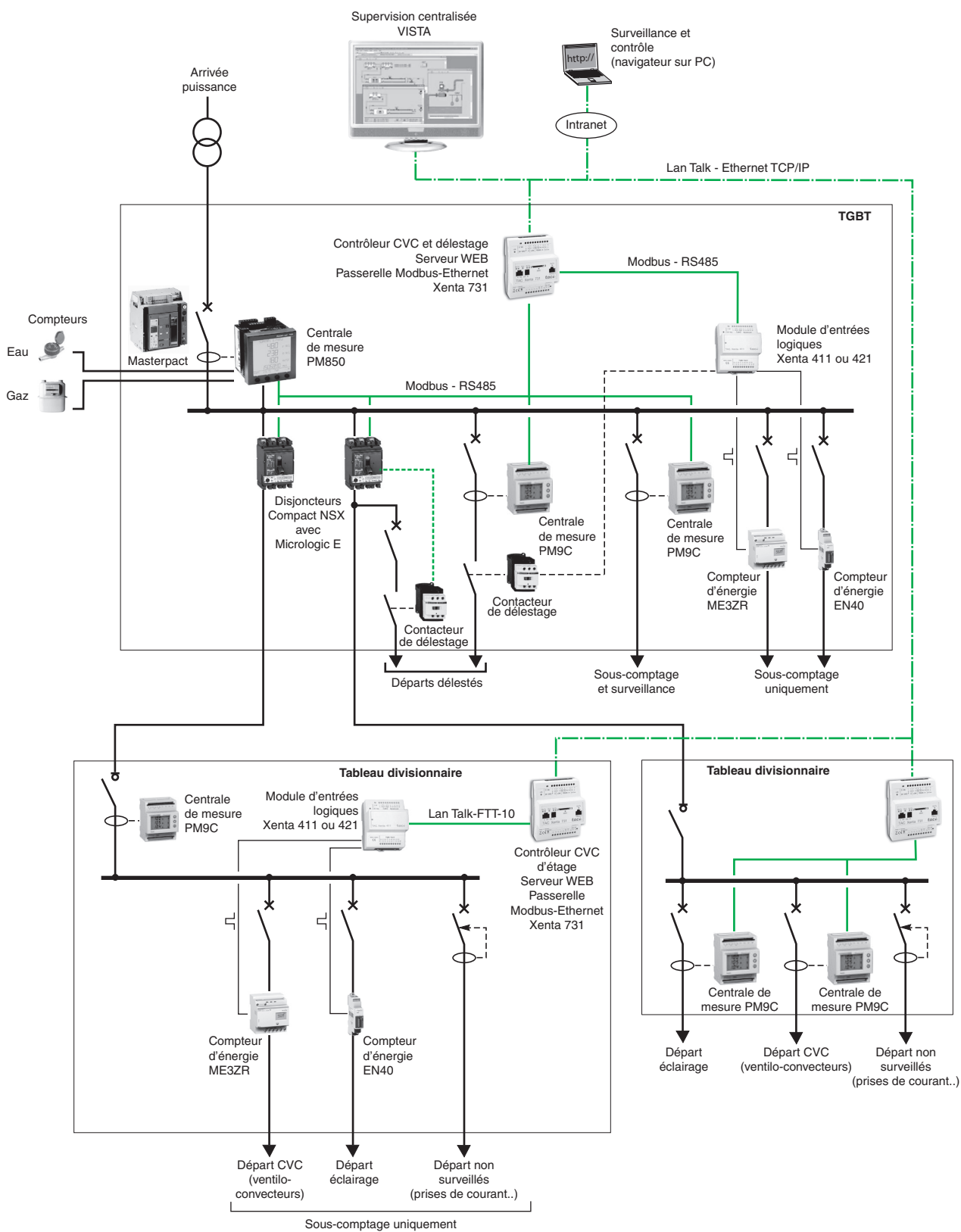


Fig. K24 : Architecture pour un grand site tertiaire

## 4 Des gisements d'économies d'énergie

Ces schémas montrent dans le même temps que le choix d'une architecture impose le choix de composants (par exemple adéquation entre capteurs et bus numérique), mais l'inverse est aussi possible car un bilan technico-économique de leur installation et des résultats recherchés peut modifier le choix initial de l'architecture. En effet, les coûts (achat et installation) de ces composants, portant parfois la même désignation avec des caractéristiques différentes, peuvent varier fortement, mais avec des résultats très variables :

- un dispositif de mesure peut mesurer un ou plusieurs paramètres, avec ou sans calcul (énergie, puissance,  $\cos \varphi$ ),
- un disjoncteur standard remplacé par un disjoncteur équipé d'une unité de contrôle électronique peut délivrer de nombreuses informations sur un bus numérique (mesures efficaces instantanées des courants, des tensions simples et composées, des déséquilibres des courants de phase et des tensions composées, de fréquence, de puissances actives et réactives totales et par phase,...).

La conception de ces systèmes nécessite donc de bien définir les objectifs d'efficacité énergétique et de bien connaître toutes les solutions techniques avec leurs avantages, inconvénients et limites d'application (cf. **Fig. K27**).

Pour envisager tous les cas de figures, il peut être alors nécessaire d'explorer différents catalogues de matériels, ou simplement de consulter un constructeur disposant d'un large éventail d'appareils pour la distribution électrique et les systèmes d'information. Enfin, certains constructeurs, tel Schneider Electric, proposent des services de conseil et d'études pour le choix et la mise en oeuvre de tous ces appareils.

	Economies d'énergie	Optimisation du coût	Disponibilité et fiabilité
Commandes à vitesse variable	• • •	•	•
Moteurs et transformateurs haute performance	• • •		
Alimentation des moteurs MT	• • •		
Correction de facteur de puissance	•	• • •	
Gestion des harmoniques	•	• •	•
Configuration des circuits			• • •
Générateurs d'appoint		• •	• • •
Dispositifs d'alimentation sans coupure (voir la page N11)			• • •
Démarrateurs progressifs	•	•	• • •
iMCC		• •	• •
Architecture basée sur un équipement intelligent Niveau 1	• •	•	
Architecture centralisée spécialisée pour électriciens Niveau 2	• • •	• •	•
Architecture centralisée générale conventionnelle Niveau 3	•	• •	• • •

**Fig. K27** : Cartographie des solutions

K25

## 5 Comment évaluer les économies d'énergie

Un des principaux obstacles à l'élaboration et la réalisation des projets d'efficacité énergétique est le manque de résultats financiers fiables et commercialement probants. Plus l'investissement est important, plus pressant est le besoin de disposer d'une preuve fiable des avantages qu'il présente. Il existe donc une réelle nécessité de méthodes fiables de quantification des résultats des investissements en efficacité énergétique.

Des informations fournies dans ce chapitre sont tirées du volume 1 du guide IPMVP publié par EVO [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)

### 5.1. Procédures IPMVP et EVO

Pour répondre à cette attente l'organisation EVO -Efficiency Valuation Organization- responsable des évaluations de performance a publié «IPMVP» -International Performance Measurement and Verification Protocol-. Il s'agit d'un guide qui décrit les procédures utilisées dans la mesure, le calcul et la documentation des économies réalisées grâce aux divers projets d'efficacité énergétique. Jusqu'à présent, EVO a publié trois volumes de IPMVP dont le premier «Concepts et Options pour guider les choix en matière d'économie d'eau et d'énergie» fournit des méthodes, de coût et de précision variables, permettant de déterminer les économies totales réalisées ou celles réalisées dans le seul domaine de l'efficacité énergétique. Il est utilisé par Schneider Electric dans la formulation des projets d'efficacité énergétique.

#### Principe et qualités de IPMVP

Avant l'installation de la solution d'efficacité énergétique, une étude réalisée selon l'IPMVP doit être faite sur une certaine période pour définir la relation qui existe entre l'utilisation d'énergie et les conditions d'exploitation. Pendant cette période, des valeurs de référence sont définies, soit par des mesures directes, soit simplement à partir des factures d'énergie du site.

Après l'installation, ces données de référence sont utilisées pour estimer la quantité d'énergie appelée «énergie de référence ajustée» qui aurait été consommée si la solution n'avait pas été mise en œuvre. L'énergie économisée est la différence entre cette «énergie de référence ajustée» et l'énergie effectivement mesurée.

Lorsqu'un plan de vérification et de mesure est formulé dans le cadre d'une initiative IPMVP, il doit être :

- précis

Les rapports de vérification et de mesure doivent être aussi précis que possible compte tenu des limites du budget de l'opération. Les coûts de vérification et de mesure doivent normalement être modestes par rapport au montant des économies escomptées.

- complet

L'étude des économies d'énergie doit tenir compte de tous les effets du projet.

- prudent

Lorsqu'il y a des doutes sur les résultats, les procédures de vérification et de mesure doivent fournir une sous-estimation des économies considérées.

- consistant

Le rapport sur l'efficacité énergétique du projet doit intégrer de manière consistante les facteurs suivants :

- les différents types de projet d'efficacité énergétique,
- les différents types d'experts qui interviennent dans chacun des projets,
- les différentes périodes applicables à chacun des projets,
- les projets d'efficacité énergétique et les nouveaux projets d'alimentation en énergie.

- pertinent

La spécification des économies doit mesurer les paramètres de performance qui sont pertinents ou moins connus tandis que d'autres paramètres moins critiques ou plus facilement prévisibles peuvent être estimés.

- transparent

Toutes les mesures qui entrent dans le plan de vérification et de mesure doivent être décrites de manière claire et détaillée.

# 5 Comment évaluer les économies d'énergie

## Les options IPMVP

Selon les objectifs assignés à cette démarche d'efficacité énergétique, quatre niveaux d'étude ou « options » sont définis :

- remise à niveau des systèmes d'isolation avec mesure de tous les paramètres essentiels = Option A,
- remise à niveau des systèmes d'isolation avec mesure de tous les paramètres = Option B,
- l'ensemble de l'installation = Option C,
- simulation étalonnée = Option D.

Leur présentation fait l'objet du tableau de la **Figure 28** et le diagramme de la **Figure 29** présente la procédure de sélection de l'option à retenir pour un projet.

	Option A	Option B	Option C	Option D
<b>Objectif économique</b>	Remise à niveau des systèmes d'isolation avec mesure de tous les paramètres essentiels.	Remise à niveau des systèmes d'isolation avec mesure de tous les paramètres.	L'ensemble de l'installation.	Simulation étalonnée.
<b>Description</b>	Les économies sont calculées sur la base des relevés du ou des principaux paramètres de performance qui définissent la consommation d'énergie du système affecté par la solution d'efficacité énergétique. Les paramètres qui ne sont pas sélectionnés pour une mesure sur le terrain font l'objet d'une estimation.	Les économies sont calculées sur la base des relevés de terrain de la consommation d'énergie du système affecté par la solution d'efficacité énergétique.	Les économies sont déterminées sur la base du relevé sur le terrain de la consommation d'énergie au niveau de l'installation ou d'une portion de l'installation. Des relevés continus de l'énergie utilisée dans l'installation dans son ensemble sont effectués tout au long de la période documentée.	Les économies sont déterminées sur la base d'une simulation de la consommation d'énergie au niveau de l'installation ou d'une portion de l'installation. Il doit être démontré que les procédures de simulation fournissent un modèle adéquat de la performance énergétique effective de l'installation.
<b>Calcul des économies</b>	Le calcul d'ingénierie de l'énergie consommée pendant la période de référence et la période documentée est effectué à partir de : ■ mesures continues ou à court terme du ou des principaux paramètres de performance, ■ et de valeurs estimées.	Les mesures continues ou à court terme de l'énergie consommée pendant la période de référence et la période documentée.	Analyse des données sur l'énergie consommée pendant la période de référence et la période documentée pour la totalité de l'installation. Des ajustements de routine sont requis qui utilisent des techniques comme les analyses comparatives ou analyses par régression.	La simulation de l'énergie utilisée étalonnée sur la base des données de facturation mensuelle ou horaire.
<b>Quand utiliser cette option ?</b>	D'un côté, les résultats obtenus avec cette option sont sujets à une incertitude considérable du fait de l'estimation de certains des paramètres. D'un autre côté, elle est bien moins onéreuse que l'option B.	L'option B est plus onéreuse que l'option A parce que tous les paramètres sont mesurés. Mais si un client requiert un haut niveau de précision, cette option est la meilleure.	Lorsque un programme complexe de gestion de l'énergie est en place et qu'il affecte un grand nombre de systèmes dans une installation, le choix de l'option C peut permettre des économies tout en allégeant la procédure.	L'option D est utilisée seulement s'il n'existe pas de données de référence disponibles. Par exemple dans un site où il n'y avait pas de compteur avant l'installation de la solution et où l'acquisition des données de référence est trop longue et trop onéreuse.

K27

Fig. K28 : Synthèse des options IPMVP

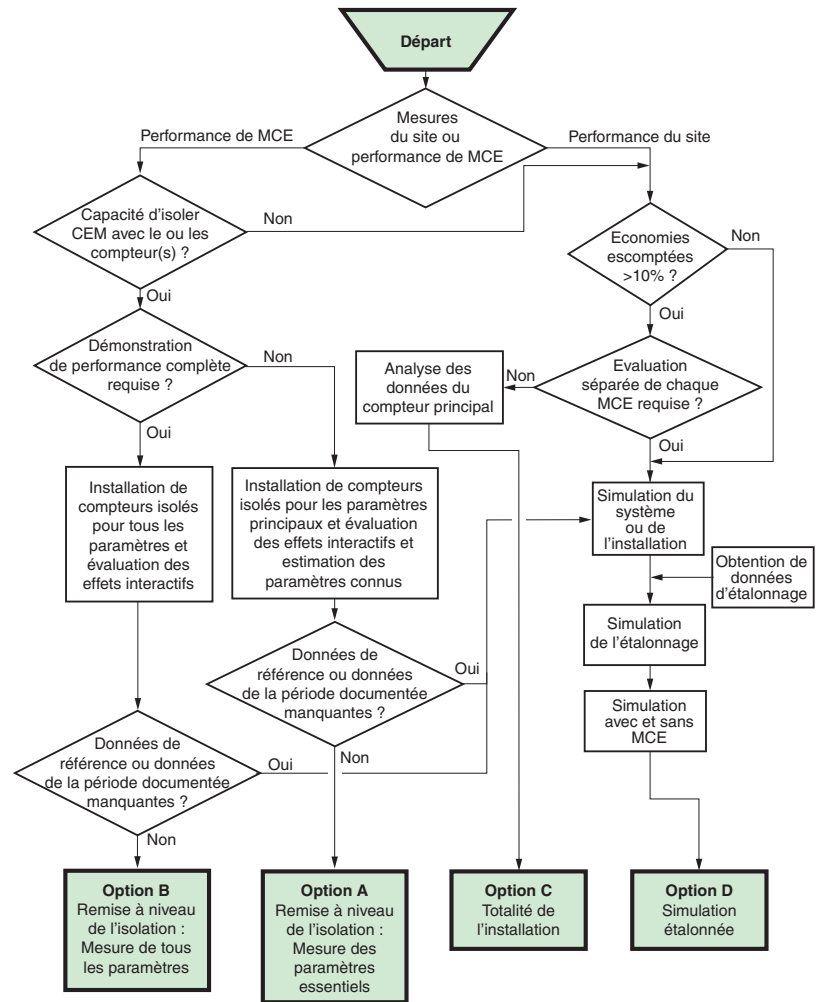


Fig. K29 : Procédure de sélection de l'option IPMVP à retenir pour un projet

## 5.2. Pour une performance soutenue

Une fois les audits d'énergie terminés, les mesures d'économie d'énergie en place et les économies quantifiées, il est impératif de suivre les procédures suivantes pour assurer la stabilité de la performance dans le temps. Sans un cycle d'amélioration continue, la performance tend à régresser (cf. Fig. K30).

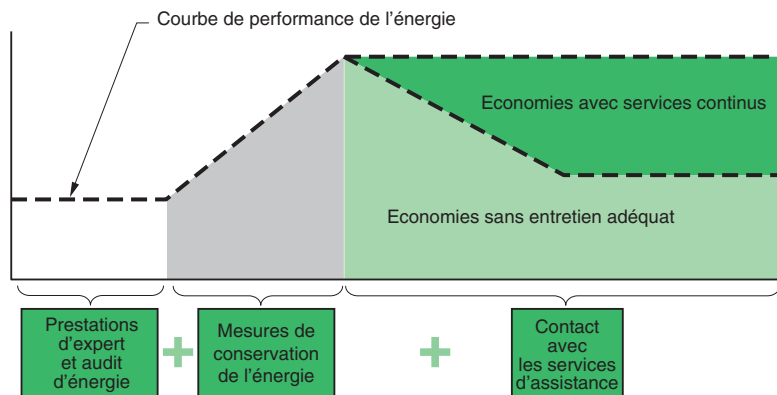


Fig. K30 : Pour assurer la stabilité de la performance dans le temps

## 5 Comment évaluer les économies d'énergie

Un cycle d'amélioration continue requiert l'existence, l'utilisation productive et l'entretien d'un système de surveillance de l'énergie. Ce système est utilisé pour l'analyse continue et pro-active de l'utilisation de l'énergie dans le site et pour la formulation de recommandations d'amélioration du système de distribution électrique.

Pour assurer la performance optimale d'un tel système et la meilleure utilisation des données recueillies, des services d'assistance, sur site ou à distance (disponibles par téléphone, courriel ou VPN -Réseau privé virtuel- ou toute autre forme de connexion à distance) sont souvent nécessaires pour compléter les services internes de l'exploitant tant par leur expérience que par leur disponibilité. Ils peuvent par exemple proposer :

- de veiller au bon fonctionnement des dispositifs de mesure,
- d'effectuer les mises à jour et adaptations logicielles,
- de gérer les bases de données, par exemple archivage,
- d'adapter en permanence le système de surveillance aux nouveaux besoins de contrôle.

