



Stratégie d'Employabilité des jeunes dans les Métiers Verts - YES Green



Manuel de Formation



EFFICACITE ENERGETIQUE

Avant-propos

Ce manuel est élaboré dans le cadre du projet YES Green, mis en œuvre par le Département de l'Environnement en partenariat avec le PNUD et avec le soutien financier du Japon.

Ce manuel est établi par la direction de la formation et du développement des compétences de l'office national de l'électricité et de l'eau potable, branche électricité dans le cadre d'un contrat de prestation de service relatif à la formation des jeunes sur les métiers de l'efficacité énergétique.

Ce manuel est conçu pour servir comme aide mémoire aux participants à la formation, leur servir de support pour exercer des métiers verts dans le secteur de l'efficacité énergétique, en leur fournissant des éléments de cadrage et des enseignements tirés par les professionnels dans la gestion de ce secteur.

Sommaire

Maîtrise et efficacité énergétique	4
Compensation de l'énergie réactive	37
Qualité de de l'Energie Electrique	60
Cas de l'éclairage public	93
Audit Energétique	122



Thème 1

MAÎTRISE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Plan de présentation

Introduction

Généralités

Définition : efficacité énergétique

DSM : demand side management.

Le contexte énergétique :

International

National

Nouvelle stratégie électrique nationale : L'efficacité énergétique au centre des orientations stratégiques

L'ONEE-Branche Electricité:

Caractéristiques de la demande.

PNAP : plan national d'actions prioritaires:

Maîtrise et efficacité énergétiques : Mesures d'accompagnement (PNAP : offre):

Promotion des énergies renouvelables:

PROJET SOLAIRE MAROCAIN

Gisements d'énergies renouvelables considérables

Maîtrise et efficacité énergétiques : Mesures d'accompagnement (PNAP: demande) :

Mesures tarifaires :

Système tarifaire

Tarifification incitative

Mesures institutionnelles :

Adaptation du fuseau horaire

Horaires d'activités

Mesures liées aux équipements :

Consommation des lampes à Basse Consommation (LBC)

Labellisation des équipements électroménagers

Amélioration des performances énergétiques dans l'éclairage public

Promotion de l'efficacité énergétique dans le secteur industriel :

Conseil et assistance.

Audit énergétique.

Efficacité énergétique dans le secteur bâtiments :

Mesures de sensibilisation.

Conclusion

INTRODUCTION

Les incertitudes qui caractérisent la scène internationale placent la sécurité d'approvisionnement et la disponibilité de l'énergie au cœur des préoccupations mondiales.

Pour surmonter ces défis, la bonne gouvernance constitue l'outil principal pour assurer une croissance responsable qui allie développement économique, protection de l'environnement et réduction des inégalités.

Il est impératif de mobiliser dans les trente prochaines années, des sommes colossales nécessaires aux investissements en infrastructures énergétiques dans la production électrique, mettre en œuvre les technologies et les options disponibles pour développer toutes les ressources énergétiques, exploiter tout le potentiel d'efficacité énergétique disponible en l'érigeant en priorité, de promouvoir une intégration plus profonde des marchés régionaux et internationaux et accélérer le transfert réel des technologies les mieux adaptées des pays industrialisés vers les pays en développement. Les décisions prises aujourd'hui façonneront le paysage énergétique de demain.

Qu'est ce qu'on entend par l'Efficacité Énergétique??

«**Efficacité énergétique** : C'est l'Utilisation efficiente de l'énergie consommée lors d'une activité quelconque. Améliorer son rendement énergétique consiste à faire une activité ou à offrir un service en réduisant au maximum sa consommation d'énergie.

Définition : C'est le rapport entre l'énergie produite par un système dans un but précis par rapport à l'énergie consommée.

Exemples :

- Une lampe à incandescence a une efficacité énergétique de 5%, car seule 5% de l'énergie électrique est effectivement convertie en lumière, le reste est perdu en chaleur.
- Une ampoule fluocompacte a une efficacité énergétique de 25%, les LEDs permettent d'atteindre 50% et plus !

Autres exemples :

- Un moteur à combustion classique dans un véhicule a une efficacité énergétique d'environ 30%, c'est-à-dire que seuls 30% de l'énergie contenue dans l'essence est effectivement convertie en énergie mécanique.
- Les moteurs électriques atteignent facilement des efficacités énergétiques supérieures à 90% !

Tout ceci nous fait comprendre qu'il y a de vieilles technologies que l'on considère souvent comme étant obligatoires mais qui sont en réalité complètement inefficaces au regard d'autres technologies. Il existe des solutions pour changer les choses!

Concept : DSM

«Demand Side Management» (traduit en français par Maîtrise de la Demande d'Énergie - MDE) est, à l'origine, un concept américain élaboré au cours de la crise du pétrole. Le principe le plus important repose sur l'idée qu'il peut être moins coûteux d'investir dans des actions

DSM plutôt que de renforcer le réseau de distribution ou d'augmenter la capacité de production, particulièrement s'il s'agit de couvrir une pointe de demande annuelle.

« La DSM est la planification, la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation des actions des entreprises pour modifier la manière dont les consommateurs utilisent l'électricité afin de garantir une utilisation optimale du parc de production »

Contexte énergétique

International

La consommation d'énergie primaire dans le monde augmente régulièrement et cette augmentation ne faiblit que légèrement : + 20 % entre 1982 et 1992, + 15 % entre 1998 et 2008.

Plus la croissance va de l'avant, plus on consomme d'énergie. Mais les matières premières que l'on utilise pour produire les grandes quantités d'énergie dont nous avons besoin ne sont pas inépuisables. Et l'on ne peut pas non plus augmenter indéfiniment leurs capacités de production.

Il existe plusieurs réponses possibles à cette problématique. Les différentes réponses sont les suivantes mais chacune à des avantages et des inconvénients :

Contexte énergétique

Privilégier l'offre d'énergie, en développant toujours plus la production des énergies fossiles, en particulier le pétrole. Cette réponse est basée sur des hypothèses de réserves pétrolières optimistes. C'est la voie choisie par les États-Unis.

Agir prioritairement sur la demande, en tentant de limiter autant que possible la consommation d'énergie. C'est la voie recommandée par l'Europe, celle de la maîtrise de la consommation d'énergie et du protocole de Kyoto.

Développer les énergies alternatives. Cette réponse peut accompagner aussi bien le développement de

l'offre en énergies fossiles que les efforts de limitation. Il existe deux grands types d'énergies alternatives : le nucléaire et les énergies renouvelables (hydroélectricité, solaire, éolien, géothermie, biomasse).

National

Au Maroc, l'énergie constitue le moteur principal du développement économique et social.

Pour satisfaire les besoins énergétiques grandissants de son économie et de sa population croissante, le Maroc importe actuellement plus de 97% de ses approvisionnements en énergie en raison de la modicité de ses propres ressources.

Cette forte dépendance vis à vis de l'extérieur combinée à la tendance haussière des cours des produits énergétiques, notamment du pétrole qui représente près de 60% de notre consommation énergétique totale, grève lourdement les finances de notre pays.

- Durant les cinq dernières années, la demande électrique a cru de 8% par an, en raison de la quasi-généralisation de l'accès à l'électricité et de l'expansion économique, produisant une tension sur l'offre, faute d'investissements à temps dans les installations de production pour y répondre.
- Le déficit ainsi créé a entraîné en particulier une dépendance structurelle de l'interconnexion avec l'Espagne pour le combler.
- A l'horizon 2030, la demande en énergie primaire se situerait entre 35 et 40 millions TEP en l'absence de politique d'efficacité énergétique rigoureuse.

LA NOUVELLE STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE NATIONALE

L'efficacité énergétique au centre des orientations stratégiques

QUATRE OBJECTIFS FONDAMENTAUX

- 1- La sécurité d'approvisionnement et la disponibilité de l'énergie électrique au moindre coût

- 2- L'accès généralisé à l'énergie électrique à des prix raisonnables
- 3- La maîtrise de la demande
- 4- La préservation de l'environnement



QUATRE ORIENTATIONS STRATÉGIQUES

- 1- Un mix diversifié et optimisé autour de choix de technologies fiables et compétitives
- 2- La mobilisation des ressources nationales par la montée en puissance des énergies renouvelables
- 3- L'efficacité énergétique érigée en priorité nationale
- 4- L'intégration régionale



Nouvelle Stratégie Energétique nationale

Une nouvelle stratégie énergétique a été élaborée sur la base d'options technologiques et économiques réalistes dans le cadre d'une vision prospective claire. Elle se traduit en plans d'actions concrets et réalisables à court, moyen et long termes, accompagnés de mesures organisationnelles et réglementaires permettant de donner la visibilité nécessaire aux opérateurs.

Plan National d'Actions Prioritaires « PNAP » : offre

En ce sens Un Plan National d'Actions Prioritaires dans le secteur électrique a été présenté le 15 avril 2008 à Sa Majesté le Roi Mohammed VI, qui a donné ses Hautes Instructions pour sa mise en œuvre immédiate en mettant en place une gouvernance spécifique pour rétablir l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité.

Les dispositions retenues prévoient d'une part, le renforcement de l'offre par la construction de nouvelles capacités de production et d'autre part, l'amélioration des dispositifs d'efficacité énergétique.

Nouvelle Stratégie Energétique nationale : Energies Renouvelables

- A l'horizon 2020-2030, tout le potentiel éolien réalisable, estimé à 7000 MW, pourrait être exploité, en fonction de la qualification des sites et des incitations qui seraient octroyées.
- D'ici 2020, le solaire sera développé en généralisant les chauffe-eau solaires avec l'extension des panneaux solaires qui couvriront 1.700.000 m2, en augmentant les productions du photovoltaïque et des centrales à concentration solaire pour atteindre respectivement 1080 MW et 400 MW.
- La puissance hydroélectrique installée sera portée de 1730 MW actuellement à 2700 MW par la construction de nouveaux barrages et stations de transfert d'énergie par pompage.

Nouvelle Stratégie Energétique nationale : Efficacité énergétique

Considérée comme une révolution énergétique à la fois par les changements technologiques et de comportement sociétal qu'elle implique, l'efficacité énergétique permettra au Maroc de réaliser des économies d'énergie de 15% en 2020 et de près de 25% en 2030.

Cet objectif sera atteint :

- Dans l'industrie, en systématisant les diagnostics et les audits énergétiques pour éviter la perte d'énergie dans les chaînes de production modernisées et performantes, en recourant à la cogénération et aux énergies alternatives.
- Dans les transports, en rajeunissant le parc par des véhicules économes en carburants, en développant et modernisant les transports collectifs pour réduire l'usage des voitures individuelles.
- Dans les bâtiments de tous genres, en y intégrant l'ensemble des dispositifs d'efficacité énergétique tels que orientation, isolation, chauffe-eau solaire et en éduquant les usagers à rationaliser l'utilisation de l'énergie.

L'ONEE-Branche Electricité

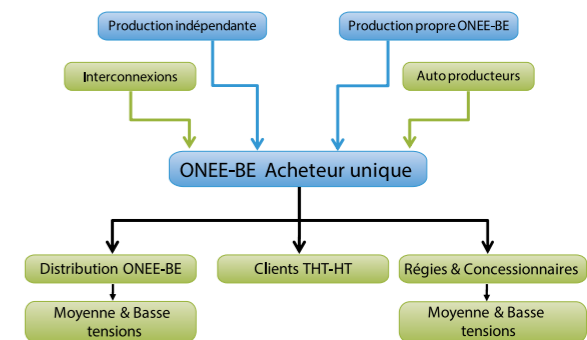
L'Office National de l'Electricité et l'eau potable-branche électricité est un établissement public à caractère industriel et commercial chargé du service public :



ONEE - Branche Electricité en Chiffres - 2011

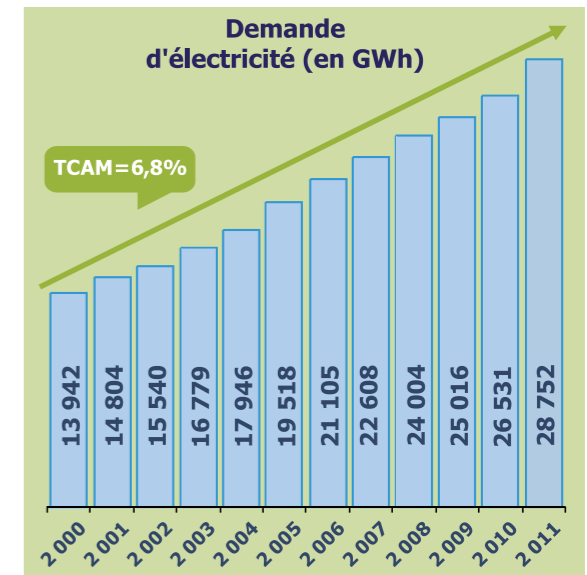
CHIFFRE D'AFFAIRES	Environ 22 milliards de dirhams (2 milliards d'Euros)
INVESTISSEMENTS	5,2 milliards de dirhams (4,7 millions d'Euros) hors investissements privés
OFFRE	6 377 MW de capacité installée 28 752 GWh d'énergie appelée Puissance maximale appelée à la pointe : 4 890 MW Evolution de la demande de 8,4% par rapport à 2010
CLIENTELE	Plus de 4,5 millions de clients
EFFECTIF	8 700 Collaborateurs
Réseau commercial	248 agences (48 Agences de Service et 200 Succursales) 730 guichets d'encaissements

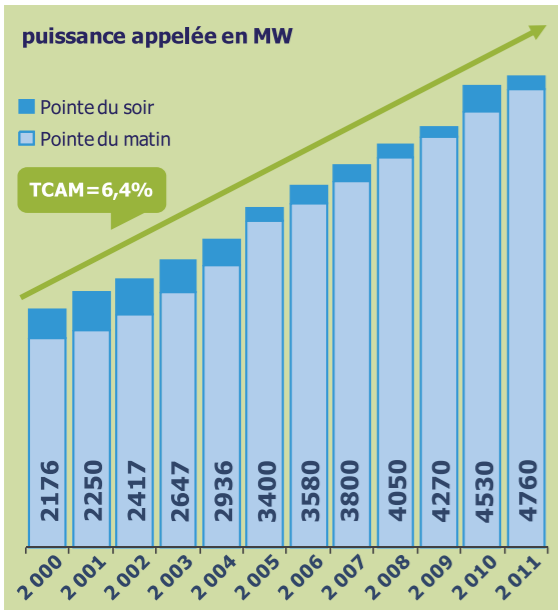
SYSTEME ELECTRIQUE NATIONAL



EVOLUTION DE LA DEMANDE EN ELECTRICITE

8,4% en 2011

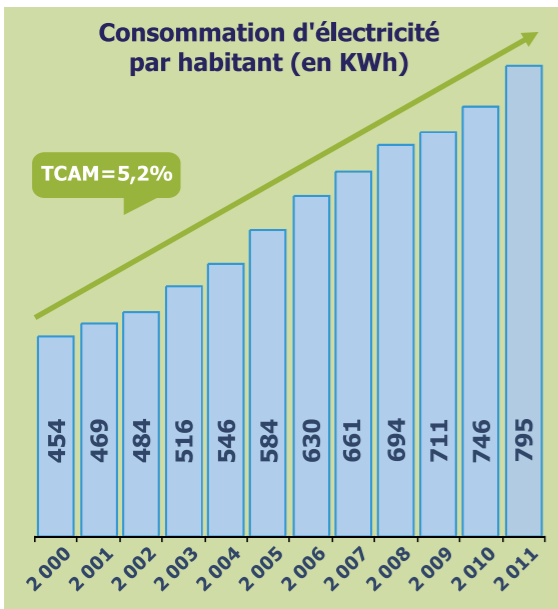




Accroissement moyen de la demande d'environ 6,8% induits par une croissance économique et sociale soutenue :

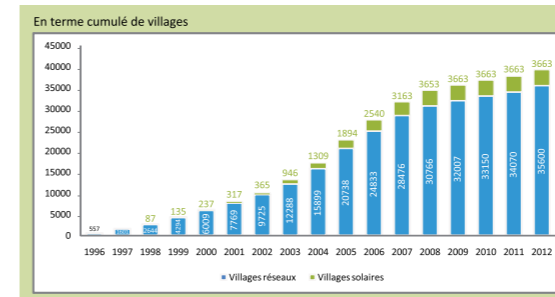
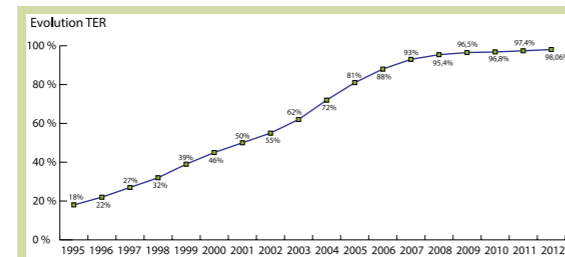
- Généralisation de l'accès à l'électricité (PERG),
- Développement des grands projets structurants,
- Amélioration du niveau de vie de la population (INDH), etc.

Évolution du nombre de clients



BILAN DU PROGRAMME PERG

Des résultats considérables en matière de généralisation de l'accès à l'électricité



- 12 millions de marocaines ont bénéficié de ce programme;
- Près de 20 Milliards de Dirhams d'investissements réalisés;
- Création de plus 100.000 emplois.

Plan National d'Actions Prioritaires « PNAP » axé sur L'OFFRE

Tableau 3 : Mesures du PNAP axées sur l'offre

Mesures	Intervention (s)	Impact
Augmenter les capacités de production	Augmentation dans les unités de production existantes : Centrale de Jorf lasfar (2x350 MW) Installation nouvelle : Centrale de sidi Boudeniane (2x660MW) Ain Bni Mathar (472 MW) Tag Mohammédia (300 MW) Tan Tan (116 MW) Tanafit El Borj (40 MW) Tarfaya (300 MW) EnergiPro (1,000 MW) Parc de Tanger (140 MW)	4388 MW
Développer les interconnexions internationales	Construction d'une troisième ligne avec l'Espagne (700 MW) Mise en service de la ligne de 400 KV avec l'Algérie (800 MW)	1500 MW

Optimiser la production d'hydroélectricité	Installation de bassins de rétention pour l'agriculture afin de découpler les besoins d'irrigation et la production d'hydroélectricité Amélioration de la gestion des ressources hydraulique aux heures de forte demande	300 à 400 MW
Programme national des batteries de condensateurs	Installation de batteries de condensateur dans tous les postes des distribution pour réduire les pertes dans les lignes	200MV
Optimiser les programmes de maintenance pour réduire les temps d'immobilisation des générateurs	Abaissement de la durée de maintenance des chaudières (70 jours actuellement) pour la rapprocher des standards internationaux (30 à 40 jours)	50 – 100 MV

Source : ministère de l'Energie, des Mine, de l'Eau et de L'Environnement (mars 2009)

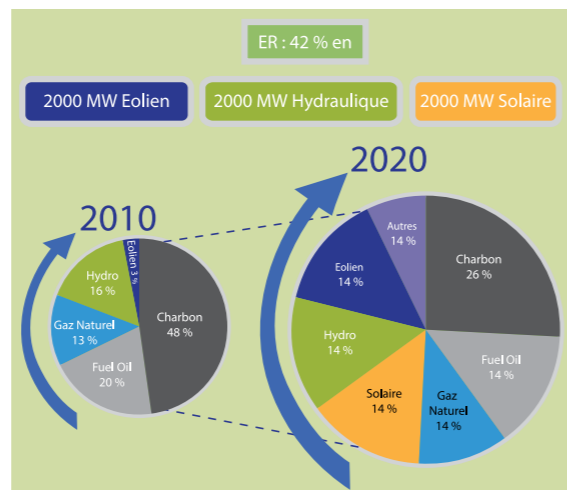
PROMOTION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Objectif : 42% de la puissance installée en ER en 2020

ATOUTS DU MAROC POUR LE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

- 1- Potentiel « énergie renouvelable » Considérable
- 2- Infrastructure électrique de transport développée
- 3- Capacité à réaliser les grands projets
- 4- Cadre législatif et institutionnel attractif
- 5- Important potentiel de croissance de la demande

EVOLUTION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE RENOUEVABLE



PROJET SOLAIRE MAROCAIN

Puissance installée : 2 000 MW

(38 % de la puissance installée actuelle).

Capacité de Production annuelle : ≈ 4500 GWh

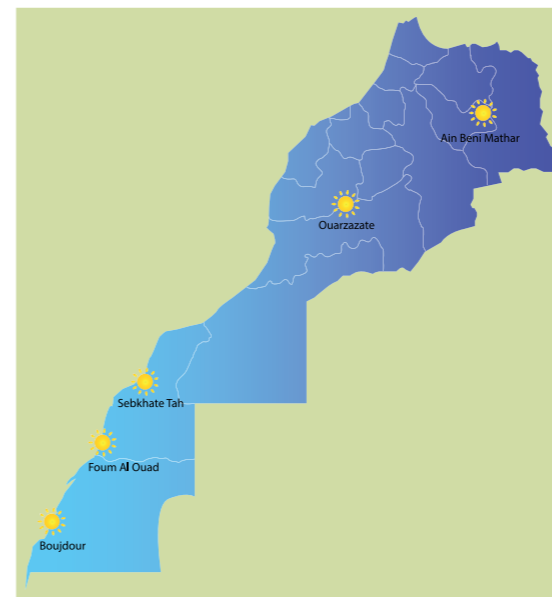
(soit 18% de la production nationale actuelle)

Coût estimé : 70 milliards de MAD

(9 Milliards de Dollars)

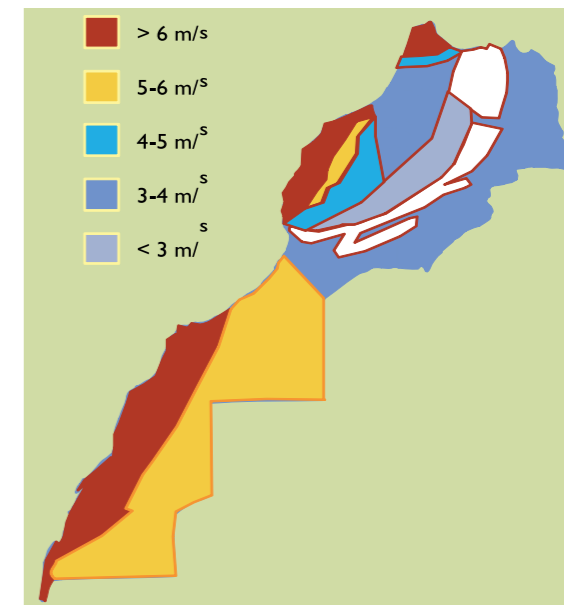
Les 5 premiers sites identifiés totalisent une superficie de 10 000 hectares

Dates de mise en service : Première centrale en 2015.

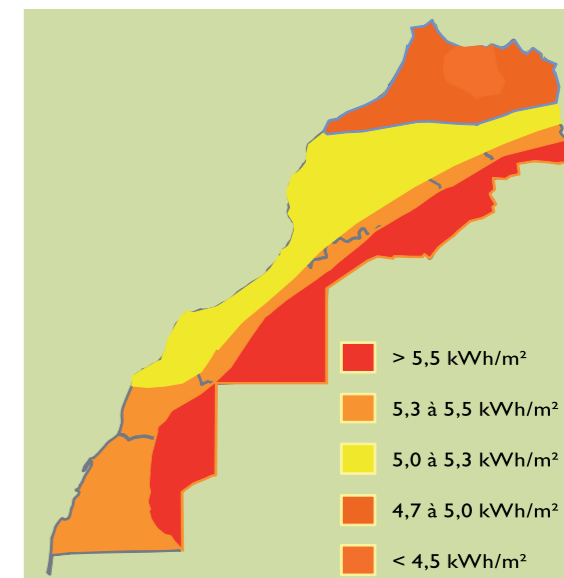


Gisements d'énergies renouvelables considérables

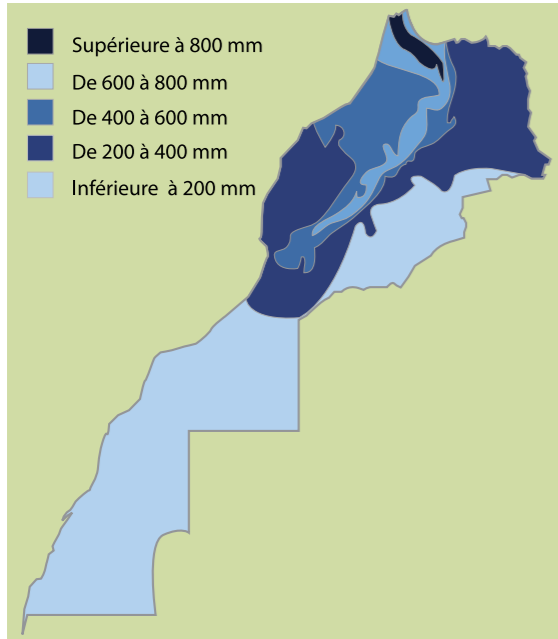
GISEMENT EOLIEN : 25 000 MW ON SHORE



GISEMENT SOLAIRE : 5,5 Kwh/m²/j



HYDROÉLECTRICITÉ DÉVELOPPÉE



Nouvelle Stratégie Énergétique nationale : Réformes législatives et organisationnelles

La mise en œuvre de cette nouvelle stratégie s'appuie sur la rénovation de la législation et de l'organisation du secteur énergétique. A cet effet, plusieurs lois ont été promulguées pour :

- Promouvoir les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique: La restructuration du Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) en Agence opérationnelle de mise en œuvre de la politique nationale énergies renouvelables et efficacité énergétique l'ADEREE (L'Agence de Développement des Énergie Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique);
- Promulgation de lois sur les énergies renouvelables (loi n°16-09 promulguée par le Dahir n° 1-10-16 du 11/02/2010);

- Adoption du projet de loi n 47-09 relatif à l'efficacité énergétique, considérée comme troisième énergie après les énergies fossiles, renouvelables et nucléaire ;
- Réorganiser le secteur électrique pour mieux l'intégrer dans le marché euro méditerranéen, favoriser la construction et le financement des capacités de production, mieux organiser ses différentes composantes et en assurer la régulation.
- Améliorer les règles de sécurité et de préventions des risques dans les installations énergétiques.
- Réduction de la TVA de 20 à 14% au titre de la loi de finances 2007 sur les chauffe-eau solaires.
- Protéger l'environnement et la santé des citoyens en imposant des normes conformes aux standards internationaux pour les émissions solides, liquides et gazeuses dans la production et l'utilisation de l'énergie.

Mesures du PNAP axées sur la demande

Tableau 4 : Mesures Du PNAP axees sur la demande

Mesure	Intervention (s)	Impact
Programme d'éclairage basse consommation	Distribution par l'ONE de 15 millions de lampes à basse consommation (LBC)	Effacement à la pointe de 800 MW
	Distribution de concessions privées pour 4,4 millions de lampes	
	Distribution par les services municipaux de 7,7 millions de lampes	
Barème tarifaire étudié pour encourager les économies d'énergie	Rabais de 20% pour tous les clients résidentiels et les collectivités locales dont la consommation est inférieure de 20 % aux objectifs fixés	Effacement à la pointe de 300 MW
Tarif d'heures de pointe proposé en option aux clients haute tension	Encourager les clients haute tension à réduire leur consommation aux heures de pointe par nouveau barème tarifaire	Effacement à la pointe de 87 MW
Tarif bihoraire optionnel	Tarif bihoraire pour les moteurs basse tension	16 MW
Éclairage public	Installation d'équipements améliorant l'efficacité énergétique (stabilisateurs, économiseurs, lampes basse consommation, etc...)	87 MW
	Opération pilote sous la direction du MEMEE et du ministère de l'Industrie	
	Déploiement complet du programme par l'ONE	
Programme national de maîtrise de l'énergie (bâtiments, industrie et transports)	Réduire la consommation d'énergie de 15 % dans les secteurs ciblés	Économie d'énergie de 15 % dans les secteurs ciblés d'ici 2020
	Programme pour chaque secteur élaboré par le MEMEE et les ministères concernés	
	Mise en œuvre par le MEMEE et le CDER	
Changement d'heure	Adoption de GMT+1 à titre d'essai du 1er juin 2008 au 31 août 2008	100 MW
Produits pétroliers	Mesures destinées à réduire la consommation de produits pétroliers	
	Modernisation du parc automobile et amélioration du système de contrôle	
	Campagne de sensibilisation des conducteurs	
	Transports publics	
	Affichage obligatoire de la consommation énergétique pour les véhicules neufs	

Source : ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement (Mars 2009)

- L'évolution de La consommation d'électricité dans notre pays présente une allure variée.
- Celle-ci enregistre des variations très importantes dans la journée. Son tracé appelé «courbe de charge» indique le comportement des consommateurs et constitue la base de gestion du parc de production.
- Une bonne courbe de charge ne doit pas enregistrer un écart trop important entre son maximum et son minimum. Ce rapport était de l'ordre de 2 en fin des années 90, aujourd'hui, il se situe à 1,7.
- Contrairement aux autres pays méditerranéens (l'Europe et le Maghreb), la courbe de charge du Maroc est caractérisée par un pic important entre 17h et 22h qui correspond à une forte demande : celle des ménages cumulée à celle d'autres utilisateurs (certains clients industriels et tertiaires).
- Cette courbe des charges a des conséquences La rentabilité de l'outil de production. En effet, 40% des moyens de production ne sont utilisés que pendant 5 heures par jour (la pointe).

Plan National d'Actions Prioritaires « PNAP » axé sur la demande : Mesures Tarifaires

Principes

- L'électricité, comme de nombreuses activités de service, est caractérisée par la grande variabilité de sa demande au cours du temps et la quasi-impossibilité de son stockage;
- Toute la chaîne de production, de transport et de distribution doit être conçue pour satisfaire une demande connaissant de très amples fluctuations;
- Ainsi, le coût de la fourniture d'un kilowattheure est très dépendant de la période (pointe ou creux de la demande) pendant laquelle il est appelé;

- La tarification n'a toutefois pas pour but d'agir a priori sur la courbe de charge en distordant artificiellement les prix, mais de refléter le coût des kilowattheures consommés.

Principes

Deux principes fondamentaux sous-tendent la politique tarifaire d'électricité : égalité de traitement et efficacité économique :

- L'égalité de traitement des clients signifie que tous les clients ayant les mêmes caractéristiques d'utilisation, même courbe de charge, même tension d'alimentation, etc. paient le même prix;
- L'efficacité économique qui, est compatible avec celui de l'égalité de traitement, puisqu'il implique de répercuter sur chaque client l'ensemble des coûts qu'il occasionne au système électrique quelle que soit l'utilisation qui est faite de l'électricité;

Ces principes de tarification sont à eux seuls porteurs d'incitations aux économies d'énergie, par effacement ou report de consommations vers une période peu chargée.

Contexte

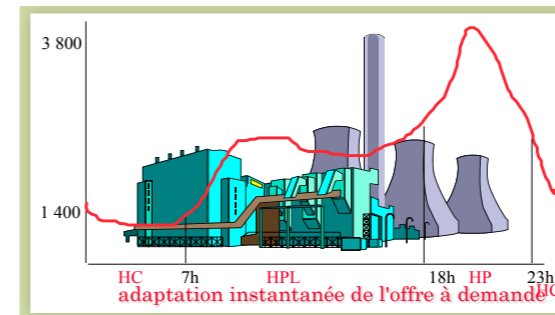
- Le Maroc dispose de peu de ressources énergétiques propres : les besoins en énergie primaire sont importés
- L'hydraulicité : apport faible à la production
- Investissement très lourd

Contraintes

- La demande est irrégulière
- L'électricité n'est pas stockable
- Diversité des moyens de production avec un coût du mix défavorable élevé
- Délais importants de construction des moyens



Courbe de charge



Coûts et caractéristiques

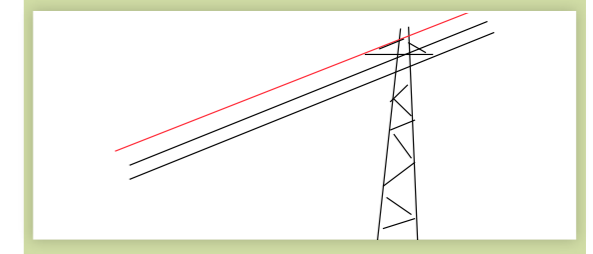
COÛTS

- Production : Construction des centrales
- Transport : Construction des lignes et postes transformation
- Distribution : Construction des lignes et postes sur un réseau étendu et des consommateurs dispersés + charges de distribution

CARACTERISTIQUES

- Tension : THT, HT, MT ou BT
- Moment (Saison et heures de la journée)

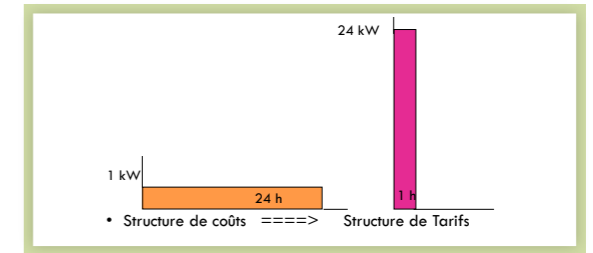
- Mode de consommation



Mode de consommation

Structure

- Puissance (KVA ou kW)
- Energie (kWh)
- Durée d'utilisation



Structure tarifaire

- Tarifs par niveau de tension : THT, HT, MT et BT
- Tarification optionnelle :

Utilisation de la puissance sur l'année : Heure d'utilisation (TLU; MU; CU)

- Tarifs par usage

MT : général ou agricole

BT : domestique, commercial, force motrice etc..

- Tarification

binôme : Puissance + Énergie

monôme : Énergie (tranche de consommation)

- Para-tarifaire : Branchement, comptage etc..

Structures tarifaires

Tarifs Très Haute Tension et Haute Tension:

- Tarif général : facturation de la puissance souscrite mensuelle, et la consommation par postes horaires;
- Tarif optionnel : versions tarifaires et souscription de puissance par postes horaires.
- Tarif Super-pointe : versions tarifaires et souscription de puissance par postes horaires (4 postes horaires).

Tarifs Moyenne Tension :

- Tarif général : facturation de la puissance souscrite mensuelle, et la consommation par postes horaires).
- Tarif optionnel : versions tarifaires et souscription de puissance par postes horaires.
- Tarif vert : versions tarifaires, saisonnalité, et facturation de la puissance appelée.

Tarifs Basse Tension :

- Tarifs monômes par usage et par tranche
- Système NOUR
- Tarif Bi-horaire

Rappel des grandes lignes de la réforme 1996

- Introduction d'un tarif «Heures de Pointe»
- Rapprochement de la hiérarchie des coûts : application de taux différenciés
- Adaptation des tranches de consommation BT : nouvelles tranches de consommation avec plus de progressivité des tarifs
- Unification des tarifs des Distributeurs

Poursuite de la réforme : Principes

- Soutien effort entrepris pour ériger la pointe

- Réalité des coûts (L'ONEE-BE subventionne les tarifs étant donné la cherté des matières premières nécessaires à la production d'électricité).
- Développement de l'optionnel
- Encourageant l'effacement et permettant de réaliser des gains
- Souscription des puissances par poste horaire

Actions tarifaires DSM

Tarification optionnelle

La tarification optionnelle a été introduite en 1997 avec la réforme du système tarifaire qui a débuté en 1996 et qui, plus qu'une simple modification des prix, a été conçue comme un moyen de gestion globale et efficace de la demande d'électricité

Les différents tarifs s'inscrivant dans ce cadre, on

distingue :

- Tarifs optionnels en THT et HT, institués en 1997 ;
- Tarif vert à usage agricole institué en 1997 ;
- Tarifs super-pointe en THT et HT institués en 2008 ;
- Tarif Bi-horaire Basse Tension en 2006.

Les tarifs Super-pointe et bi-horaire BT : Mesures PNAP

Tarification Super-pointe : Objectifs

- Optimiser la gestion du système électrique existant par l'amélioration du rendement du système et la réduction des besoins de puissance de pointe.
- Soutenir le secteur industriel en permettant aux clients THT-HT qui peuvent s'effacer de réaliser des gains sur leurs factures.
- Le potentiel d'effacement est estimé à 90 MW.

Tarification Super-pointe : Principes

Cette nouvelle tarification se base sur les mêmes principes que ceux de la tarification optionnelle THT-HT actuelle, mais avec de nouvelles dispositions, à savoir:

- L'éclatement du poste HP actuel en deux postes horaires par l'introduction d'un nouveau poste horaire « SHP » caractérisé par un coût de production élevé :
 - SHP : Super pointe de 2 heures par jour (18h-20h en hiver et 19h-21h en été) ;
 - HP : Heures de pointe (reste du poste HP du tarif actuel).
- L'adoption du nouveau tarif conditionnée par une puissance souscrite pendant la super pointe égale au maximum à 80% de la puissance souscrite en heures de pointe.

Tarification Super-pointe : Impact

Cette tarification adoptée par 2 cimenteries et par une aciérie, a permis un effacement en heures de Super Pointe de l'ordre de 79 MW

Tarification Bi-horaire : Contraintes du tarif classique

- La structure tarifaire appliquée aux clients BT est une structure monôme où l'on facture uniquement l'énergie consommée.
- L'énergie est répartie suivant des tranches de consommation progressives.
- Importance de l'énergie appelée par les clients BT en heure de pointe puisque la part de la consommation BT (près de 60% de l'énergie appelée).
- la structure tarifaire actuelle n'incite pas à l'effacement puisque le tarif est le même quelle que soit le moment de consommation.

Actions tarifaires DSM

Tarification incitative : Modèle -20%/-20%

Modèle -20%/-20% : Objectif

- Le modèle -20%/-20% est une mesure PNAP;
- Mesure tarifaire qui consiste à inciter les clients

Basse Tension à usage domestique ou patenté à réduire leurs consommations d'électricité et ce par le biais d'un bonus offert qui est fonction de l'énergie économisée.

Modèle -20%/-20% : Principe

Si un client réduit sa consommation d'un mois M de l'année A d'au moins 20% par rapport à sa consommation réelle du même mois M de l'année A-1, un bonus de 20% sur l'écart entre les deux consommations lui sera accordé par l'Etat au prix de 1 DH TTC/KWh économisé.

Modèle -20%/-20% : Impact

- Pour les clients de l'ONEE-BE, une économie d'énergie de l'ordre de 19 GWh. Le bonus total était de l'ordre de 19 Millions de Dirhams (TTC) sur les trois premiers mois de mise en œuvre;
- Le bonus total sur les trois mois représente environ 2% du chiffre d'affaires (énergie hors autres redevances) ménages et patentés;
- une moyenne mensuelle d'environ 500 000 factures qui ont bénéficié de bonus, soit une moyenne de 11 DH par facture d'économie pour les ménages et 17 DH par facture pour les patentés.
- L'installation des LBC chez les clients ONEE-BE aurait contribué à l'économie réalisée.

Mesures Institutionnelles

Plusieurs mesures s'inscrivent dans le cadre de volet institutionnel, à savoir :

- Changement de l'heure légale (GMT+1);
- Généralisation de l'horaire continu et changement de l'horaire de travail;
- Gestion déléguée de l'éclairage public.

Adoption de GMT+1

Il s'agit d'une Mesure gouvernementale qui vise, en plus de la synchronisation des horaires d'activité vis-à-vis des partenaires économiques, régionaux et internationaux :

- le Report en terme d'investissement
- Gain annuel en termes de combustibles
- Baisse de la facture d'électricité de la clientèle

L'institution de cette mesure fait l'objet d'un décret ministériel.

Adoption de GMT+1

La courbe de charge est constituée par la superposition des appels d'énergie des différents segments de clients ménages, patentés, professionnels, industriels, agricoles, etc.

cette courbe est caractérisée par un pic important entre 17h et 22h engendré essentiellement par le chevauchement entre les ménages et les autres utilisateurs (certains clients industriels et tertiaires);

Cette courbe des charges a des conséquences sur la rentabilité de l'outil de production. En effet, 40% des moyens de production ne sont utilisés que pendant 5 heures par jour (la pointe).

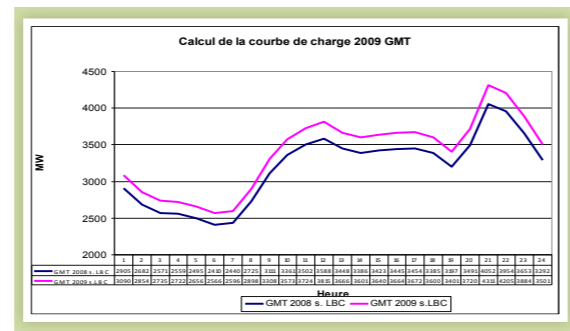
Mesure GMT+1 : Impact

Année	Début	Fin	Nombre de jours d'application	Gain moyen en MW Pointe	Gain GWh Consommation
2008	01/06/2008	31/08/2008	91	90	300

Compte tenu de l'importance de cette mesure, le Gouvernement Marocain a décidé de réaliser une étude approfondie sur les retombées sociales et économiques du passage à l'horaire d'été (GMT+1), en vue de définir une approche globale fondée sur une appréciation précise de cette question.

Etant donné que nous nous ne disposons pas de courbes de charges GMT pour cette période, il a été procédé à leur reconstitution en tenant compte des courbes de charges de la même période en 2008 corrigées.

1. Application du taux d'accroissement 2009/2008 GMT+1 sur la courbe 2008 GMT résultat de l'étude 2008



Mesure GMT+1 : Evaluation d'impact 2009

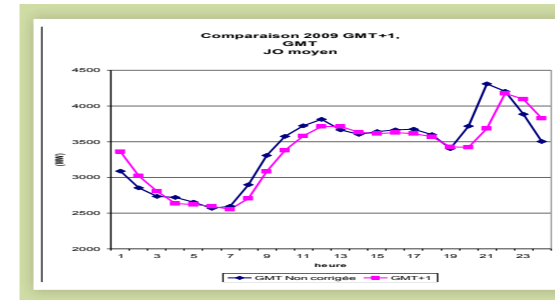
Objectif

L'objectif étant de mesurer l'impact de l'application de l'horaire GMT+1 sur la demande pour la période d'application de GMT+1. Il s'agit de comparer entre les courbes de charges de la période aux courbes de charges GMT de la même période.

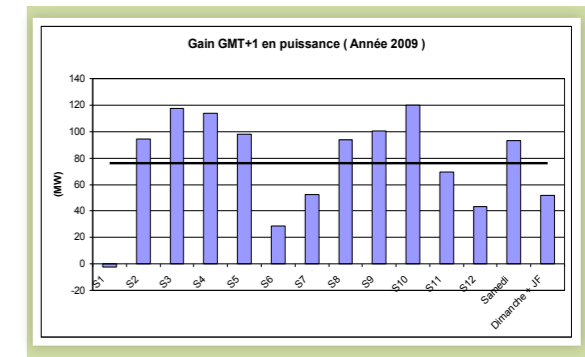
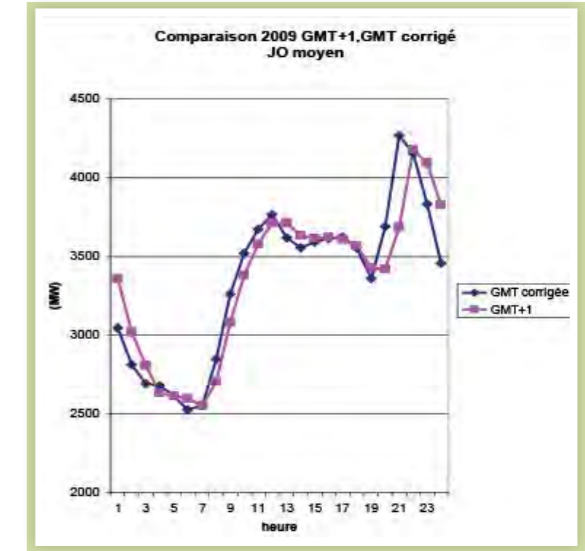
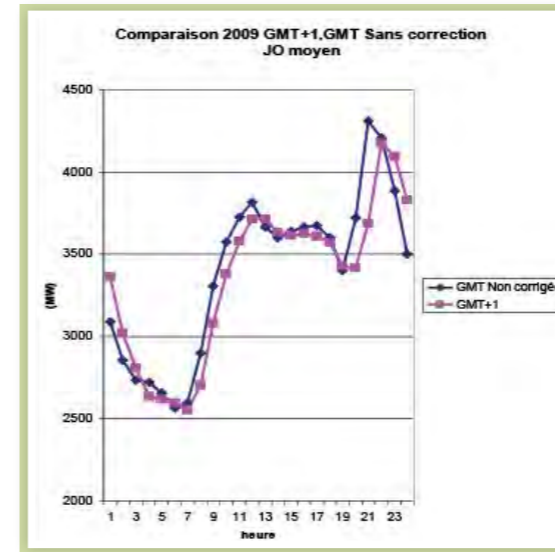
Hypothèses de calcul

La mesure de l'impact de GMT+1 sur les courbes de charges de la période a été faite en tenant compte de l'effet des Lampes à Basse Consommation (LBC) et aussi de l'impact de la mise en place de la nouvelle tarification super-pointe.

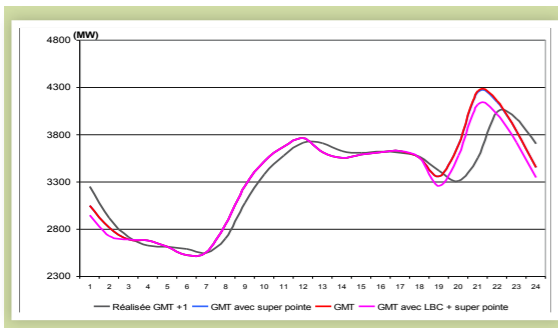
2. Comparaison des courbes 2009 GMT et 2009 GMT+1



3. Correction de la courbe GMT des autres effets influents (T°, etc)



Comparaison des courbes de charge



Gestion déléguée de l'Éclairage Public :

- L'éclairage public national absorbe 3,4% de la demande nationale
- Les charges financières de gestion et d'exploitation de l'EP occupent une part importante dans le budget des communes.
- Le parc national d'EP est hétérogène.
- Absence d'intérêt et de suivi des factures d'électricité par les communes.
- Absence d'une politique DSM pour la gestion de l'EP

Gisement d'économie d'énergie à explorer et qui profiterait aussi bien à l'ONEE-BE qu'aux collectivités.

Gestion déléguée de l'Éclairage Public :

Prise en charge par l'ONEE-BE de la gestion du réseau d'EP des Communes dans le cadre de contrats de gestion déléguée. Cette gestion a concerné jusqu'à présent une vingtaine de communes et municipalités.

La démarche d'audit l'éclairage public pris en charge par l'ONEE-BE, permet d'organiser une maîtrise totale de la gestion de ce réseau et optimiser aussi l'énergie consommée sur le réseau des Municipalité, grâce notamment à :

- une bonne connaissance du parc lumineux et l'état des luminaires

- une bonne adéquation entre besoin réel et puissance estimée.
- la mise en place d'une maintenance préventive (anticiper le remplacement des lampes dès leur fin de vie, etc...)
- Choix d'équipement pour une gestion efficace de l'éclairage public.

Installation de lampes de qualité

Principaux paramètres de qualité d'une source lumineuse

- type de lumière émise : indice de rendu de couleur (IRC) et température de couleur;
- l'efficacité lumineuse de la source (lm/W);
- le flux lumineux (lumens);
- la durée de vie.

Principaux équipements efficaces pour EP

- Lampe à vapeur de sodium basse/ haute pression;
- Lampe à vapeur de mercure;
- Lampes à iodures métalliques.

Installation d'optimisateurs de puissance

Principe : réguler la puissance électrique de manière à réduire les coûts de fonctionnement d'une installation en l'ajustant aux besoins d'éclairage.

Les principaux avantages :

- Économie d'énergie de 20 à 50 % ; l'économie étant de plus en plus importante à mesure que le niveau de tension est élevé.
- Économies sur l'entretien des installations puisque ces appareils permettent d'augmenter la durée de vie des luminaires

Types :

- Stabilisateur et régulateur de tension

- Variateur de tension
- Appareillage à induction

Installation de systèmes de commande d'allumage et d'extinction

Principe : L'objectif est de synchroniser aux meilleures conditions les périodes d'éclairage et les périodes de besoins réels en éclairage.

Types :

- Les interrupteurs crépusculaires (photorésistante et photopile) : sensibilité à la lumière ambiante permet de déclencher l'allumage/l'extinction
- Les horloges (programmation des horaires d'éclairage)
- Les horloges astronomiques (programmation des horaires d'éclairage sur la base d'un calcul astronomique des heures crépusculaires)
- La commande centralisée

Mesures liées aux équipements

Utilisation des Lampes à Basse Consommation (LBC) :

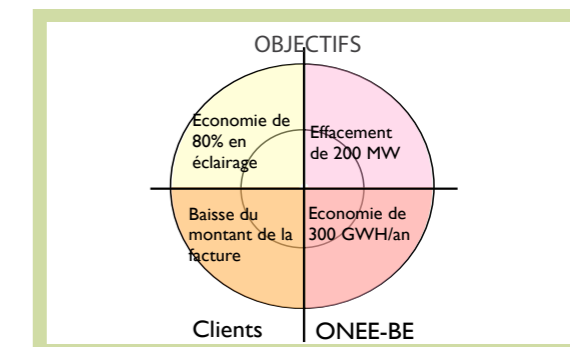
Considérée comme l'une des principales actions du plan DSM, l'opération INARA s'inscrit dans le cadre du Plan National d'Actions Prioritaires (PNAP) ayant fait l'objet du contrat programme signé le 08/07/2008 à Oujda entre l'ONEE-BE et l'Etat.

L'Opération INARA vise à terme le remplacement de 15 millions de lampes à incandescence par des lampes basse consommation (LBC) dont une première phase a été lancée par l'ONEE-BE en 2008 pour un total de 5 millions de LBC.

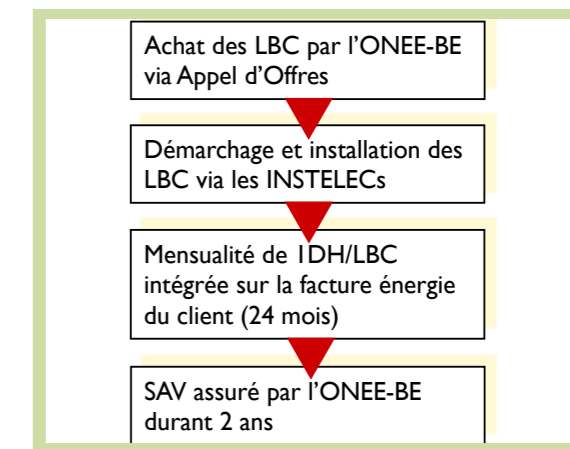
Une deuxième phase est prévue en 2013 et elle vise l'installation de 10 millions de LBC.

Utilisation des Lampes à Basse Consommation (LBC)

Objectifs et consistance de l'opération



MECANISME



Caractéristiques des lampes installées

Lampes retenues :

- Marque : PHILIPS
- Puissance : 18 W
- Durée de vie : 10 000h
- Cos Phi : 0,6
- Fabriqué en : PRC

Quantité 1ère phase

5 000 000 LBC



Culot



Démarche de mise en œuvre de l'opération

- La généralisation de l'opération sur le territoire marocain a été précédée par le lancement d'un ensemble de sites pilotes au niveau des 10 Directions Régionales à raison d'un site par DR.
- Le démarrage de l'opération au niveau des pilotes a fait l'objet d'une journée officielle à laquelle ont participé les autorités de la région ;
- Les lampes sont installées chez les clients par les INSTELEC (Installateurs Agréés par l'ONEE-BE) participant à l'opération.
- Des formations ont été dispensées aux INSTELEC participant à l'opération
- Chaque INSTELEC doit constituer une caution auprès de l'ONEE-BE équivalente à la valeur des lampes en sa possession.
- Ces partenaires installent ces lampes chez les clients en leur donnant des conseils d'utilisation des lampes, les meilleurs emplacements pour l'installation des lampes (Pièces à forte consommation) ;

- Le nombre de lampes maximum à installer par client est de 5 lampes, afin d'éviter l'installation au niveau des endroits à faible consommation.
- Les lampes sont garanties 2 ans. Le remplacement des lampes avariées se fait au niveau des agences de l'ONEE-BE. Pour cela, le client doit présenter à l'agent l'engagement qu'il a signé avec l'ONEE-BE et la lampe portant logo de l'ONEE-BE et le numéro de série;
- Pour la gestion de l'opération au niveau interne, l'ONEE-BE a opéré des développements spécifiques au niveau de son système d'information et a mis en place des procédures de gestion opérationnelle de l'opération afin qu'elle se déroule dans les meilleures conditions.

Plan de communication autour de l'opération

Un plan de communication a été conçu et mis en œuvre pour l'accompagnement de la première phase de l'opération INARA. Les principales actions de communication réalisées se résument comme suit :

- Confection et distribution de 1,4 millions de flyers pour les clients de l'ONEE-BE;
- Mise en place des 7 800 affiches et de 460 banderoles au niveau des lieux de forte affluence ;
- Equipement des véhicules ONEE-BE de 460 autocollants ;
- Mise en place de 220 kits de démonstration au niveau de l'ensemble des agences de l'ONEE ;
- Formation de 1 000 INSTELEC (Installateurs Agréés) sur les techniques de vente.
- Diffusion d'un spot télé sur les deux chaînes AL OULA et 2M ;
- Diffusion d'un spot radio sur plus de 7 chaînes radio.
 - Distribution des flyers sur les clients;
 - Affichage dans les lieux d'affluence;
 - Mise en place de banderoles;
 - Habillage des véhicules;



- Mise en place des kits de démonstration LBC au niveau des ASP, AS et succursales.



Impact des LBC sur la demande

- Evaluation des économies d'énergie
- Evaluation de l'impact sur la courbe de charge
- Evaluation des réductions des émissions CO2

PROMOTION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

Mesures Promotion industrielle

Offre de Service

OPTIMA

pour l'efficacité énergétique



Consistance de l'offre

L'offre de service OPTIMA est une mesure d'efficacité énergétique qui vise essentiellement l'amélioration de l'efficacité énergétique des entreprises industrielles à travers des mécanismes financiers et techniques leur permettant la réalisation d'audits énergétiques et la mise en place de plans d'actions à même de développer la performance et la productivité de leurs différents processus.

La gamme OPTIMA contient plusieurs services permettant aux clients d'améliorer leurs procédés industriels :

- Diagnostic énergétique
- Optima Qualité
- Optima Reac
- Optima entretien
- Optima conso

Objectifs

Pour le client :

- Optimisation de la facture énergétique de 10 à 20% selon le cas
- Réduction des coûts liés à la perte de continuité de service due aux perturbations sur le réseau
- Amélioration de la durée de vie des installations électriques

Pour l'ONEE-BE :

- Encourager et mettre en œuvre une utilisation rationnelle de l'énergie électrique de façon à mieux maîtriser la croissance de la demande en énergie et l'appel de puissance à la pointe.
- Renforcer la relation avec la clientèle industrielle

Montage financier

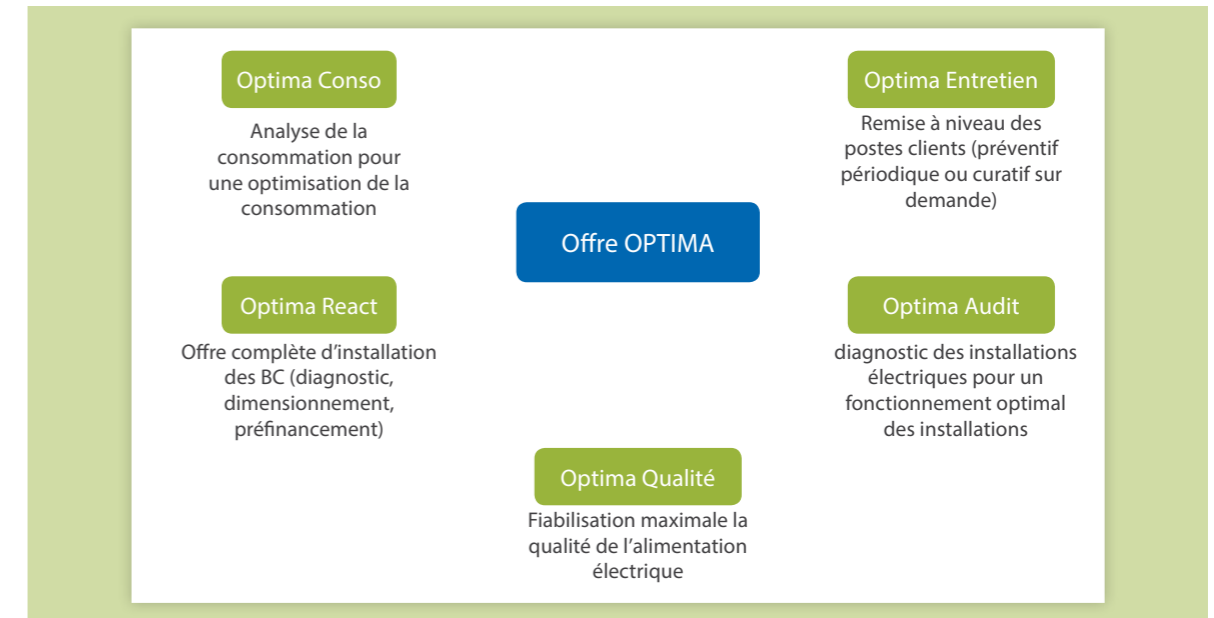
- Fruit d'un partenariat entre l'ONEE-BE et l'Agence Nationale pour la promotion des petites et moyennes entreprises (ANPME).
- Un accompagnement en terme de financement des audits et du matériel utilisé :
 - ANPME 30 à 40 %
 - ONE 30%
 - Client 20 à 30%
- De l'expertise technique dans le choix des auditeurs, la validation des rapports d'Audit et l'évaluation des bureaux d'études
- La coordination entre les différents intervenants afin de faciliter l'aboutissement du projet (auditeurs; ADEME(contribution financière); bailleurs de fonds; MEMEE; CGEM; ...)

Demarche de mise en oeuvre

Consistance de la Mission



Modalités d'intervention



Diagnostic énergétique

Concept : Il s'agit d'un bilan basé sur le diagnostic des installations et l'analyse des factures énergétiques dans le but d'identifier des solutions pour la réduction de la consommation énergétique

Prestation :

- Analyse détaillée des consommations
- Mesure des grandeurs électriques (U, I, P, Q, COS φ)
- Analyse des principaux processus consommateurs d'énergie
 - Moteurs
 - Pompes
 - Réseaux de distribution d'air comprimé
 - Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation
 - Compresseurs et turbines
 - Fours, sécheurs et fours de cuisson
- Analyse des résultats des mesures et rapprochement avec les factures de consommation
- Etablissement de recommandations et d'un plan d'actions pour la réduction de la consommation énergétique
- Dimensionnement des équipements à installer en vue de l'optimisation de la consommation énergétique (solutions de mesures, variateurs de vitesse, batteries de condensateurs, moteurs et pompes à haut rendement...etc..)

Optima qualité

Concept

Il s'agit d'un diagnostic de l'état de la qualité d'alimentation électrique de l'installation du client et proposition de recommandation d'amélioration.

Prestation

- Installation d'analyseurs de réseaux et évaluation des indicateurs de la qualité d'alimentation:
- Niveaux de flicker, Niveaux d'harmoniques, déséquilibre de la tension, fréquence des coupures, micro coupures, creux de tension, surtension ;
- Identification de l'origine des perturbations électriques ;
- Evaluation de l'impact des perturbations sur la performance du process du client ;
- Recommandation :
 - Réglage de la tension
 - Adaptation des protections des installations du client à celle du plan de protection de l'ONEE-BE
 - Mise en place de moyens de désensibilisation/compensation (onduleurs, volant d'inertie, NO BREAK, SVC...
- Sensibilisation du personnel du client ;
- Suivi de la mise en œuvre des recommandations.

Optima Réact

Concept :

Préfinancement de l'achat et de l'installation de batteries de condensateurs en vue d'optimiser la consommation en réactif et les pertes d'énergie résultantes.

Prestation :

- Fourniture et installation des BC ;
- Evaluation de l'impact des BC sur la rationalisation de la consommation;
- Garantie au client un facteur de puissance supérieur ou égale à 0,8 durant la validité de la convention.
- Estimation de la consommation en réactif et étude pour le dimensionnement des BC pour les clients industriels.

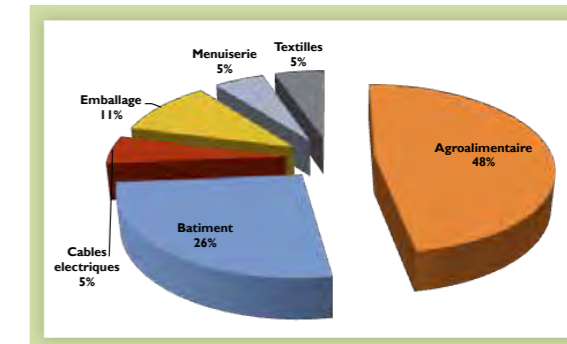
Optima entretien

Concept : Entretien des postes clients

Prestation :

- Entretien préventif : suivant une périodicité prédéfinie (2 fois par an), il se compose d'une visite de diagnostic suivie d'une visite pour la remise à niveau du poste client.
- Entretien curatif : qui consiste en une intervention des équipes ONEE-BE suite à un incident et à la demande du client.

Réalisations par secteur d'activité :



Réalisations

Entreprise	DR	Secteur d'activité	Facture_DH	CO2_évités_T	Gain_Dh	Investissement_DH	Part_gain	ROI_mois
Bioresine	Kenitra	Agroalimentaire	1 117 000	214	148 191	81 180	13,0%	6,6
Agrogailles	Kenitra	Agroalimentaire	1 785 902	232	196 303	85 600	11,0%	6
Moulin bab el guissa	Fes	Agroalimentaire	1 467 417	107	116 300	254 600	8,0%	27
Maghreb pack	Casa	Emballage	1 158 000	26	124 000	146 400	10,7%	15
Le plastique	Casa	Emballage	4 178 433	860	875 448	625 200	21,0%	9
Karkachi	Casa	Batiment	1 721 000	134	383 000	445 000	22,0%	14
Intersig	Casa	Batiment	1 400 000	360	401 000	430 000	28,0%	12
Arzak	Casa	Agroalimentaire	5 587 500	1 000	894 000	1 958 000	16,0%	26
RAJAB 10	Casa	Menuiserie	1 167 439	154	178 996	353 000	15,3%	23
Afric cables	Casa	Cables electriques	7 159 102	350	917 800	638 700	12,8%	8,35
Pontco	Casa	Textiles	3 685 950	120	129 000	81 200	3,5%	7,5
Savola	Casa	Agroalimentaire	9 610 607	2 069	2 314 330	3 121 550	24,1%	17
Société Kabbaje sous	Agadir	Agroalimentaire	3 564 382	339	605 945	3 70 600	17,0%	7
Oralia	Agadir	Agroalimentaire	1 517 272	56	133 520	210 000	8,8%	19
Minoterie aitmelloul	Agadir	Agroalimentaire	2 742 251	143	478 200	1 082 100	17,4%	28
Coopérative agricole Zaouia	Agadir	Agroalimentaire	1 182 091	87	130 030	333 200	11,0%	30
Mabrouka	Oujda	Batiment	4 489 000	631	872 100	536 000	19,4%	8,00
Midabriq	Oujda	Batiment	3 343 000	616	838 400	649 300	25,1%	10,00
Sonabriq	Oujda	Batiment	14 951 000	1 376	1 983 500	881 500	13,3%	6,00
Total			71 827 346	8 874	11 720 063	12 283 130	16%	13

Cas d'entreprise

Cas de l'entreprise : Usine Agrogailles (DR RABAT)

- Types d'énergie consommée : Électricité
- Secteur d'activité : Agroalimentaire
- Énergie consommée:
 - Consommation annuelles : 2 165 818 kWh
 - Facture annuelle : 202 6828,6 DH/an
 - Prix Moyen: 0,824 DH/kWh
- Répartition de la consommation annuelle d'énergie électrique :



Résumé des recommandations de l'Audit

Actions	Intitulé	Intérêt de l'action	Investissement en DH	Gains annuels en Dh/an	Gains en énergie	CO2 évité en tCO2/an	Temps retour mois
1	Optimisation de la puissance souscrite après amélioration du facteur de puissance-Poste N°1	Réduire la puissance souscrite	24 000	39 601	56 787	42,82	7
2	Optimisation de la puissance souscrite après amélioration du facteur de puissance-Poste N°2	Réduire la puissance souscrite	16 000	30 871	47 930	36,14	6
3	Optimisation de la puissance souscrite après amélioration du facteur de puissance-Poste N°3	Réduire la puissance souscrite	32 000	51 059	80 890	60,99	8
4	Abriter les condenseurs	Réduire les pertes causées par le rayonnement solaire	10000	17500	26503	20	7
5	Isolation thermique du circuit de réfrigération	Réduire les pertes causées par le manque de calorifuge	800	8800	13269	10	1

6	Optimisation des conditions opératoires	Réglage des pressions	0	28 400	54156	40,7	Immédiat
7	Installation de minuterie pour l'éclairage	Minimisation des pertes dans les chambres froides	1 800	13 500	20386	15,33	2
8	Maintenance	Une politique de maintenance	1000	6 572	9907	7,45	2

Total			85 600	196 303	239763	233,43	5
-------	--	--	--------	---------	--------	--------	---

Action 1 : Optimisation de la puissance souscrite après amélioration du facteur de puissance

Cette action contribue à une économie importante car les 3 postes n'alimentent pas l'usine d'une manière permanente; d'où des pertes considérables au niveau du réactif et de l'actif.

Recommandations d'amélioration du facteur de puissance		
Cos phi moyen actuel		0,898
Cos phi moyen futur		0,99
PS actuelle	KVA	700
Nouvelle puissance à souscrire	KVA	577
Coût initial	Dh/an	108 010
Coût futur	Dh/an	56 951
Gains annuels	Dh/an	51 059
Capacités à installer	kVar	300
Investissements (capacités, câbles, divers)	Dh/an	32 000
Temps de retour	mois	8

Action 2: Isolation thermique du circuit de réfrigération :

Cette action consiste en l'isolation thermique des conduites de fluides réfrigérants (tuyauterie, vannes et ballons). Le diagnostic du circuit de réfrigération a permis d'identifier les éléments à calorifuger.

Température ambiante moyenne annuelle	25
Température surface après calorifugeage	20

Pertes en W/m ² avant calorifugeage	Équipement	Localisation	Température surface °C	Surface à calorifuger en m ²	Pertes avant calorifugeage en W	Pertes après calorifugeage en W	Pertes en W/m ² après calorifugeage	Épaisseur calorifugeage en cm
600	Ballon séparateur d'huile	Salle NH3	-22	4,11	2468,04	185,103	45	4,04
600	Circuit NH3 terrasse	Terrasse	-22	0,85	508,68	38,151	45	4,04
600	Circuit NH3 terrasse	Terrasse	-22	0,07	42,39	3,179	45	4,04
600	Éléments divers	Salle NH3	-22	0,5	301,44	22,608	45	4,04
Total				5,53	3320,55	249,04		

Action 3 : Abriser les condenseurs:

Les condenseurs exposés au soleil induisent une surconsommation au niveau des compresseurs. Le projet consiste en la protection des condenseurs pour les mettre à l'abri. Le placement d'un système d'ombrage permettra d'abaisser le niveau de température réfrigération.



Action	Abriser les condenseurs				
Compresseur R 2 2	1	2	3	4	5
Économie annuelle (kWh)	1110	721,9	1514	126,5	3820
Compresseur R 7 1 7	500 CV	600 CV			
Économie annuelle (kWh)	9281	9929			
Économie globale (kWh/an)	26 503				

Action 4 : Installation de minuteries pour l'éclairage :

L'action consiste en l'installation de minuteries pour l'éclairage dans certaines chambres froides. Ceci aura pour effet, d'une part, une réduction de la consommation électrique due à l'éclairage et, d'autre part une diminution de la charge frigorifique en réduisant le dégagement de chaleur.

	Puissance éclairage en Kw	Durée de fonctionnement en h	Consommation KWh/an	Durée de présence des personnes en h	Economie d'éclairage et de charge frigorifique KWh/an	Economie
Camara I	0,4	8760	3504	5	4161	2760
Camara II	0,16	8760	1402	10	1226	814
Camara III	0,48	2880	1382	8	1382	917
Camara IV	0,48	2880	1382	6	1555	1032
Salle statique	0,16	2880	461	2	634	420
Salle de manipulation	4,4	2250	9900	10	8663	5747
Salle cooler 1 et 2	0,64	5760	3686	12	2765	1834
Total			21718		20386	13524

5 - Optimisation des conditions opératoires :

Le projet consiste en l'augmentation de la pression aux évaporateurs en hiver et en demi-saison (Décembre à Avril) et pendant les nuits. Cette mesure ne demande aucun investissement.

Deux types d'actions:

- Augmenter la pression aux évaporateurs de 0.10 bars pour les chambres à -20 °C et de 0.17 bars pour les chambres positives pendant l'hiver, en demi-saison et durant les nuits (Circuit R22).
- Augmenter la pression aux évaporateurs de 0.039 bars pendant l'hiver, en demi-saison et durant les nuits (Circuit R717).

Action	Changement des conditions opératoires			
Compresseur R22	1	2	3	4
Economie annuelle (kWh)	4 831	1 471	3 085	257
Compresseur R717	500 CV	600 CV		
annuelle (kWh)	17 759	18 998		
Economie globale (kWh/an)	54 156			

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE SECTEUR BÂTIMENT

- Code d'efficacité énergétique dans le Bâtiment:
- Cadre réglementaire et normatif opérationnel.
- Accompagnement des professionnels et des administrations chargés du contrôle de l'application des normes de l'EE dans le bâtiment par le CDER (ADEREE).
- Généralisation progressive des chauffe eau solaires avec l'installation de 440 000 m² de chauffe eau solaire avant la fin 2012, 1,7 millions m² en 2020 et 3 millions m² en 2030;
- Portefeuille de 50 projets pilotes.
- Plan national de communication, mobilisation et sensibilisation des administrations, entreprises, professionnels et grand Public.

Développement d'une approche sectorielle:

- Signature de conventions cadre avec l'Habitat, le Tourisme et l'Éducation Nationale (en juillet 2007).
- Intégration des mesures EE dans les nouvelles constructions du secteur résidentiel, de l'hôtellerie et de l'éducation nationale.
- Préparation de circulaires incitant à utiliser les LBC et à installer les conduites d'eau froide et chaude vers la terrasse (recours aux Chauffe-eau Solaires).
- Accompagnement du secteur à la réalisation des projets pilotes intégrant l'EE et les ER (Tamesna, Tamansourt, Khiayta, etc..) dans le cadre du projet EE.

LABELLISATION DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTROMÉNAGERS

Étiquetage énergétique, labellisation:

- Cadre réglementaire et normatif en cours de préparation en 2013;

- avec des mesures encouragement investissement pour transformation marché équipements efficaces;
- Une analyse du marché national et caractérisation du parc actuel de l'électroménager;
- Plan national de communication, mobilisation et sensibilisation du grand public;
- Formation : contrôle de l'application des normes, de l'affichage et de l'étiquetage énergie Programme.

MESURES DE SENSIBILISATION

Tous les moyens sont bons pour inciter le citoyen marocain à une utilisation juste de l'énergie électrique. Le Ministère de tutelle et l'ONEE-BE ont accentué leurs actions en matière de sensibilisation sur l'utilisation de l'énergie.

Du côté de l'ONEE-BE, une campagne a été organisée en 2009 à travers les médias de masse mais également des actions de proximité et ceci afin de toucher toutes les cibles.

Le concept de la campagne « L'électricité mieux l'utiliser c'est l'économiser ».

La campagne s'articule autour d'un message fort mettant l'accent sur le fait que l'économie de l'électricité passe par une meilleure utilisation et non une réduction de la consommation de l'électricité.

Les moyens utilisés :

- Une campagne de communication médias véhiculée à travers des spots TV montrant les gestes simples pour une meilleure utilisation de l'électricité;
- Des partenariats avec les académies afin d'organiser des journées nationales de sensibilisation au profit des écoliers;
- Des workshops au profit des professionnels : Des rencontres qui permettent de proposer des solutions innovantes et performantes en matière de consommation d'électricité.

Du côté du gouvernement, un vaste plan de sensibilisation, qui vise à inciter les Marocains à mieux consommer l'énergie pour l'économiser a été mis en place, et est composé de plusieurs tranches.

Cette campagne s'inscrit dans le cadre de la nouvelle stratégie énergétique nationale qui considère la communication comme un vecteur essentiel pour sensibiliser l'ensemble de la nation aux enjeux et aux défis majeurs que représente l'énergie pour le Maroc.

Un pacte a été donc signé en 2009 à l'occasion du lancement de la campagne de sensibilisation à l'efficacité énergétique, pour sensibiliser les citoyens à mieux consommer l'énergie. Baptisé «Pacte de l'efficacité énergétique», cet accord dont la cérémonie de signature a été présidée par le Premier ministre, constitue un engagement collectif pour faire face aux contraintes et relever les défis en matière d'économie d'énergie. Signé par plusieurs Ministères et Distributeurs d'électricité.

- La campagne prévoit donc d'atteindre toutes les cibles, grand public, opérateurs économiques et collectivités locales à travers différentes actions.
- Il s'agit d'une vaste campagne multimédia qui a mis en 2009 à contribution la télévision, la radio, la presse écrite et l'édition afin que le message arrive à toutes les cibles et que celles-ci s'engagent à adhérer au pacte «efficacité énergétique».
- Un spot générique a été diffusé et dans le but de définir l'enjeu du défi énergétique commun parallèlement avec 8 spots thématiques conçus pour expliquer au grand public la manière de mieux utiliser l'énergie et donc d'adhérer au pacte «efficacité énergétique».
- Egalement, un guide de bonnes pratiques à la maison et au bureau a été distribué par les agences ONEE-BE et distributeurs d'électricité et un flyer portant sur les bonnes pratiques à adopter dans l'usage de sa voiture.
- Parallèlement à cette campagne, des actions spécifiques ont été menées pour sensibiliser les opérateurs économiques. Ces actions se sont

matérialisées par l'édition de plusieurs guides pratiques sur la mise en place de méthodes précises, dans différents domaines, pour l'efficacité énergétique, ainsi que par l'organisation de séminaires thématiques sur des méthodes concrètes et efficaces de maîtrise énergétique.

- Enfin, des messages spécifiques ont été diffusés dans les écoles afin de sensibiliser les plus jeunes sur l'importance de l'énergie et de la nécessité de nouveaux comportements afin de ne pas la gaspiller. Des kits pédagogiques ont été distribués à cet effet.

Parallèlement à cette campagne, des actions spécifiques ont été menées pour sensibiliser les opérateurs économiques. Ces actions se sont matérialisées par l'édition de plusieurs guides pratiques sur la mise en place de méthodes précises, dans différents domaines, pour l'efficacité énergétique, ainsi que par l'organisation de séminaires thématiques sur des méthodes concrètes et efficaces de maîtrise énergétique.

Enfin, des messages spécifiques ont été diffusés dans les écoles afin de sensibiliser les plus jeunes sur l'importance de l'énergie et de la nécessité de nouveaux comportements afin de ne pas la gaspiller. Des kits pédagogiques ont été distribués à cet effet.

CONCLUSION

Une économie efficace en énergie est un défi prioritaire aujourd'hui pour tous les pays, surtout dans le contexte de pénurie et des crises économiques.

- La dernière baisse des prix de l'énergie opérée en 1997, qui ne peut être que conjoncturelle, ne doit en aucun cas ralentir ou réorienter une politique de long terme, basée sur l'optimisation de l'utilisation des ressources énergétiques dans tous les domaines.
- Les changements climatiques, l'épuisement des ressources conventionnelles, la crise financière ainsi que la compétitivité des entreprises sont d'autres arguments pour ancrer l'efficacité énergétique dans la société marocaine.

- Le Ministère de l'énergie, des Mines, de l'eau et de l'environnement a mis en place un Plan National d'Actions Prioritaires pour assurer l'adéquation de l'offre à la demande énergétique et renforcer l'efficacité énergétique dans les secteurs clés de l'économie nationale.
- La réussite de ces plans est matérialisée à travers la forte implication de tous les intervenants institutionnels et consommateurs.



MERCI POUR VOTRE ATTENTION



COMPENSATION DE L'ENERGIE Réactive

Thème n°2

INTRODUCTION

La mise en place de systèmes de compensation de l'énergie réactive sur les procédés industriels et dans les bâtiments tertiaires permet de réduire la consommation d'énergie électrique et d'utiliser cette puissance disponible pour d'autres applications.

L'énergie active consommée (kWh) se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes).

L'énergie électrique réactive consommée (kVar) sert essentiellement à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques.

L'utilisateur bénéficie uniquement de l'apport énergétique actif. La partie réactive ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des batteries de condensateurs.

La circulation de l'énergie réactive a des incidences techniques et économiques importantes. En effet, pour une même puissance active P , il faut fournir d'autant plus de puissance apparente, donc de courant, que la puissance réactive est importante. Ainsi, du fait d'un courant appelé plus important, la circulation de l'énergie réactive sur les réseaux de distribution entraîne :

- Des pénalités à payer au fournisseur d'énergie;
- Des surcharges au niveau des transformateurs et l'échauffement des câbles d'alimentation;
- L'augmentation de la puissance souscrite au fournisseur d'énergie, des pertes Joules et des chutes de tension;
- Le surdimensionnement et la dégradation de la qualité de l'installation électrique.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, il est nécessaire de produire une quantité d'énergie réactive au plus près des charges afin d'éviter qu'elle ne circule sur le réseau électrique du distributeur. C'est ce que l'on appelle «compensation de l'énergie réactive».

Pour inciter les utilisateurs à se préoccuper de leur consommation d'énergie réactive, les distributeurs facturent l'énergie réactive consommée au-delà d'un seuil fixé. Des batteries de condensateurs sont utilisées pour fournir l'énergie réactive à des récepteurs inductifs.

L'intérêt économique de la mise en place d'une batterie de compensation d'énergie réactive est mesuré en comparant le coût de l'installation des batteries de condensateurs aux économies qu'elle procure. Le coût des batteries dépend de plusieurs paramètres :

- La puissance installée;
- Le niveau de tension;
- Le fractionnement en gradins et sa commande.

Les bénéfices sont doubles, d'une part par la diminution du montant de la facture d'énergie réactive et, d'autre part, par l'optimisation de l'installation électrique.

Il est suggéré aux clients les prestations suivantes :

- Conseil pour le dimensionnement et le type de compensation;
- Traitement des harmoniques en présence d'équipements faisant appel à de l'électronique de puissance (variateurs de vitesse, onduleurs, redresseurs, ...); ce traitement est nécessaire car les harmoniques perturbent le fonctionnement des condensateurs dont l'impédance décroît proportionnellement au rang des harmoniques présents;
- Analyse économique;
- Montage, installation, raccordement et mise en service de la batterie de compensation
- Entretien et maintenance de la batterie de compensation.

1. Le facteur de puissance

1.1 Les consommateurs d'énergie réactive

Toute machine électrique (moteur, transformateur...) alimentée en courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie :

- L'énergie active correspond à la puissance active P mesurée en KW ; elle se transforme intégralement en énergie mécanique (travail) et en chaleur (perte)
- L'énergie réactive correspond à la puissance réactive Q mesurée en kvar ; elle sert à l'alimentation des circuits magnétiques nécessaire à leur fonctionnement. Elle est à leur disposition par le réseau ou, de préférence, par de condensateurs prévus à cet effet.
- L'énergie apparente (kVAh) est la somme vectorielle des deux énergies précédentes. C'est l'énergie fournie par le réseau. Elle correspond à la puissance apparente (ou appelée) S (kVA) des récepteurs, somme vectorielle de P (kW) et Q (kvar).

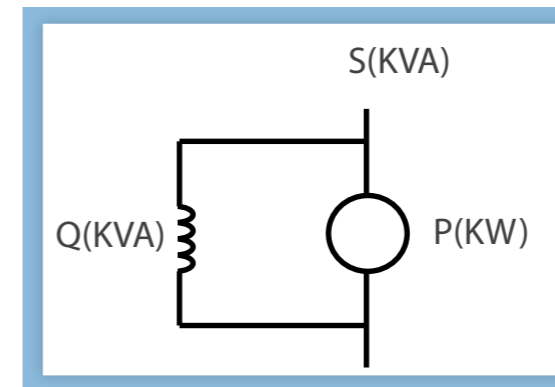


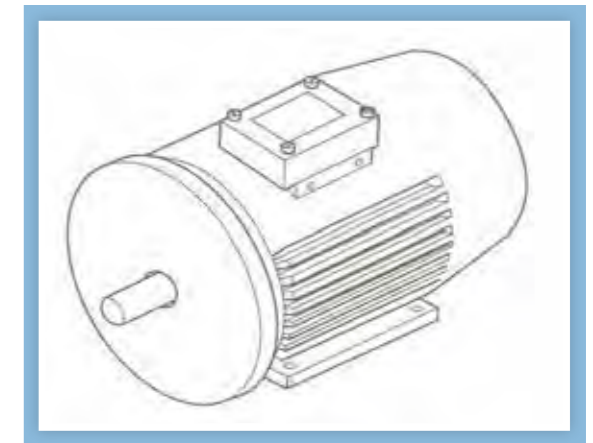
Fig 1 : Un moteur prélève sur le réseau de l'énergie active P et de l'énergie réactive Q

La consommation d'énergie réactive varie selon les récepteurs.

La proportion de l'énergie réactive par rapport à l'énergie active varie de :

- 65 à 75 % pour les moteurs asynchrones et de
- 5 à 10 % pour les transformateurs.

Par ailleurs les inductances (ballasts de tubes fluorescents), les convertisseurs statiques (redresseurs) consomment aussi de l'énergie réactive.



1.2 Définition du facteur de puissance

Le facteur de puissance F de l'installation est le quotient de la puissance active (kW) consommée par l'installation sur la puissance apparente (kVA) fournie à l'installation.

Il exprime le rapport entre la puissance réellement

utilisable pour des applications (mécaniques, thermique) et la puissance fournie par le réseau, c'est à dire la mesure du rendement électrique de l'installation.

On comprend dès lors l'intérêt du distributeur comme de l'utilisateur à avoir des installations fonctionnant avec un facteur de puissance le plus élevé possible c'est à dire voisin de la valeur 1.

Le facteur de puissance de l'installation est le quotient de la puissance active en kW consommée par l'installation sur la puissance apparente en kVA fournie à l'installation.

Il est égal au cosinus de l'angle de déphasage φ entre la puissance active et la puissance apparente.

$\cos \varphi = \frac{P}{S}$ = facteur de puissance. Le $\cos \varphi$ est compris entre 0 et 1.

Un facteur de puissance proche de 1 optimise le fonctionnement d'une installation.

Il est possible d'exprimer la $\tan \varphi$ avec :

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

La valeur la plus faible de $\tan \varphi$ optimise l'installation.

Facteur de puissance et $\cos \varphi$

Dans le cas le plus fréquent ou le réseau ne transite qu'un courant à fréquence industrielle (50 HZ) sans harmoniques, ce rapport égal au $\cos \varphi$ (déphasage entre le courant et la tension) de l'installation.

$$F = P/S = \cos \varphi$$

En présence d'harmoniques ceci n'est vrai que pour le fondamental, et l'on utilise la définition générale qui prend en compte globalement l'effet des harmoniques.

Facteur de puissance et $\tan \varphi$

On utilise souvent la $\tan \varphi$ au lieu du $\cos \varphi$, ce qui revient à calculer le rapport : $\tan \varphi = Q$ (kvar) / P (kW)

Sur une période de temps donnée ce rapport est aussi celui des consommations : $\tan \varphi = Q$ (kvar) / P (kW) = W_r / W_a

W_r : énergie réactive consommée (kvarh)

W_a : énergie active consommée (kWh)

Une valeur de $\tan \varphi$, la plus faible possible, correspond à une installation optimisée.

1.3 Mesure pratique du facteur de puissance

Le facteur de puissance ou $\cos \varphi$ se mesure soit :

- Au cosinusmètre qui donne une mesure instantanée, soit :
- À l'enregistreur varométrique qui permet d'obtenir sur une période déterminée (jour, semaine...) les valeurs d'intensité, de tension et de facteur de puissance. Les mesures sur une période plus longue permettent de mieux estimer le facteur de puissance moyen d'une installation.

L'amélioration du facteur de puissance d'une installation, appelée compensation, présente de multiples avantages d'ordre économique et technique.

2. POURQUOI AMÉLIORER LE FACTEUR DE PUISSANCE ?

2.1 Diminution de la facture d'électricité

Le distributeur d'énergie électrique, propose en général des tarifs de facturation différents suivant la consommation de l'abonné :

- tarif jaune pour des puissances souscrites entre 36 et 250 kVA avec livraison en BT
- tarif vert pour des abonnés livrés en HT avec des puissances souscrites supérieures à 250 kVA.

Dans les deux tarifs la diminution de la consommation d'énergie réactive, avec l'amélioration du facteur de puissance, est très sensible au niveau de la facturation :

Le distributeur d'énergie électrique par exemple pénalise les abonnés pour un $\cos \varphi < 0,93$

($\tan \varphi = 0,4$), dans le tarif vert, comptage en HT.

2.2 Avantages économiques

Ils matérialisent l'impact de la compensation sur une installation et permettent d'évaluer le temps de retour de l'investissement consenti pour compenser. Ces avantages sont les suivants :

- Suppression de la facturation des consommations excessives d'énergie réactive
- Réduction de la puissance souscrite en kVA
- Diminution de l'énergie active consommée en kWh

2.3 Avantages techniques

Ils résultent de la réduction du courant réactif appelée

Ces avantages sont les suivants :

- Diminution de la chute de tension

Des charges à faible facteur de puissance alimentées par les lignes de distribution moyenne tension surchargées sont souvent à l'origine de chutes de tension. Celles-ci sont préjudiciables au bon fonctionnement des récepteurs même si la tension en tête de ligne est correcte.

La présence d'une batterie de condensateurs en bout de ligne en permettra la diminution. Le maintien relatif de la tension en bout de ligne est définie par la formule suivante :

$$\Delta \% = (XL \times Q) / (10 U^2)$$

XL = réactance de la ligne en Ω

Q = puissance réactive de la batterie de condensateur en kvar

U = tension nominale des condensateurs en Kv.

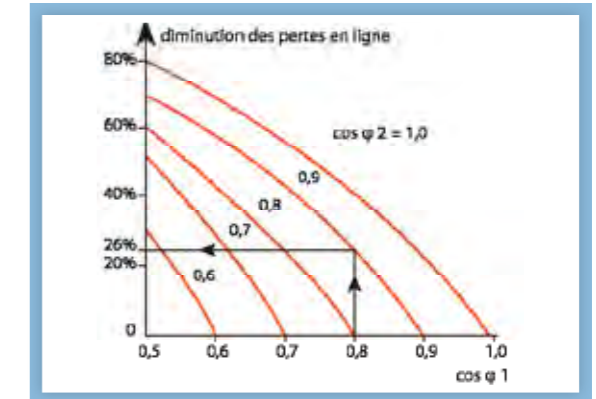
- Diminution des pertes en ligne à puissance active constante

Les pertes dues à la résistance des conducteurs sont intégrées dans la consommation enregistrée par les compteurs d'énergie active (kWh).

Elles sont proportionnelles au carré du courant transporté et diminuent au fur et à mesure que le facteur

de puissance augmente.

Le graphique ci-dessous donne, en fonction de l'amélioration du facteur de puissance, le pourcentage de diminution des pertes en ligne à puissance active constante.



- Augmentation de la puissance active disponible au secondaire des transformateurs

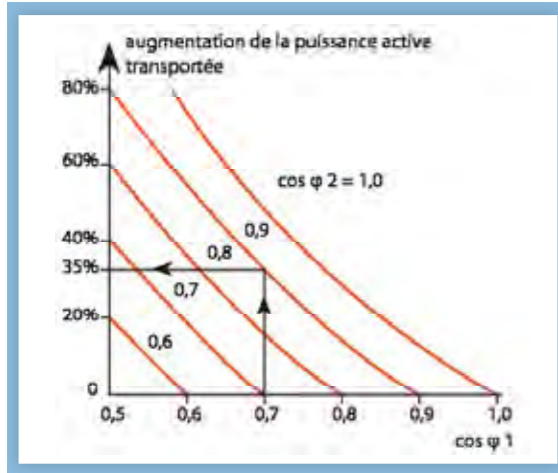
L'installation de moyens de compensation aux bornes aval d'un transformateur surchargé permet de dégager une réserve de puissance utilisable pour une extension éventuelle de l'usine sans avoir à changer le transformateur et ainsi de différer un investissement important.

- Augmentation de la puissance active transportée par les lignes à pertes égales

Un accroissement d'activité oblige souvent à transporter une puissance active plus importante afin de satisfaire aux besoins énergétiques des récepteurs.

La mise en place de batterie condensateurs lorsque la charge du réseau électrique est relativement faible ($\cos \varphi$ entre 0,5 et 0,8) en permettra le transport sans modification des lignes électriques existantes.

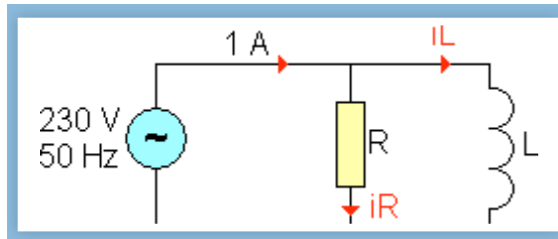
Le graphique ci-dessous donne, en fonction de l'amélioration du facteur de puissance, le pourcentage d'augmentation de la puissance transportée à pertes actives égales.

**Exemple :**

Si avant compensation, $\cos \varphi_1 = 0,7$ et après compensation $\cos \varphi_2 = 0,9$ on gagne 35 % de puissance transportée à pertes actives égales.

Exercice :

Une source de tension sinusoïdale 230 V / 50 Hz fournit une puissance de 100 W et un courant de 1 A. Déterminer les valeurs de R et de L et l'intensité des courants i_L et i_R

**Solution :**

$$i_R = \frac{U}{R} = \frac{230}{530} = 0,43 \text{ A}$$

$$L\omega = \frac{U}{i_L} = \frac{230}{0,9} = 255 \Omega$$

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{230^2}{100} = 530 \Omega$$

$$i_L = \sqrt{1 - 0,43^2} = 0,90 \text{ A}$$

$$L = \frac{255}{2 \times \pi \times 50} = 810 \text{ mH}$$

2.4 Evaluation économique de la compensation

L'intérêt économique de la compensation est mesuré en comparant coût d'installation des batteries de condensateurs aux économies qu'elles procurent.

Coût des batteries de condensateurs

Le coût des batteries de condensateurs dépend de plusieurs paramètres dont :

- Le niveau de tension ;
- La puissance installée ;
- Le fractionnement en gradin ;
- Le mode de commande ;
- Le niveau de qualité de la protection.

Les condensateurs peuvent être installés en basse tension. On retiendra que :

- La compensation en moyenne tension devient économiquement intéressante lorsque la puissance à installer est supérieure à 800 kvar ;
- En deçà de cette valeur, la compensation se fera, si possible, de préférence en basse tension.

2.5 Optimisation des choix technico économiques**Diminution de la section des câbles**

La puissance active transportée par un câble diminue lorsque le facteur de puissance s'éloigne de 1.

Pour une même puissance active à fournir la diminution du facteur de puissance impose le choix de câbles de plus grande section.

Diminution des pertes en ligne

Un bon facteur de puissance permet une diminution des pertes en ligne à puissance active constante. Les pertes wattées (dues à la résistance des conducteurs) sont intégrées dans la consommation enregistrée par les compteurs d'énergie active (kWh) et sont proportionnelles au carré du courant transporté.

Réduction de la chute de tension

L'amélioration du facteur de puissance diminue l'énergie réactive transportée et de ce fait diminue les chutes de tension en ligne.

Augmentation de la puissance disponible

La puissance active disponible au secondaire d'un transformateur est d'autant plus grande que le facteur de puissance de l'installation est élevé.

3. Comment compenser une installation ?**3.1 Principe de la compensation**

Compenser une installation consiste à installer une source d'énergie réactive de compensation qui permet d'améliorer le facteur de puissance de l'installation.

La figure (Fig 1) traduit la représentation vectorielle de la compensation.

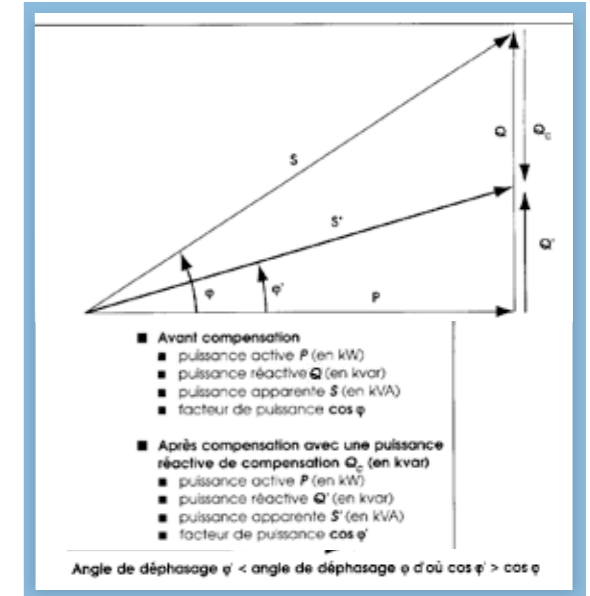


Fig 1 : Schéma de principe de la compensation

Principe théorique :

Le fait d'installer un condensateur générateur d'énergie réactive est un moyen (simple, souple et vite amorti) de s'assurer d'un bon facteur de puissance. Cela s'appelle *compenser une installation*.

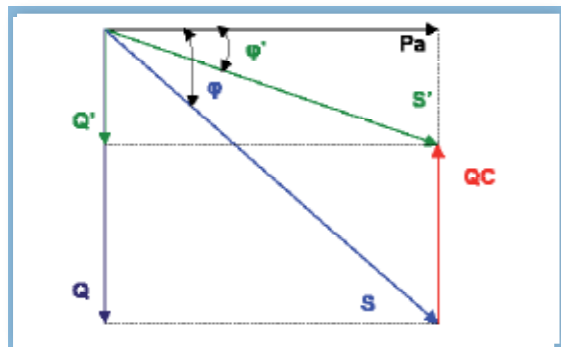


Fig 2 : Schéma de principe de la compensation

$$Qc = Pa (tg\phi - tg\phi')$$

La figure ci-dessus illustre le principe de compensation de la puissance réactive Q d'une installation à une valeur plus faible Q' par la mise en œuvre d'une batterie de condensateurs de puissance Qc. Dans le même temps, la puissance apparente passe de S à S'.

3.2 Calcul de la puissance des condensateurs de compensation

Sur une installation de puissance réactive Q, et de puissance apparente S, on installe une batterie de condensateurs de puissance Qc.

La puissance réactive passe de Q à Q' : $Q' = Q - Qc$

La puissance apparente passe de S à S'.

La puissance apparente après compensation S' est donc diminuée.

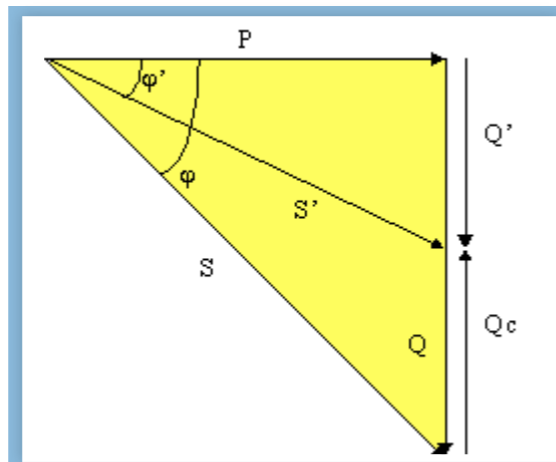


Fig 3 : La capacité des condensateurs se calcule par :

$$C = \frac{Qc}{3 \cdot U^2 \cdot \omega}$$

3.3 Avec quoi compenser ?

Moyens de compensation

La compensation peut se faire en **basse tension** ou en **haute tension** en utilisant des condensateurs. En **basse tension** la compensation est réalisée avec deux familles de produits :

- Les condensateurs de valeurs fixes ou condensateurs fixes,
- Les équipements à régulation automatique ou batteries automatiques qui permettent d'ajuster en permanence la compensation aux besoins de l'installation. Lorsque la puissance à installer est supérieure à 800 kvar avec une charge stable et continue, il peut être plus économique de choisir des batteries de condensation haute tension à installer sur le réseau. (Rappel : $q = u^2 \cdot cu$ d'où pour une même valeur de q, réduction de la capacité et coût moins élevé du condensateur).

Condensateurs fixes (Fig 3)

Ces condensateurs sont d'une puissance unitaire constante et leur mise en œuvre peut être :

- Manuelle : commande par disjoncteur ou interrupteur ;
- Semi-automatique : par contacteur ;
- Directe : asservie aux bornes d'un récepteur.

Ils s'utilisent :

- Aux bornes des récepteurs de type inductifs (moteurs et transformateurs) ;
- Sur un jeu de barres où se trouvent de nombreux petits moteurs dont la compensation individuelle serait trop coûteuse ;
- Dans le cas où la fluctuation de charge est faible.



Fig 4 : exemple de condensateurs fixes

Batterie de condensateurs à régulation automatique (Fig 4)

Ce type d'équipement permet l'adaptation automatique de la puissance réactive fournie par les batteries de condensateurs en fonction d'un cos phi désiré et imposé en permanence.

Il s'utilise dans le cas où la puissance réactive consommée ou la puissance active varie dans des proportions importantes, c'est-à-dire essentiellement :

- Aux bornes des tableaux généraux BT,
- Pour les gros départs.



Fig 4 : exemple de batterie à régulation automatique

Principe et intérêt de la compensation automatique

Installées en tête de l'ensemble de la distribution BT ou d'un secteur important, les batteries de condensateurs sont divisées en gradins.

La valeur du cos phi est détectée par un relais varométrique qui commande automatiquement l'enclenchement et le déclenchement des gradins en fonction de la charge et du cos phi désiré.

Le transformateur de courant doit être placé en amont des récepteurs et des batteries de condensateurs.

La compensation automatique permet l'adaptation immédiate de la compensation aux variations de la charge et évite, ainsi, le renvoi d'énergie réactive sur le réseau ONE et les surtensions dangereuses pour les circuits d'éclairage lors des marches à faible charge de l'installation.

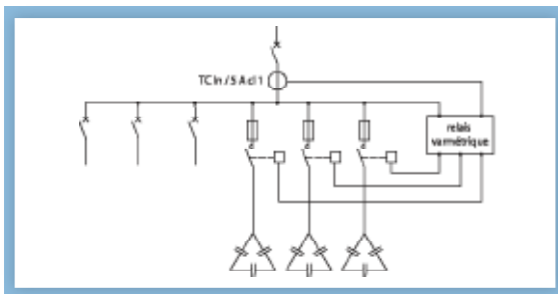


fig 5 : Principe de la compensation automatique d'une installation

3.4 Choix entre condensateurs fixes ou batteries à régulation automatique

Règles pratiques

Si la puissance des condensateurs (kvar) est inférieure à 15% de la puissance du transformateur, choisir des condensateurs fixes.

Si la puissance des condensateurs (kvar) est supérieure à 15% de la puissance du transformateur, choisir une batterie de condensateurs à régulation automatique.

Protection des condensateurs

La mise en service d'un condensateur équivaut à un court-circuit pendant son temps de charge ou de décharge. Les disjoncteurs de protection sont donc choisis avec déclencheurs à seuil instantané élevé.

Exemples de matériel



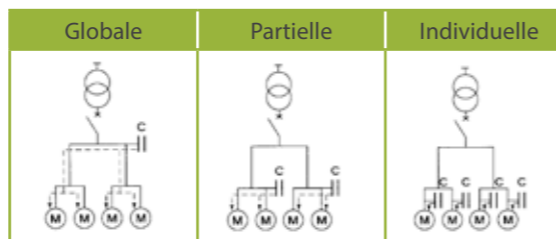
4. Où compenser ?

La localisation des condensateurs BT sur un réseau électrique constitue ce que l'on appelle le mode de compensation. La compensation d'une installation peut être réalisée de différentes façons.

Cette compensation peut être globale, partielle (par secteur), ou locale (individuelle). En principe, la compensation idéale est celle qui permet de compenser l'énergie réactive à l'endroit même où elle est consommée et en quantité ajustée à la demande. Des critères technico-économiques en déterminent le choix.

Modes de compensation

La compensation peut être :



Globale : La batterie de condensateurs est raccordée en tête de l'installation et reste en service de façon permanente et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation. Ce mode de compensation convient lorsque la charge est stable et continue.

- **Partielle** : la batterie de condensateurs est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier ou par groupe de récepteur. Ce mode de compensation convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.
- **Individuelle** : La batterie de condensateurs est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur du type inductif, notamment les moteurs. Elle convient lorsque la puissance de certains récepteurs est très importante par rapport à la puissance totale, elle offre le plus d'avantages.

4.1 Compensation globale

Intérêt

Le foisonnement naturel de l'installation entraîne un dimensionnement faible de la batterie et un nombre élevé d'heures de fonctionnement. Elle est donc amortie encore plus rapidement.

De plus, ce type de compensation :

- Supprime les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive ;
- Diminue la puissance apparente (ou appelée) en l'ajustant au besoin réel en kW de l'installation ;
- Soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).

Remarques

- Le courant réactif est présent dans l'installation du niveau 1 jusqu'aux récepteurs ;
- Les pertes par effet joule (kWh) dans les câbles situés en aval et leur dimensionnement ne sont de ce fait pas diminuées.

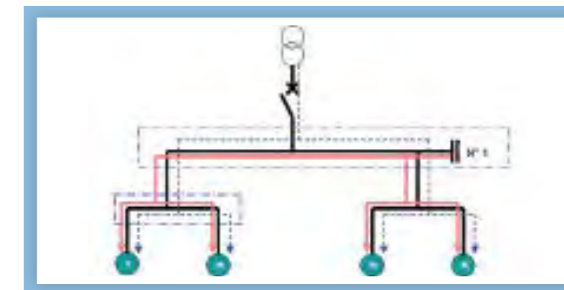


fig 6 : Compensation globale

4.2 Compensation partielle

Principe

La batterie est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier ou par groupes de récepteurs.

Une grande partie est soulagée, en particulier les câbles d'alimentation de chaque atelier.

Intérêt

De plus, ce type de compensation :

- Supprime les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive ;
- Soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW) ;
- Optimise une partie du réseau, le courant réactif n'étant pas véhiculé entre les niveaux 1 et 2.

Remarques

- Le courant réactif est présent dans l'installation du niveau 2 jusqu'aux récepteurs ;
- Les pertes par effet joule (kWh) dans les câbles sont ainsi diminuées ;
- Il y a risque de surcompensation par suite de variations de charge importante (ce risque est éliminé par la compensation automatique avec batterie composée de gradin).

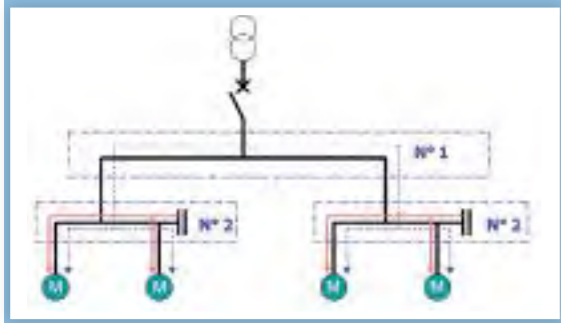


fig 7 : Compensation partielle

4.3 Compensation individuelle

Principe

La batterie est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur de type inductif.

Cette compensation individuelle est à envisager lorsque la puissance du moteur est importante par rapport à la puissance souscrite.

Un complément, en tête de l'installation, n'est pas à exclure (transformateur).

Intérêt

De plus, ce type de compensation :

- Supprime les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive ;
- Soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).
- Diminue le dimensionnement des câbles et réduit les pertes par effet joule (kWh).

Remarques

- Le courant réactif n'est plus présent dans les câbles de l'installation.

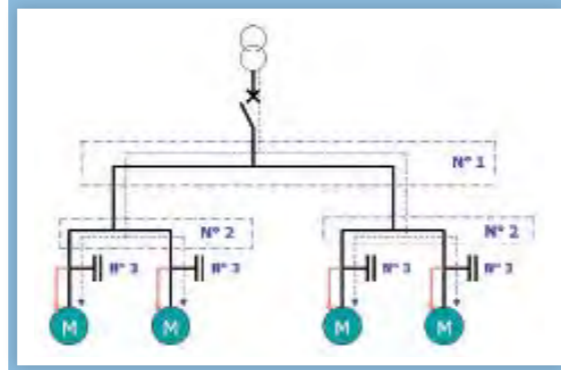


Fig 8 : Compensation individuelle

5. COMPENSATION AUX BORNES D'UN TRANSFORMATEUR

5.1 Compensation pour accroître la puissance disponible

La puissance active disponible au secondaire d'un transformateur est d'autant plus élevée que le facteur de puissance de l'installation est plus grand.

Il est par conséquent intéressant, en prévision d'extensions à venir, ou au moment même d'une extension, de relever le facteur de puissance (jusqu'à des valeurs pouvant être nettement supérieures à $\cos\phi = 0.85$ qui correspond à la valeur courante de 15% d'énergie réactive) et d'éviter ainsi l'achat d'un nouveau transformateur.

Le tableau (T1) donne directement la puissance active en kW que peut débiter un transformateur à pleine charge en fonction du facteur et, donc, par différence, l'augmentation de puissance disponible dans le cas de modification du facteur de puissance.

Exemple :

Une installation est alimentée par un transformateur de 630 kVA qui fournit une puissance active $P1 = 450$ KW sous un $\cos\phi$ moyen de 0.8.

(Puissance apparente $S1 = 450/0.8 = 562$ kVA)

(Puissance réactive $Q1 = \sqrt{S1^2 - P1^2} = 337$ kvar)

L'extension envisagée nécessite une puissance active supplémentaire $P2 = 100$ KW avec un $\cos\phi$ de 0.7

(Puissance apparente $S2 = 100/0.7 = 143$ kVA)

(Puissance réactive $Q2 = \sqrt{S2^2 - P2^2} = 102$ kvar)

Quelle est la puissance minimale de la batterie de condensateurs à installer pour éviter le remplacement du transformateur ?

Puissance active totale à fournir :

$$P = P1 + P2 = 550 \text{ KW.}$$

Puissance réactive maximale que peut fournir le transformateur de 630 Kva :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{630^2 - 550^2} = 307 \text{ kvar}$$

Puissance réactive totale à fournir à l'installation avant compensation :

$$Q1 + Q2 = 337 + 102 = 439 \text{ kvar.}$$

D'où la puissance minimale de la batterie à installer :

T 1: Puissance active en kW que peut débiter un transformateur à pleine charge

en fonction du facteur de puissance

tgφ	cosφ	puissance nominale du transformateur (en kva)											
		100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0,00	1,00	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0,20	0,98	98	157	245	309	392	490	617	784	980	1225	1568	1960
0,29	0,96	96	154	240	302	384	480	605	768	960	1200	1536	1960
0,36	0,94	94	150	235	296	376	470	592	752	940	1175	1504	1920
0,43	0,92	92	147	230	290	368	460	580	736	920	110	1472	1880
0,48	0,90	90	144	225	284	360	450	567	720	900	1125	1440	1840
0,54	0,88	88	141	220	277	352	440	554	704	880	1100	1408	1800
0,59	0,86	86	138	215	271	344	430	541	688	860	1075	1376	1760
0,65	0,84	84	134	210	265	336	420	529	672	840	1050	1344	1720
0,70	0,82	82	131	205	258	328	410	517	656	820	1025	1312	1680

$$Q_{\text{kvar}} = 439 - 307 = 132 \text{ kvar.}$$

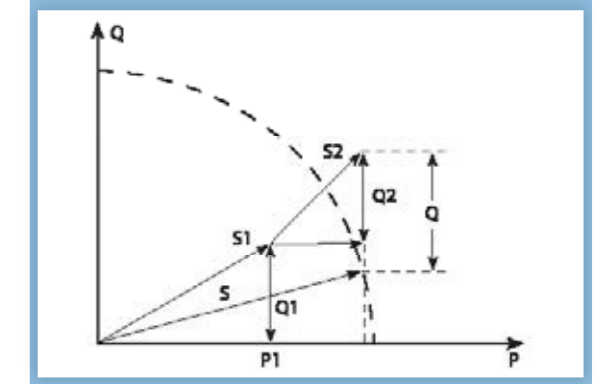


Fig 9 : La compensation Q permet l'extension envisagée S2

Sans avoir à remplacer le transformateur qui ne peut délivrer une puissance supérieure à S.

0,75	0,80	80	128	200	252	320	400	504	640	800	1000	1280	1640
0,80	0,78	78	125	195	246	312	390	491	624	780	975	1248	1600
0,86	0,76	76	122	190	239	304	380	479	608	760	950	1216	1560
0,91	0,74	74	118	185	233	296	370	46	592	740	925	1184	1520
0,96	0,72	72	115	180	227	288	360	454	576	720	900	1152	1440
1,02	0,70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1120	1400

5.2 Compensation de l'énergie réactive absorbée par le transformateur seul

Un transformateur absorbe de l'énergie réactive pour assurer son fonctionnement.

Sa compensation est fonction de son courant magnétisant à vide ou en charge.

La compensation de l'énergie réactive du transformateur seul est obtenue en raccordant directement et en permanence aux bornes du secondaire une batterie de condensateurs sans appareil de coupure automatique.

Le tableau 2 indique la consommation d'énergie réactive des transformateurs de distribution de tension primaire 22 kV.

Cette compensation doit être ajoutée à celle de l'installation située en aval (cette dernière permettant un accroissement de la puissance disponible du transformateur).

Puissance kVA	Puissance réactive A vide kvar	A compenser A pleine charge kvar
100	2.5	6.1
160	3.7	9.6
250	5.3	14.7
315	6.3	18.4
400	7.6	22.9
500	9.5	28.7
630	11.3	35.7
800	20	54.5

1000	23.9	72.4
1250	27.4	94.5
1600	31.9	126.2
2000	37.8	176

Tableau 2 : consommation d'énergie réactive des transformateurs de Distribution – tension primaire 22 Kv.

Exemple : pour un transformateur 630 KVA, 22 kv, il est possible de compenser entre 11.3 et 35.7 kvar.

Exercice

Un transformateur de 630 kVA qui alimente déjà une charge de 450 kW avec un $\cos\phi = 0,8$ peut-il alimenter en plus une charge de 150 kW avec un $\cos\phi = 0,7$?

Situation initiale	+ extension	Au total
P1 =	P2 =	PT =
Q1 =	Q2 =	QT =
S1 =	S2 =	ST =

Déterminer la puissance réactive de compensation qui permettrait de conserver le transformateur.

6. Compensation aux bornes d'un moteur asynchrone

6.1 Branchement de la batterie de condensateurs et protections

Précaution générale

Le $\cos\phi$ des moteurs est très mauvais à vide ou à faible charge ; il conviendra donc d'éviter ce type de fonctionnement en l'absence de compensation.

Branchement

La batterie est raccordée directement aux bornes du moteur

Démarrage

Si le moteur démarre à l'aide d'un appareillage spécial (résistance, inductance, dispositif étoile-triangle, auto-transformateur), la batterie de condensateurs ne doit être mise en service qu'après le démarrage.

Moteurs spéciaux

Le courant en amont de l'ensemble moteur-condensateur devient inférieur au courant avant compensation, car les condensateurs fournissent une part de l'énergie consommée par le moteur (fig 10).

Lorsque la protection du moteur contre les surcharges est située en amont de l'ensemble moteur-condensateur, le réglage de cette protection doit être abaissé dans le rapport : $\cos\phi$ avant compensation / $\cos\phi$ après compensation

En compensant les moteurs avec puissance en kvar correspondant aux valeurs indiquées dans le tableau 4 (valeurs maximales pouvant être installées sur un moteur asynchrone sans risque d'auto-excitation), ce rapport a environ la valeur indiquée dans le tableau 3.

Vitesse en t/mn	Coefficient de réduction
750	0.88
1000	0.90
1500	0.91
3000	0.93

Tableau 3 : coefficient de réduction du réglage de la protection d'un moteur compte tenu de la compensation

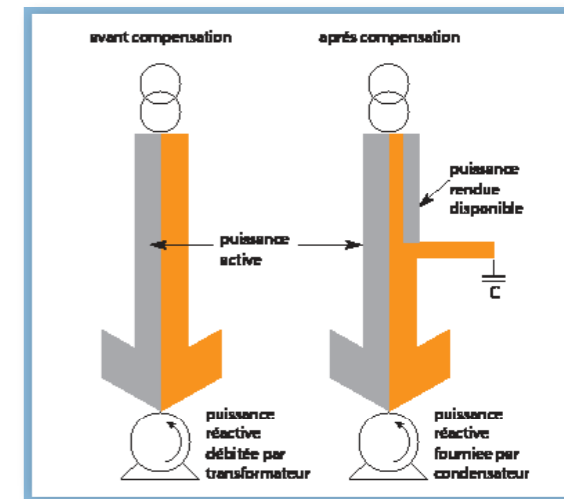


Fig10: A gauche le transformateur fournit toute l'énergie réactive,

A droite la batterie de condensateur y contribue.

6.2 Comment éviter l'auto-excitation des moteurs asynchrones ?

Lorsqu'un moteur entraîne une charge de grande inertie il peut, après coupure de la tension d'alimentation, continuer à tourner en utilisant son énergie cinétique et être auto-excité par une batterie de condensateurs montée a ses bornes. Ceux-ci lui fournissent l'énergie réactive nécessaire à son fonctionnement en génératrice asynchrone.

Cette auto-excitation provoque un maintien de la tension et parfois des surtensions élevées.

Pour éviter ce phénomène, il faut s'assurer que la puissance de la batterie est inférieure à la puissance nécessaire à l'auto-excitation du moteur, en vérifiant :

$Q_c \leq 0.9 i_o U_n \sqrt{3}$ (i_o courant à vide du moteur). Le tableau 4 donne les valeurs de Q_c correspondantes.

A un moteur de 75 KW, 3000 t/mn, le tableau 4 indique qu'on peut associer au plus 17 kvar. Cette puissance est en général insuffisante pour remonter le cos φ au niveau souhaité ; le complément sera intégré à la batterie principale compensant les autres charges.

Moteur triphasé : 230/400 v					
Puissance nominale		Puissance (kvar) à installer			
		Vitesse de rotation (t/mn)			
kW	ch	3000	1500	1000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7.5	10	11	12.5
37	50	9	11	12.5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	55	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

Tableau 4 : puissance maximale en kvar pouvant être installée sur un moteur asynchrone sans risque d'auto-excitation

7 EVALUATION DE L'INSTALLATION AVANT ET APRÈS LA COMPENSATION:

7.1 Comparaison technico-économique d'une installation avant et après compensation

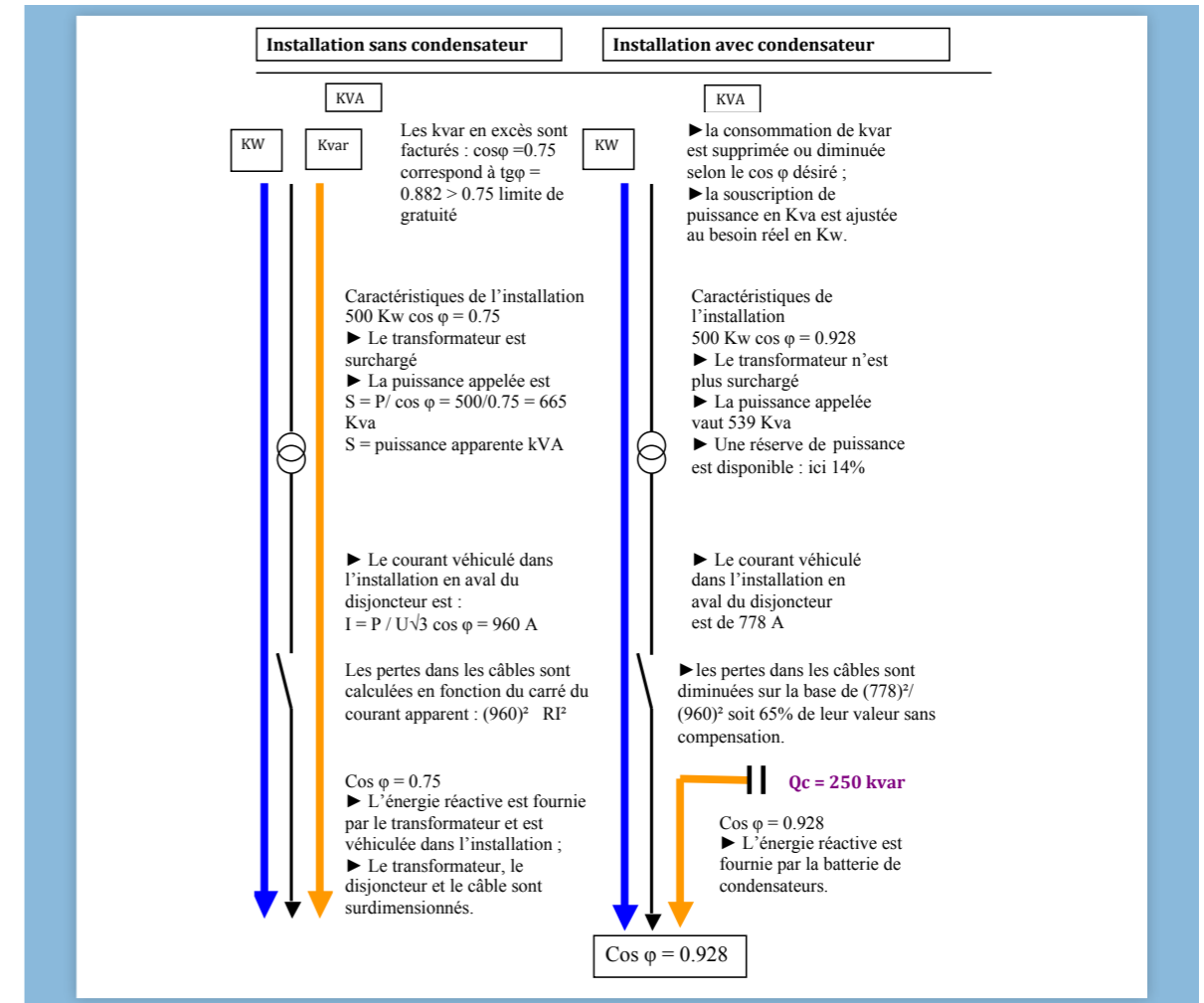


fig. 11 : Comparaison technico-économique d'une installation avant et après compensation

8. Dimensionnement d'une batterie de condensateurs en présence d'harmonique :

8.1 Problèmes posés par les harmoniques

Les équipements faisant appel à l'électronique de puissance (moteurs à vitesse variable, redresseurs statiques, etc...), les ballasts de tubes fluorescents sont responsables de la circulation d'harmoniques sur le réseau.

Ces harmoniques perturbent le fonctionnement de nombreuses machines ou appareillages électroniques. Les condensateurs en particulier, y sont extrêmement sensibles du fait que leur impédance décroît proportionnellement au rang des harmoniques présents.

Si la fréquence propre de l'ensemble condensateur-réseau est proche d'un rang harmonique, il y aura alors résonance amplifiant l'harmonique correspondant.

Dans ce cas particulier, le courant résultant provoquera l'échauffement puis le claquage du condensateur.

Un certain nombre de solutions sont possibles pour limiter ces risques et permettre le bon fonctionnement du condensateur.

Il conviendra aussi de vérifier si la coexistence entre les condensateurs et les générateurs d'harmoniques n'entraînent pas un taux de distorsion incompatible avec le bon fonctionnement des équipements de l'usine.

8.2 Solutions possibles

Contre les effets des harmoniques

La présence d'harmoniques se traduit par une majoration du courant dans le condensateur qui est cependant conçu pour un courant efficace de 1.3 fois son courant assigné.

Tous les éléments en série (appareillage et liaisons) seront calibrés entre 1.3 et 1.5 fois le courant assigné.

Contre les phénomènes de résonance

Les condensateurs ne sont pas en eux-même générateurs

d'harmoniques. Par contre, lorsqu'un réseau comporte des harmoniques, la présence d'un condensateur amplifie plus ou moins certains de ces harmoniques. Cela fait apparaître une résonance dont la fréquence est fonction de l'impédance du réseau (ou de la puissance de court-circuit).

La valeur de la fréquence propre est $\sqrt{S_{cc}/Q}$

S_{cc} = puissance de court-circuit du réseau en Kva

Q = puissance de la batterie de condensateurs en kvar.

Cette résonance aura d'autant plus d'effet que $\sqrt{S_{cc}/Q}$ est proche de la fréquence des harmoniques de rang n présents.

La surcharge en courant pourra provoquer l'échauffement puis le vieillissement prématuré du condensateur.

Pour palier ces phénomènes on utilisera :

- Des condensateurs surdimensionnés en tension, par exemple 440 v pour un réseau 400 v.
- Des selfs anti-harmoniques associées aux condensateurs.

La self anti-harmonique associée en série constitue un ensemble accordé à 190 Hz pour un réseau 50 Hz (ou 228 Hz pour un réseau 60 Hz).

Cela permet à la fois de réduire les tensions harmoniques aux bornes du condensateur et les courants de surcharge qui les traversent.

8.3 Choix des solutions

Élément pris en compte

Le choix se fait à partir des éléments suivants :

G_h = puissance en KVA de tous les générateurs d'harmoniques (convertisseurs statiques, onduleurs, variateurs de vitesse) alimentées par le même jeu de barres que les condensateurs.

Si la puissance des générateurs est connue en kW, on divisera par 0.7 (valeur moyenne de facteur de

puissance) pour obtenir G_h ;

- S_{cc} = puissance de court-circuit réelle (KVA).
- S_n = puissance du (des) transformateurs en parallèle, l'arrêt volontaire ou non d'un entre eux entraîne une diminution de S_n et de S_{cc} .

Choix d'une solution

A partir de ces éléments, le choix d'une solution limitant les contraintes harmoniques à un niveau acceptable pour les condensateurs est défini par le tableau 5.

Condensateurs alimentés en		
HT ou en		
BT par un transformateur de puissance $S_n > 2$ MVA		
$G_h \leq S_{cc}/120$	$S_{cc}/120 \leq G_h \leq S_{cc}/70$	$G_h > S_{cc}/70$
Condensateur standard	Tension condensateur majorée de 10% (sauf 230 v)	Tension condensateur majorée de 10% + self anti-harmoniques
Condensateurs alimentés en		
BT par un transformateur de puissance $S_n \leq 2$ MVA		
$G_h \leq 0.15 S_n$	$0.15 S_n \leq G_h \leq 0.25 S_n$	$G_h > 0.25 S_n$
Condensateur standard	Tension condensateur majorée de 10% (sauf 230 v)	Tension condensateur majorée de 10% + self anti-harmoniques

Tableau 5 : tableau de choix d'une solution limitant les harmoniques

Exemples

Trois cas sont considérés aboutissant respectivement à l'utilisation de condensateur standard, surdimensionné et de self anti-harmoniques.

Exemple 1 :

Puissance nominale du transformateur = 500 kVA

Tension de court-circuit = 4 %

Somme des puissances redressées $R = 50$ kVA

$S_{cc} = (500 \cdot 100) / 4 = 12500$ kVA

$S_{cc} / 120 = 12500 / 120 = 104$

$G_h = 50 \leq S_{cc} / 120$

Solution : utiliser des condensateurs standard.

Exemple 2 :

Puissance nominale du transformateur = 1000 kVA

Tension de court-circuit = 4 %

Somme des puissances redressées $R = 250$ kVA

$S_{cc} = (1000 \cdot 100) / 4 = 25000$ kVA

$S_{cc} / 120 = 25000 / 120 = 208$

$S_{cc} / 70 = 25000 / 70 = 357$

$G_h = 250$ compris entre $S_{cc} / 120$ et $S_{cc} / 70$

Solution : utiliser des condensateurs surdimensionnés (440v).

Exemple 3 :

Puissance nominale du transformateur = 630 kVA

Tension de court-circuit = 4 %

Somme des puissances redressées $R = 250$ kVA

$S_{cc} = (630 \cdot 100) / 4 = 15750$ kVA

$S_{cc} / 70 = 15750 / 70 = 225$

$G_h = 250 > S_{cc} / 70$

Solution : utiliser des selfs anti-harmoniques.

Dans ce cas les condensateurs seront surdimensionnés (440v).

9 Mise en œuvre des batteries de condensateurs

9.1 L'élément condensateur

Tous les condensateurs basse tension envisagée ici sont réalisés à partir d'éléments dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

Technologie

Le condensateur est de type sec (sans imprégnant) auto-cicatrisant avec diélectrique film polypropylène métallisé.

La protection interne est assurée par déconnecteur associé au fusible HPC garantissant la protection intrinsèque de la bobine monophasée contre les petits courants proche des valeurs du courant de court-circuit.

Capacité

La capacité nominale est respectée avec une tolérance allant de 0,95 à 1,5 fois la valeur annoncée.

Caractéristiques électriques

- Classe d'isolement : 36 Kv ;
- Tenue 50 Hz 1 mn : 3 Kv ;
- Tenue onde choc 1.2/50 us : 15 Kv ;
- Surtension de courte durée : 20% pendant 5 mn ;
- Surintensités dues aux harmoniques : 30%.

Facteur de perte

Le facteur de perte varie de 0,2-10 à 0,3-10 suivant la puissance. Cette valeur correspond à une puissance dissipée d'environ 0,3 W par kvar, y compris les résistances de décharge.

La résistance de décharge est intégrée au condensateur.

Normes

Les condensateurs relèvent des normes :

CEI 831 et NF C 54-104.

9.2 Choix des appareils de protection, de commande et des câbles de raccordement

Dimensionnement des composants

Le choix des câbles et de l'appareil de protection et commandes en amont des condensateurs dépend du courant absorbé.

Pour les condensateurs, le courant est fonction :

De la tension appliquée et de ses composantes harmoniques.

De la capacité.

Le courant nominal d'un condensateur de puissance Q branché sur un réseau de tension U_n est :

$$I_n = Q / \sqrt{3} U_n \text{ pour un réseau triphasé.}$$

Les variations admissibles de la valeur de la tension fondamentale et des composantes harmoniques peuvent conduire à une amplification du courant de 30%.

Les variations dues aux tolérances sur les condensateurs (normes NF C 54-104) peuvent conduire à une amplification du courant de 15%

L'effet cumulé des deux phénomènes fait que les composants doivent être dimensionnés pour $1,3 \cdot 1,15$ soit $1,5 \cdot I_n$.

Ce dimensionnement tient compte d'une température ambiante maximale de 50°C.

Dans le cas de températures plus élevées à l'intérieur des équipements, des déclassements sont à prévoir.

Protections :

L'enclenchement d'un condensateur équivaut à la fermeture sur un court circuit pendant le temps de décharge. Le courant de pointe est : $I_p = U \sqrt{2} \sqrt{C/L}$

- Pour un condensateur unitaire, l'impédance amont (câbles, transformateur) joue le rôle d'inductance de limitation de courant,

- Dans le cas d'une batterie automatique de condensateurs, la mise sous tension d'un gradin d'une batterie automatique s'accompagne d'un courant de décharge très important, en direction de la source, du aux condensateurs déjà sous tension.

Il a pour valeur : $I_p = \sqrt{2/3} U (n/n+1) \sqrt{C/L}$

I_p : courant crête déclenchement

U : tension composée du réseau

n : nombre de gradins sous tension

C : capacité d'un gradin

L : inductance de liaison entre jeu de barres et condensateur

Ce courant crête I_p doit rester inférieur à 100I

I : courant dans un gradin en régime permanent.

Pour rester en dessous de 100 I, il est parfois nécessaire d'installer des selfs de chocs

En conséquence, les disjoncteurs de protection seront toujours choisis avec déclencheurs à seuil instantané élevé.

Section des conducteurs

La norme UTE C 54-100 impose à toute batterie de condensateurs de pouvoir supporter en permanence une surcharge de 30 % due aux courants harmoniques.

En conséquence, les câbles d'alimentation, ainsi que les dispositifs de commande et de protection et ces batteries doivent également être surdimensionnés.

Pour une puissance de batterie de condensateurs donnée, les tableaux 6 et 7 indiquent :

- La section minimale du câble d'alimentation ;
- Le réglage minimal du disjoncteur Compact ou Multi 9 assurant les fonctions de commande et protection.

Puissance de la batterie (kvar)		Section (mm ²)	
220 V	380 V	Cu	Al
15	25	6	10
20	30	10	16
25	45	16	25
30	60	25	35
40	75	35	50
50	90	50	70
60	110	70	95
80	135	95	2x50
90	150	120	2x70
100	180	2x50	2x70
120	200	2x70	2x95
135	240	2x70	2x150
165	275	2x95	2x150
180	300	2x120	2x185
200	360	2x150	2x240
240	400	2x185	2x300

Tableau 6 : raccordement des batteries de condensateurs de moyennes et grandes puissances (câbles U1000 Ro2V ou U1000 R12N)

Choix des disjoncteurs

disjoncteur		C 32 N, H, L	C 100	C 125 N, L
calibre (A)		10 15 20 25 32	32 40 50 63 70 80	16 25 40 63 100 125
puissance batterie en kvar	tri 220 V	5	7,5 10 15 20	7,5 10 15 30 35
	tri 380 V	5,75 10	15 20 25 30 40	7,5 12,5 20 30 50 60

disjoncteur		C 160 N, H, L	C 250 N, H, L	C 250 N, H, L
calibre (A)		D25 D40 D63 D100 D160	D160 D200 D250	D250 D320 D400
puissance batterie en kvar	tri 220 V	10 15 30 40	40 50 70	70 80 100
	tri 380 V	12,5 20 30 50 75	75 90 120	120 150 190

disjoncteur		C 500 - H 500 - C 630 - H 630
calibre (A)		P320 P400 P500 P630
puissance batterie en kvar	tri 220 V	90 120 140 175
	tri 380 V	160 200 225 300

Tableau 7 : Réglage (ou calibre) minimal d'un disjoncteur Compact ou Multi 9 (pour un fonctionnement à 50°C) en fonction de la puissance de la batterie de condensateurs.

9.3 Cas pratique

Une usine de traitement de lait a une consommation d'énergie réactive maximale au mois de janvier. La facturation d'énergie réactive ne s'effectue ni pendant les 8 heures creuses, ni les samedis et dimanches. Il y a 22 jours facturés ce mois de janvier.

énergie réactive mesurée	énergie active mesurée	kvarh consommés	kvarh en franchise	kvarh à facturer
567 398 kvarh	927 641 kWh	567 398	371 056	196 342

Le nombre d'heures facturées est : $22 * 16 = 352$ h

L'énergie réactive facturée pendant cette période est 196 342 kvarh

La puissance réactive de la batterie de condensateurs est : $196\ 342 / 352 = 558$ kvar

On peut choisir 2 batteries de 280 kvar

Conclusion

La généralisation de la compensation d'énergie réactive permettrait de générer une économie d'énergie électrique pressentie en Efficacité Energétique Active et donc une réduction des émissions de CO₂/an.

Une simple lecture de la facture d'électricité (tarif vert) ou du feuillet de gestion (tarif jaune) permet de déterminer précisément la consommation et le coût d'énergie réactive.

Le gisement d'économies apparaît alors de façon flagrante quand est mise en regard la possibilité d'utiliser les équipements de compensation d'énergie réactive, disposition qui réduirait sensiblement la consommation énergétique.

La compensation d'énergie réactive est en effet l'exemple d'une solution éco-performante qui peut contribuer immédiatement à atteindre les objectifs fixés.

C'est à ce titre qu'il y a lieu de rappeler les avantages rappelés ci-dessous :

- Suppression de la facturation d'énergie réactive.
- Réduction des pertes d'énergie par effet Joule par diminution de l'intensité dans les câbles.
- Réduction des chutes de tension en bout de ligne.
- Augmentation de la puissance active disponible avec la même installation.
- Réduction des investissements sur les réseaux de transport et de distribution

De multiples exemples montrent que l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur de l'exploitation d'un réseau électrique, du producteur, transporteur,

distributeur d'énergie jusqu'au client final, est en mesure dans une convergence d'intérêt de bénéficier des avantages de cette disposition technologique.

Il convient en conséquence d'en favoriser le développement. La compensation d'énergie réactive systématisée dans l'ensemble de l'industrie avec un facteur de puissance ambitieux permettrait de générer une économie d'énergie substantielle accompagnée d'une réduction des émissions de CO₂ importante.

Afin d'en accélérer le développement, des mesures d'incitation doivent être suggérées examinées et adoptées sans retard.

Qualité de de l'Énergie Electrique

Thème n3°

AVANT PROPOS

L'une des propriétés particulières de l'électricité est que certaines de ses caractéristiques dépendent à la fois du producteur / distributeur d'électricité, des fabricants d'équipements et du client. Le nombre important de protagonistes et l'utilisation d'une terminologie et de définitions parfois approximatives expliquent en partie la complexité du sujet.

Ce cours décrit les phénomènes principaux qui dégradent la Qualité de l'Énergie Electrique (QEE), leurs origines, les conséquences sur les équipements et les solutions principales. Il propose une méthodologie de mesure de la QEE selon les différents objectifs. Illustré par des exemples pratiques de mise en œuvre de solutions, il démontre que seul le respect des règles de l'art et la mise en œuvre d'une méthodologie rigoureuse (diagnostics, études, solutions, mise en œuvre, maintenance préventive) permettent une qualité d'alimentation personnalisée et adaptée au besoin de l'utilisateur.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

La qualité de l'électricité est devenue un sujet stratégique pour les compagnies d'électricité, les personnels d'exploitation, de maintenance ou de gestion de sites tertiaires ou industriels, et les constructeurs d'équipements, essentiellement pour les raisons suivantes:

- La nécessité économique d'accroître la compétitivité pour les entreprises,
- La généralisation d'équipements sensibles aux perturbations de la tension et/ou eux-mêmes générateurs de perturbations,
- L'ouverture du marché de l'électricité.

La nécessité économique d'accroître la compétitivité pour les entreprises

- La réduction des coûts liés à la perte de continuité de service et à la non-qualité.

Le coût des perturbations (coupures, creux de tension, harmoniques, surtensions atmosphériques...) est élevé.

Ces coûts doivent prendre en compte le manque à produire, les pertes de matières premières, la remise en état de l'outil de production, la non-qualité de la production, les retards de livraison. Le dysfonctionnement ou l'arrêt de récepteurs prioritaires tels que les ordinateurs, l'éclairage et les systèmes de sécurité peuvent mettre en cause la sécurité des personnes (hôpitaux, balisage des aéroports, locaux recevant du public, immeubles de grande hauteur...).

Ceci passe aussi par la détection par anticipation des problèmes par une maintenance préventive, ciblée et optimisée. On constate de plus un transfert de responsabilité de l'industriel utilisateur vers le constructeur d'appareillage pour assurer la maintenance des sites ; le constructeur devient fournisseur du produit électricité.

- La réduction des coûts liés au surdimensionnement des installations et aux factures énergétiques.

D'autres conséquences plus insidieuses de la dégradation de la QEE sont :

- La réduction du rendement énergétique de l'installation, ce qui alourdit la facture énergétique,
- La surcharge de l'installation, d'où son vieillissement prématuré avec le risque accru de panne qui conduit à un surdimensionnement des équipements de distribution.

Et donc, les utilisateurs professionnels de l'électricité expriment le besoin d'optimiser le fonctionnement de leurs installations électriques.

La généralisation d'équipements sensibles aux perturbations de la tension et / ou eux mêmes générateurs de perturbations.

Du fait de leurs multiples avantages (souplesse de fonctionnement, excellent rendement, performances

élevées...) on constate le développement et la généralisation des automatismes, des variateurs de vitesse dans l'industrie, des systèmes informatiques, des éclairages fluo-compact dans le tertiaire et le domestique. Ces équipements ont la particularité d'être à la fois sensibles aux perturbations de la tension et générateurs de perturbations.

Leur multiplicité au sein d'un même procédé exige une alimentation électrique de plus en plus performante en termes de continuité et de qualité. En effet, l'arrêt temporaire d'un élément de la chaîne peut provoquer l'arrêt de l'outil de production (fabrication de semi-conducteurs, cimenterie, traitement de l'eau, manutention, imprimerie, sidérurgie, pétrochimie...) ou de services (centres de calcul, banques, télécommunications...).

En conséquence, les travaux de la CEI sur la compatibilité électromagnétique (CEM) conduisent à des normes et recommandations de plus en plus contraignantes (limitations des niveaux d'émission des perturbations...).

L'ouverture du marché de l'électricité

Les règles du jeu du secteur électrique ont ou vont évoluer en profondeur : ouverture à la concurrence de la production d'électricité, production décentralisée, possibilité pour les (gros) consommateurs d'électricité de choisir leur fournisseur.

Ainsi en 1985, la commission européenne a établi que l'électricité était un produit: ce qui rend nécessaire de bien en définir les caractéristiques essentielles.

Par ailleurs dans le contexte de la libéralisation du marché de l'énergie, la recherche de la compétitivité par les compagnies d'électricité fait que la qualité est un facteur différenciateur. Sa garantie peut être, pour un industriel, un critère de choix d'un fournisseur d'énergie.

1.2. Objectifs de la mesure de la qualité de l'énergie

Selon les applications, les paramètres à mesurer et la précision de la mesure ne sont pas les mêmes.

Application contractuelle

Des relations contractuelles peuvent s'établir entre fournisseur d'électricité et utilisateur final, mais aussi entre producteur et transporteur ou entre transporteur et distributeur dans le cadre d'un marché dérégulé. Une application contractuelle nécessite que les termes soient définis en commun et acceptés par les différentes parties. Il s'agit alors de définir les paramètres de mesure de la qualité et de comparer leurs valeurs à des limites prédéfinies voire contractuelles.

Cette application implique souvent le traitement d'un nombre important de données.

Maintenance corrective

Malgré le respect des règles de l'art (conception de schéma, choix des protections, du régime de neutre et mise en place de solutions adaptées) dès la phase de conception, des dysfonctionnements peuvent apparaître en cours d'exploitation:

- Les perturbations peuvent avoir été négligées ou sous-estimées,
- L'installation a évolué (nouvelles charges et / ou modification).

C'est généralement suite à ces problèmes qu'une action de dépannage est engagée. L'objectif est souvent d'obtenir des résultats aussi rapidement que possible, ce qui peut conduire à des conclusions hâtives ou infondées.

Des systèmes de mesure portatifs (sur des temps limités) ou des appareils fixes (surveillance permanente) facilitent le diagnostic des installations (détection et archivage des perturbations et déclenchement d'alarmes).

Optimisation du fonctionnement des installations électriques

Pour réaliser des gains de productivité (économies de fonctionnement et / ou réduction des coûts d'exploitation) il faut avoir un bon fonctionnement des procédés et une bonne gestion de l'énergie, deux facteurs qui dépendent de la QEE. Disposer d'une QEE adaptée aux besoins est un

objectif des personnels d'exploitation, de maintenance et de gestion de sites tertiaires ou industriels.

Des outils logiciels complémentaires assurant le contrôle-commande et la surveillance permanente de l'installation sont alors nécessaires.

Enquêtes statistiques

Cette étude nécessite une approche statistique sur la base de nombreux résultats obtenus par des enquêtes généralement réalisées par les exploitants de réseaux de transport et de distribution.

- Enquêtes sur les performances générales d'un réseau

Elles permettent, par exemple, de:

Planifier et cibler les interventions préventives grâce à une cartographie des niveaux de perturbations sur un réseau. Ceci permet de réduire les coûts d'exploitation ainsi qu'une meilleure maîtrise des perturbations. Une situation anormale par rapport à un niveau moyen peut être détectée et être corrélée avec le raccordement de nouvelles charges. Les tendances saisonnières ou des dérives peuvent aussi être étudiées.

- Comparer la QEE fournie par différents distributeurs en différents lieux géographiques. Des clients potentiels peuvent en effet demander des caractéristiques de fiabilité pour la fourniture de l'électricité avant d'installer de nouvelles usines.
- Enquêtes sur les performances en un point particulier du réseau

Elles permettent de :

- Déterminer l'environnement électromagnétique auquel une installation future ou un nouvel équipement sera soumis. Des actions d'amélioration du réseau de distribution et/ou de désensibilisation du réseau du client peuvent alors être engagées de façon préventive.
- Spécifier et vérifier les performances auxquelles le fournisseur d'électricité s'engage de façon contractuelle. Ces informations sur la qualité de

l'électricité sont particulièrement stratégiques pour les compagnies d'électricité qui dans le contexte de la libéralisation du marché de l'énergie recherchent la meilleure compétitivité, la satisfaction des besoins et la fidélisation de leurs clients.

2. Dégradation de la QEE : ORIGINES - CARACTÉRISTIQUES - DÉFINITIONS

2.1. Généralités

Les perturbations électromagnétiques susceptibles de perturber le bon fonctionnement des équipements et des procédés industriels sont en général rangées en plusieurs classes appartenant aux perturbations conduites et rayonnées :

- Basse fréquence (< 9 kHz),
- Haute fréquence (9 kHz),
- De décharges électrostatiques.

La mesure de QEE consiste habituellement à caractériser les perturbations électromagnétiques conduites basse fréquence (gamme élargie pour les surtensions transitoires et la transmission de signaux sur réseau):

- Creux de tension et coupures (voltage dips and interruptions),
- Harmoniques (harmonics), interharmoniques (interharmonics),
- Surtensions temporaires (temporary overvoltages),
- Surtensions (swell),
- Surtensions transitoires (transient overvoltages),
- Fluctuations de tension (voltage fluctuations),
- Déséquilibres de tension (voltage unbalance),
- Variations de la fréquence d'alimentation (power-frequency variations),
- Tension continue dans les réseaux alternatifs (d.c. in a. c. networks),

- Tensions de signalisation (signalling voltages).
- Il n'est en général pas nécessaire de mesurer l'ensemble de ces perturbations.
- Elles peuvent être groupées en quatre catégories selon qu'elles affectent l'amplitude, la forme d'onde, la fréquence et la symétrie de la tension. Plusieurs de ces caractéristiques sont souvent modifiées simultanément par une même perturbation. Elles peuvent aussi être classées selon leur caractère aléatoire (foudre, court-circuit, manœuvre...) permanent ou semi-permanent.

2.2. Creux de tension et coupures

Définitions

Un creux de tension est une baisse brutale de la tension en un point d'un réseau d'énergie électrique, à une valeur comprise (par convention) entre 90 % et 10 % (CEI 1-2-61000, CENELEC EN 50160), ou entre 90 % et 10 % (IEEE 1159) d'une tension de référence (U_{ref}) suivie d'un rétablissement de la tension après un court laps de temps compris entre la demi-période fondamentale du réseau (10 ms à 50 Hz) et une minute (cf. fig. 1a).

La tension de référence est généralement la tension nominale pour les réseaux BT et la tension déclarée pour les réseaux MT et HT.

Une tension de référence glissante, égale à la tension avant perturbation, peut aussi être utilisée sur les réseaux MT et HT équipés de système de réglage (régleur en charge) de la tension en fonction de la charge. Ceci permet d'étudier (à l'aide de mesures simultanées dans chaque réseau) le transfert des creux entre les différents niveaux de tension.

La méthode habituellement utilisée pour détecter et caractériser un creux de tension est le calcul de la valeur efficace « rms (1/2) » du signal sur une période du fondamental toutes les demi-périodes (recouvrement d'une demi-période) (cf. fig. 1b).

Les paramètres caractéristiques (cf. fig. 1b) d'un creux de tension sont donc :

- Sa profondeur : ΔU (ou son amplitude U),
- Sa durée ΔT , définie comme le laps de temps pendant lequel la tension est inférieure à 90 %.

On parle de creux de tension à x % si la valeur rms(1/2) passe en dessous de x % de la valeur de référence U_{ref} .

Les coupures sont un cas particulier de creux de tension de profondeur, supérieures à 90% (IEEE) ou 99 % (CEI-CENELEC). Elles sont caractérisées par un seul paramètre : la durée.

- Les coupures brèves sont de durée inférieure à 3 minutes (CENELEC), ou une minute (CEI-IEEE), elles sont notamment occasionnées par les réenclenchement automatiques lents destinés à éviter les coupures longues (réglés entre 1 et 3 minutes) ; les coupures longues sont de durée supérieure. Les coupures brèves et les coupures longues sont différentes tant du point de vue de l'origine que des solutions à mettre en œuvre pour s'en préserver ou pour en réduire le nombre.

- Les perturbations de tension de durée inférieure à la demi-période fondamentale T du réseau ($T < T/2$) sont considérées comme étant des transitoires.
- Les Américains utilisent différents adjectifs pour qualifier les creux de tension (sag ou dip) et les coupures (interruption) selon leur durée:
 - Instantané (instantaneous) ($T/2 < T < 30 T$),
 - Momentané (momentary) ($30 T < T < 3 s$),
 - Temporaire (temporary) ($3 s < T < 1 \text{ min}$),
 - Maintenue (sustained interruption) et sous-tension (undervoltage) ($T > 1 \text{ min}$).

En fonction du contexte, les tensions mesurées peuvent être entre conducteurs actifs (entre phases ou entre phase et neutre), entre conducteurs actifs et terre (Ph/terre ou neutre/terre), ou encore entre conducteurs actifs et conducteur de protection.

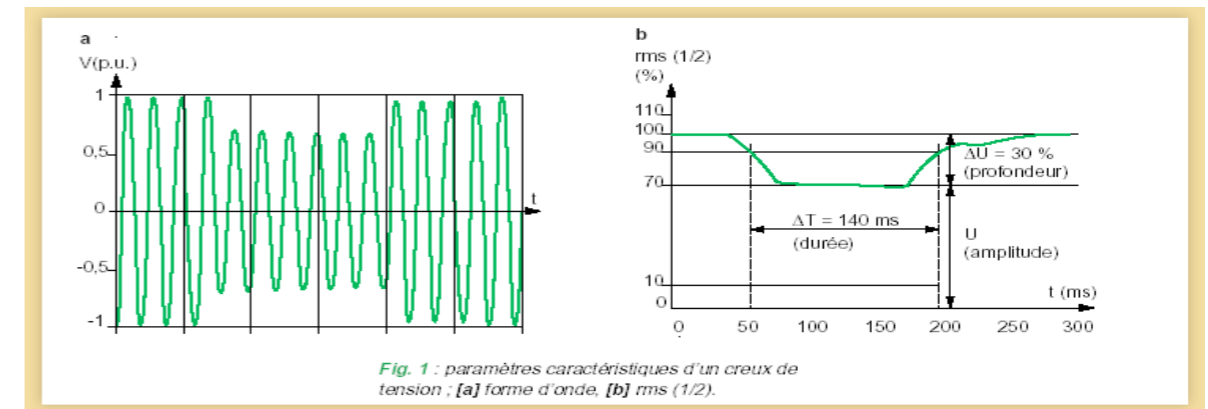
Dans le cas d'un système triphasé, les caractéristiques U et T sont en général différentes sur les trois phases.

C'est la raison pour laquelle un creux de tension doit être détecté et caractérisé séparément sur chacune des phases.

Un système triphasé est considéré comme subissant un creux de tension si au moins une phase est affectée par cette perturbation.

Origine

- Les creux de tension et les coupures brèves sont principalement causés par des phénomènes conduisant à des courants élevés qui provoquent à travers les impédances des éléments du réseau une chute de tension d'amplitude d'autant plus faible que le point d'observation est électriquement éloigné de la source de la perturbation.



L'apparition des défauts provoque des creux de tension pour tous les utilisateurs. La durée d'un creux est en général conditionnée par les temporisations de fonctionnement des organes de protection. L'isolement des défauts par les dispositifs de protections (disjoncteurs, fusibles) provoquent des coupures (brèves ou longues) pour les utilisateurs alimentés par la section en défaut du réseau. Bien que la source d'alimentation ait disparu, la tension du réseau peut être entretenue par la tension résiduelle restituée par les moteurs asynchrones ou synchrones en cours de ralentissement (pendant 0,3

Les creux de tension et les coupures brèves ont différentes causes:

- Des défauts sur le réseau de transport (HT) de distribution (BT et MT) ou sur l'installation elle-même.

à 1 s) ou la tension due à la décharge des condensateurs branchés sur le réseau.

Les coupures brèves sont souvent le résultat du fonctionnement des automatismes de réseau tels que les réenclencheurs rapides et/ou lents, les permutations de transformateurs ou de lignes. Les utilisateurs subissent une succession de creux de tension et/ou de coupures brèves lors de défauts à arc intermittents, de cycles de déclenchement - réenclenchement automatiques (sur réseau aérien ou mixte radial) permettant l'élimination

des défauts fugitifs ou encore en cas de renvois de tension permettant la localisation du défaut.

- La commutation de charges de puissance importante (moteurs asynchrones, fours à arc, machines à souder, chaudières...) par rapport à la puissance de court-circuit
- Les coupures longues sont le résultat de l'isolement définitif d'un défaut permanent par les dispositifs de protection ou de l'ouverture volontaire ou intempestive d'un appareil.

Les creux de tension ou coupures se propagent vers les niveaux de tension inférieurs à travers les transformateurs. Le nombre de phases affectées ainsi que la sévérité de ces creux de tension dépend du type de défaut et du couplage du transformateur.

Le nombre de creux de tension et de coupures est plus élevé dans les réseaux aériens soumis aux intempéries que dans les réseaux souterrains. Mais un départ souterrain issu du même jeu de barres que des départs aériens ou mixtes subira aussi des creux de tension dus aux défauts affectant les lignes aériennes.

Les transitoires ($\Delta T < T/2$) sont causés, par exemple, par la mise sous tension de condensateurs ou l'isolement d'un défaut par un fusible ou par un disjoncteur rapide BT, ou encore par les encoches de commutations de convertisseurs polyphasés.

2.3. Harmoniques et semi-harmoniques (ou inter-harmonique)

Rappels:

Toute fonction périodique (de fréquence f) peut se décomposer en une somme de sinusoides de fréquence $h \times f$ (h : entier). h est appelé rang harmonique ($h > 1$). La composante de rang 1 est la composante fondamentale.

$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{\infty} Y_h \sqrt{2} \sin(2 \pi h f + \varphi_h)$$

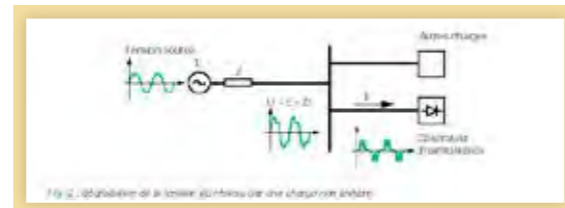
La valeur efficace est :

$$Y_{\text{eff}} = \sqrt{Y_0^2 + Y_1^2 + Y_2^2 + Y_h^2 + \dots}$$

Le taux de distorsion harmonique (THD pour Total Harmonic Distortion) donne une mesure de la déformation du signal:

$$\text{THD} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{Y_h}{Y_1} \right)^2}$$

Les harmoniques proviennent principalement de charges non linéaires dont la caractéristique est d'absorber un courant qui n'a pas la même forme que la tension qui les alimente (cf. fig. 2).



Ce courant est riche en composantes harmoniques dont le spectre sera fonction de la nature de la charge. Ces courants harmoniques circulant à travers les impédances du réseau créent des tensions harmoniques qui peuvent perturber le fonctionnement des autres utilisateurs raccordés à la même source.

L'impédance de la source aux différentes fréquences harmoniques a donc un rôle fondamental dans la sévérité de la distorsion en tension. A remarquer que si l'impédance de la source est faible (P_{cc} élevée) la distorsion en tension est faible.

Les principales sources d'harmoniques

Ce sont des charges, qu'il est possible de distinguer selon leurs domaines, industrielles ou domestiques.

- Les charges industrielles

- Équipements d'électronique de puissance : variateurs de vitesse, redresseurs à diodes ou à thyristors, onduleurs, alimentations à découpage ;
- Charges utilisant l'arc électrique : fours à arc, machines à souder, éclairage (lampes à décharge, tubes fluorescents). Les démarrages de moteurs par démarreurs électroniques et les enclenchements de transformateurs de puissance sont aussi générateurs d'harmoniques (temporaires).

A noter que du fait de leurs multiples avantages (souplesse de fonctionnement, excellent rendement énergétique, performances élevées...) l'utilisation d'équipements à base d'électronique de puissance se généralise.

- Les charges domestiques munies de convertisseurs ou d'alimentation à découpage : téléviseurs, fours à micro-ondes, plaques à induction, ordinateurs, imprimantes, photocopieuses, gradateurs de lumière, équipements électroménagers, lampes fluorescentes.

De puissance unitaire bien plus faible que les charges industrielles, leur effet cumulé du fait de leur grand nombre et de leur utilisation simultanée sur de longues périodes en font des sources de distorsion harmonique importantes.

À noter que l'utilisation de ce type d'appareils croît en nombre et parfois en puissance unitaire.

Les niveaux d'harmoniques

Ils varient généralement selon le mode de fonctionnement de l'appareil, l'heure de la journée et la saison (climatisation).

Les sources génèrent, pour la plupart, des harmoniques de rangs impairs (cf. fig. 3).

La mise sous tension de transformateurs ou les charges polarisées (redresseurs mono-alternance) ainsi que les fours à arc génèrent aussi (en plus des rangs impairs) des harmoniques de rangs pairs.

Les semi-harmoniques sont des composantes sinusoidales, qui ne sont pas à des fréquences multiples entières de celle du fondamental (donc situées entre

les harmoniques). Elles sont dues à des variations périodiques ou aléatoires de la puissance absorbée par différents récepteurs tels que fours à arc, machines à souder et convertisseurs de fréquences (variateurs de vitesse, cyclo-convertisseurs). Les fréquences de télécommande utilisées par le distributeur sont aussi des inter-harmoniques.

Le spectre peut être discret ou continu et variable de façon aléatoire (four à arc) ou Intermittent (machines à souder).

Pour étudier les effets à court, moyen ou long terme, les mesures des différents paramètres doivent se faire à des intervalles de temps compatibles avec la constante de temps thermique des équipements.

2.4. Surtensions

Toute tension appliquée à un équipement dont la valeur de crête sort des limites d'un gabarit défini par une norme ou une spécification est une surtension..

Les surtensions sont de trois natures :

- Temporaires (à fréquence industrielle),
- De manœuvre,
- D'origine atmosphérique (foudre).

Elles peuvent apparaître :

en mode différentiel (entre conducteurs actifs ph/ph – ph/neutre),

- En mode commun (entre conducteurs actifs et la masse ou la terre).

Les surtensions temporaires

Par définition elles sont à la même fréquence que celle du réseau (50 Hz ou 60 Hz). Elles ont plusieurs origines :

- Un défaut d'isolement

Lors d'un défaut d'isolement entre une phase et la terre dans un réseau à neutre impédant ou isolé, la tension des phases saines par rapport à la terre peut atteindre la tension composée. Des surtensions sur les

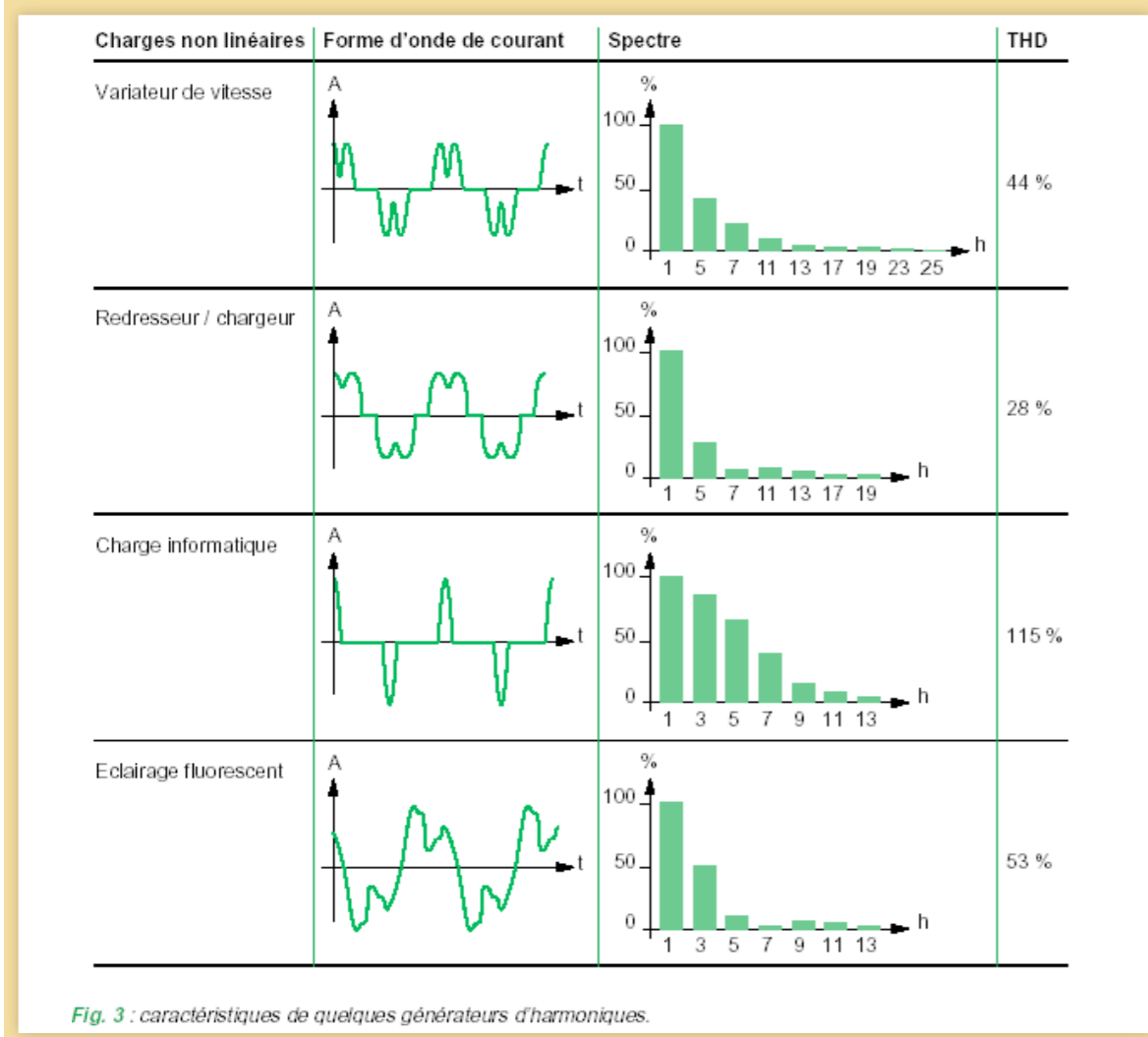
installations BT peuvent provenir des installations HT par l'intermédiaire de la prise de terre du poste HT/BT.

- La ferrorésonance

Il s'agit d'un phénomène oscillatoire non linéaire rare, souvent dangereux pour le matériel, se produisant

dans un circuit comportant un condensateur et une inductance saturable.

- Des dysfonctionnements ou des destructions de matériel mal élucidés lui sont volontiers attribués.



- La rupture du conducteur de neutre

Les appareils alimentés par la phase la moins chargée voient leur tension augmenter (parfois jusqu'à la tension composée).

- Les défauts du régulateur d'un alternateur ou d'un régleur en charge de transformateur
- La surcompensation de l'énergie réactive

Les condensateurs shunt produisent une augmentation de la tension depuis la source jusqu'au point où ils se trouvent.

Cette tension est particulièrement élevée en période de faibles charges.

Les sursensions de manœuvre

Elles sont provoquées par des modifications rapides de la structure du réseau (ouverture d'appareils de protection...). On distingue :

- Les sursensions de commutation en charge normale,
- Les sursensions provoquées par l'établissement et l'interruption de petits courants inductifs,
- Les sursensions provoquées par la manœuvre de circuits capacitifs (lignes ou câbles à vide, gradins de condensateurs).

Par exemple la manœuvre d'une batterie de condensateurs provoque une sursension transitoire

dont la première crête peut atteindre $2\sqrt{2}$ fois la valeur efficace de la tension du réseau et une sursurintensité transitoire de valeur crête pouvant atteindre 100 fois le courant assigné du condensateur.

Les sursensions atmosphériques

La foudre est un phénomène naturel apparaissant en cas d'orage. On distingue les coups de foudre directs (sur une ligne ou sur une structure) et les effets indirects d'un coup de foudre (sursensions induites et montée en potentiel de la terre)

2.5 Variations et fluctuations de tension

Les variations de tension sont des variations de la valeur efficace ou de la valeur crête d'amplitude inférieure à 10 % de la tension nominale.

Les fluctuations de tension sont une suite de variations de tension ou des variations cycliques ou aléatoires de l'enveloppe d'une tension dont les caractéristiques sont la fréquence de la variation et l'amplitude.

- Les variations lentes de tension sont causées par la variation lente des charges connectées au réseau.
- Les fluctuations de tension sont principalement dues à des charges industrielles rapidement variables comme les machines à souder, les fours à arc, les laminoirs.

2.6 Déséquilibres

Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120° . Le degré de déséquilibre est défini en utilisant la méthode des composantes de Fortescue par le rapport de la composante inverse (U_{1i}) (ou homopolaire (U_{1o})) du fondamental à celui de la composante directe (U_{1d}) du fondamental.

$$\Delta U_i = \frac{|U_{1i}|}{|U_{1d}|} \text{ et } \Delta U_o = \frac{|U_{1o}|}{|U_{1d}|}$$

La formule approchée suivante peut aussi être utilisée : $\Delta U_i = \max_i \frac{V_i - V_{moy}}{V_{moy}}$,

avec V_i = tension de la phase i et

$$V_{moy} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

La tension inverse (ou homopolaire) est provoquée par les chutes de tension le long des impédances du réseau dues aux courants inverses (ou homopolaire) produits

par les charges déséquilibrées qui conduisent à des courants non identiques sur les trois phases (charges BT connectées entre phase et neutre, charges monophasées ou biphasées MT telles que machines à souder et fours à induction).

Les défauts monophasés ou biphasés provoquent des déséquilibres jusqu'au fonctionnement des protections.

2.7 Résumé

Perturbations	Creux de tension	Surintensités	Harmoniques	Déséquilibres	Fluctuations de tension
Formes d'onde caractéristiques					
Origine de la perturbation					
■ Réseau					
<input type="checkbox"/> Défaut d'isolement, rupture du conducteur de neutre...					
<input type="checkbox"/> Manœuvres et ferrorésonance					
<input type="checkbox"/> Foudre					
■ Equipements					
<input type="checkbox"/> Moteur asynchrone					
<input type="checkbox"/> Moteur synchrone					
<input type="checkbox"/> Machine à souder					
<input type="checkbox"/> Four à arc					
<input type="checkbox"/> Convertisseur					
<input type="checkbox"/> Charges informatiques					
<input type="checkbox"/> Eclairage					
<input type="checkbox"/> Onduleur					
<input type="checkbox"/> Batterie de condensateurs					
: Phénomène occasionnel : Phénomène fréquent					

3. EFFETS DES PERTURBATIONS SUR LES CHARGES ET PROCÉDÉS

D'une façon générale, quelle que soit la perturbation, les effets peuvent être classés de deux façons différentes :

- Effets instantanés : manœuvres intempestives de contacteurs ou d'organes de protection, mauvais fonctionnement ou arrêt d'une machine. L'impact financier de la perturbation est alors directement chiffrable.
- Effets différés : pertes énergétiques, vieillissement accéléré du matériel dû aux échauffements et aux efforts électrodynamiques supplémentaires engendrés par les perturbations. L'impact financier (par ex. sur la productivité) est plus difficilement quantifiable.

3.1 Creux de tension et coupures

Les creux de tension et les coupures perturbent de nombreux appareils raccordés au réseau. Ils sont la cause la plus fréquente de problèmes de qualité d'énergie. Un creux de tension ou une coupure de quelques centaines de millisecondes peut se traduire par des conséquences néfastes plusieurs heures durant.

Les applications les plus sensibles sont les :

- Chaînes complètes de fabrication en continu dont le procédé ne tolère aucun arrêt temporaire d'un élément de la chaîne (imprimerie, sidérurgie, papeterie, pétrochimie...),
- Éclairages et systèmes de sécurité (hôpitaux, balisage des aéroports, locaux recevant du public, immeubles de grande hauteur...),
- Équipements informatiques (centres de traitement de données, banques, télécommunications...),
- Auxiliaires essentiels de centrales.
- Les paragraphes suivants passent en revue les principales conséquences des creux de tension et coupures sur les principaux équipements utilisés dans les secteurs industriels, tertiaires et domestiques.

Moteur asynchrone

Lors d'un creux de tension, le couple d'un moteur asynchrone (proportionnel au carré de la tension) diminue brutalement et provoque un ralentissement. Ce ralentissement est fonction de l'amplitude et de la durée du creux, de l'inertie des masses tournantes et de la caractéristique couple-vitesse de la charge entraînée. Si le couple que le moteur développe devient inférieur au couple résistant, le moteur s'arrête (décroche).

Après une coupure, le retour de la tension engendre un appel de courant de réaccélération proche du courant de démarrage et dont la durée dépend de la durée de la coupure.

Lorsque l'installation comporte de nombreux moteurs, leurs réaccélérations simultanées peuvent provoquer une chute de tension dans les impédances amont du réseau qui allonge la durée du creux et peut rendre la réaccélération difficile (redémarrages longs avec suréchauffement) voire impossible (couple moteur inférieur au couple résistant).

La réalimentation rapide (~ 150 ms) d'un moteur asynchrone en cours de ralentissement sans précaution peut conduire à un réenclenchement en opposition de phase entre la source et la tension résiduelle entretenue par les moteurs asynchrones. Dans ce cas la première crête du courant peut atteindre trois fois le courant de démarrage (15 à 20 In).

Ces surintensités et les chutes de tension qui en découlent ont des conséquences pour le moteur (échauffements supplémentaires et efforts électrodynamiques dans les bobines pouvant engendrer des ruptures d'isolation et des à-coups sur le couple avec des contraintes mécaniques anormales sur les accouplements et les réducteurs d'où une usure prématurée voire une rupture) mais aussi sur les autres équipements tels que les contacteurs (usure voire soudure des contacts). Les surintensités peuvent conduire au déclenchement des protections générales de l'installation provoquant ainsi l'arrêt du procédé.

Moteur synchrone

Les effets sont à peu près identiques au cas des moteurs asynchrones.

Les moteurs synchrones peuvent cependant supporter des creux de tension plus importants (de l'ordre de 50 %) sans décrocher, du fait de leur inertie généralement plus importante, des possibilités de surexcitation et de la proportionnalité de leur couple avec la tension.

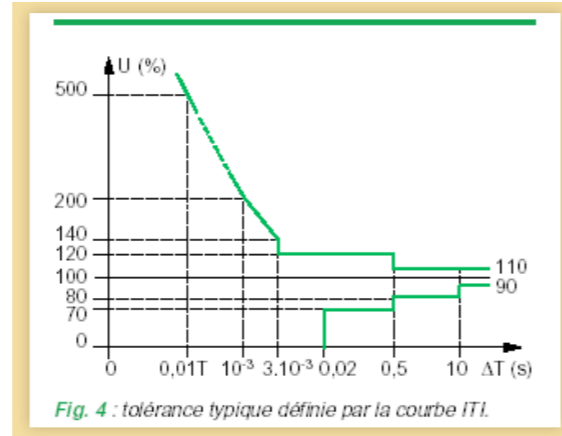
En cas de décrochage, le moteur s'arrête, et il faut reprendre tout le processus de démarrage qui est assez complexe.

Actionneurs

Les organes de commande (contacteurs, disjoncteurs équipés de bobine à manque de tension) alimentés directement par le réseau sont sensibles aux creux de tension dont la profondeur dépasse 25 % de U_n . En effet, pour un contacteur classique, il existe une valeur de tension minimale à respecter (dite tension de retombée) en deçà de laquelle les pôles se séparent et transforment alors un creux de tension (de quelques dizaines de millisecondes) ou une coupure brève en une coupure longue (de plusieurs heures).

Équipements de type informatique

Les équipements informatiques (ordinateurs, appareils de mesure) occupent aujourd'hui une place prépondérante dans la surveillance et le contrôle-commande des installations, la gestion, la production. Ces équipements sont tous sensibles aux creux de tension dont la profondeur est supérieure à 10 % de U_n . La courbe ITI (Information Technology Industry Council) – anciennement CBEMA – indique, dans un plan durée-amplitude, la tolérance typique des équipements informatiques aux creux de tension, coupures et surtensions (cf. **fig. 4**).



Le fonctionnement en dehors de ces limites conduit à des pertes de données, commandes erronées, arrêt ou panne des appareils. Les conséquences de la perte de fonction des équipements dépendent en particulier des conditions de redémarrage lorsque la tension est rétablie. Certains équipements possèdent par exemple leur propre dispositif de détection des creux de tension qui permet de sauvegarder les données et d'assurer une sécurité en interrompant le processus de calcul et les commandes erronées.

Machines à vitesse variable

Les problèmes posés par les creux de tension appliqués aux variateurs de vitesse sont :

- Impossibilité de fournir la tension suffisante au moteur (perte de couple, ralentissement),
- Impossibilité de fonctionnement des circuits de contrôle alimentés directement par le réseau,
- Surtension au retour de la tension (recharge du condensateur de filtrage des variateurs),
- Surtension et déséquilibre de courant en cas de creux de tension sur une seule phase,
- Perte de contrôle des variateurs à courant continu en fonctionnement onduleur (freinage par récupération d'énergie).

Les variateurs de vitesse se mettent généralement en défaut pour une chute de tension supérieure à 15 %.

Eclairage

Les creux de tension provoquent un vieillissement prématuré des lampes à incandescence et des tubes fluorescents.

Les creux de tension de profondeur supérieure ou égale à 50 % et dont la durée est de l'ordre de 50 ms provoquent l'extinction des lampes à décharge. Une durée d'extinction de quelques minutes est alors nécessaire au refroidissement de l'ampoule avant réallumage.

3.2. Harmoniques

Leurs conséquences sont liées à l'augmentation des valeurs crêtes (claquage diélectrique) et efficaces (échauffement supplémentaire) et au spectre en fréquence (vibration et fatigue mécanique) des tensions et des courants.

Leurs effets ont toujours un impact économique du fait du surcoût lié à :

- Une dégradation du rendement énergétique de l'installation (pertes d'énergie),
- Un surdimensionnement des équipements,
- Une perte de productivité (vieillesse accélérée des équipements, déclenchements intempestifs).

Au-delà d'un taux de distorsion harmonique de tension de 8 % les dysfonctionnements sont probables. Entre 5 et 8 %, les dysfonctionnements sont possibles.

- Effets instantanés ou à court terme
- Déclenchements intempestifs des protections :

les harmoniques ont une influence gênante principalement sur les dispositifs de contrôle des effets thermiques. En effet, lorsque de tels appareils, voire des protections, déduisent la valeur efficace du courant à partir de la valeur crête il y a un risque d'erreur et de

déclenchement intempestif même en fonctionnement normal, sans surcharge

- Perturbations induites des systèmes à courants faibles (télécommande, télécommunication, chaîne hifi, écran d'ordinateur, téléviseur).
- Vibrations et bruits acoustiques anormaux (tableaux BT, moteurs, transformateurs).
- Destruction par surcharge thermique de condensateurs.

Si la fréquence propre de l'ensemble condensateur-réseau amont est proche d'un rang harmonique, il y a résonance et amplification de l'harmonique correspondant.

- Perte de précision des appareils de mesure Un compteur d'énergie à induction classe 2 donne une erreur supplémentaire de 0,3 % en présence d'un taux de 5 % d'harmonique 5 en courant et en tension.
- Effets à long terme

Une surcharge en courant provoque des échauffements supplémentaires donc un vieillissement prématuré des équipements :

- Échauffement des sources : transformateurs, alternateurs (par augmentation des pertes Joule, des pertes fer),
- Fatigue mécanique (couple pulsatoire dans les machines asynchrones),
- Échauffement des récepteurs : des conducteurs de phases et du neutre par augmentation des pertes joule et diélectriques.

Les condensateurs sont particulièrement sensibles aux harmoniques du fait que leur impédance décroît proportionnellement au rang des harmoniques.

- Destruction de matériels (condensateurs, disjoncteurs...).

Une surcharge et un échauffement supplémentaire du conducteur de neutre peuvent être la conséquence de la

présence de courants d'harmoniques 3 et multiples de 3 présents dans les conducteurs de phases qui s'ajoutent dans le neutre.

En régime de neutre TNC le conducteur de neutre est confondu avec le conducteur de protection. Or celui-ci interconnecte toutes les masses de l'installation y compris les structures métalliques du bâtiment. Les courants harmoniques 3 et multiples de 3 vont donc circuler dans ces circuits et provoquer des variations de potentiel dont les conséquences sont :

- Corrosion de pièces métalliques,
- Surintensité dans les liaisons de télécommunication

reliant les masses de deux récepteurs (par exemple, imprimante et microordinateur),

- Rayonnement électromagnétique perturbant les écrans (micro-ordinateurs, appareils de laboratoire).

Le tableau de la **figure 5** résume les principaux effets des harmoniques ainsi que les niveaux admissibles habituels.

Les inter-harmoniques ont pour effets de perturber les récepteurs de télécommande et de provoquer un phénomène de papillotement (flicker).

Matériel	Effets	Limites
Condensateurs de puissance	Echauffement, Vieillesse prématuré (claquage), résonance.	$I < 1,3 I_n$ (THD < 83 %), ou $U < 1,1 U_n$ pour 12 h/j en MT ou 8 h/j en BT
Moteurs	Pertes et échauffements supplémentaires. Réduction des possibilités d'utilisation à pleine charge. Couple pulsatoire (vibration, fatigue mécanique) Nuisances sonores.	FVH $\leq 2\%$ pour les moteurs asynchrones habituels
Transformateurs	Pertes (ohmique-fer) et échauffements supplémentaires. Vibrations mécanique. Nuisances sonores.	
Disjoncteurs	Déclenchements intempestifs (dépassements des valeurs crêtes de la tension...).	$U_h / U_1 \leq 6$ à 12 %
Câbles	Pertes diélectriques et ohmiques supplémentaires (particulièrement dans le neutre en cas de présence d'harmoniques 3).	THD $\leq 10\%$ $U_h / U_1 \leq 7\%$
Ordinateurs	Troubles fonctionnels.	$U_h / U_1 \leq 5\%$
Electronique de puissance	Troubles liés à la forme d'onde (commutation, synchronisation).	

$$FVH = \sqrt{\frac{13}{\sum_{h=2} U_h^2 / I_n^2}} \text{ (Facteur de Variation Harmonique selon CEI 892)}$$

Fig 5 : Effets des harmoniques et limites habituelles.

3.3 Surtensions

Leurs conséquences sont très diverses selon le temps d'application, la répétitivité, l'amplitude, le mode (commun ou différentiel), la raideur du front de montée, la fréquence :

- Claquage diélectrique, cause de destruction de matériel sensible (composants électroniques...),
- Dégradation de matériel par vieillissement (surtensions non destructives mais répétées),
- Coupure longue entraînée par la destruction de matériel (perte de facturation pour les distributeurs, pertes de production pour les industriels),
- Perturbations des circuits de contrôle commande et de communication à courant faible
- Contraintes électrodynamiques et thermiques (incendie) causées par : La foudre essentiellement. Les réseaux aériens sont les plus affectés par la foudre, mais les installations alimentées par des réseaux souterrains peuvent subir des contraintes de tension élevées en cas de foudroiement à proximité du site.
- Les surtensions de manœuvre qui sont répétitives et dont la probabilité d'apparition est nettement supérieure à celle de la foudre et de durée plus longue. Elles peuvent conduire à des dégradations aussi importantes que la foudre.

3.4. Variations et fluctuations de tension

Comme les fluctuations ont une amplitude qui n'excède pas 10 %, la plupart des appareils ne sont pas perturbés. Le principal effet des fluctuations de tension est la fluctuation de la luminosité des lampes (papillotement ou flicker). La gêne physiologique (fatigue visuelle et nerveuse) dépend de l'amplitude des fluctuations, de la cadence de répétition des variations, de la composition spectrale et de la durée de la perturbation. Il existe toutefois un seuil de perceptibilité (amplitude en fonction de la fréquence de variation) défini par la CEI en dessous duquel le flicker n'est pas visible.

3.5. Déséquilibres

Le principal effet est le suréchauffement des machines asynchrones triphasées.

En effet, la réactance inverse d'une machine asynchrone est équivalente à sa réactance pendant la phase de démarrage. Le taux de déséquilibre en courant sera donc plusieurs fois celui de la tension d'alimentation. Les courants de phase peuvent alors différer considérablement. Ce qui accroît l'échauffement de la ou des phases parcourues par le courant le plus élevé et réduit la durée de vie de la machine. En pratique, un taux de déséquilibre de tension de 1 % pendant une longue période, et 1,5 % de moins de quelques minutes est acceptable.

3.6. Résumé

Equipements	Sensibilité aux perturbations					
	Creux de tension		Surtensions	Harmoniques	Déséquilibres	Fluctuations de tension
	< 0,5 s	> 0,5 s				
Moteur asynchrone						
Moteur synchrone						
Actionneur						
Variateur de vitesse						
Charge informatique, commande numérique						
Four à induction						
Eclairage						
Batterie de condensateurs						
Transformateur						
Onduleur						
Disjoncteur						
Câble						

4. NIVEAU DE QUALITÉ DE L'ÉNERGIE

4.1. Méthodologie d'évaluation

Application contractuelle

Le contrat doit indiquer :

- La durée du contrat,
- Les paramètres à mesurer,
- Les valeurs contractuelles,
- Le(s) point(s) de la mesure,
- Les tensions mesurées : ces tensions (entre phases et/ou entre phases et neutre) doivent être celles qui alimentent les équipements ;
- Pour chaque paramètres mesurés le choix de la

méthode de mesure, l'intervalle de temps, la période de la mesure (par ex. 10 minutes et 1 an pour l'amplitude de la tension) et des valeurs de référence ; par exemple pour les creux de tension et coupures il s'agit de définir la tension de référence, les seuils de détection et la limite entre coupures longues et coupures brèves ;

- La précision de la mesure,
- La méthode de détermination des pénalités en cas de non respect des engagements,
- Les clauses en cas de mésentente concernant l'interprétation des mesures (intervention d'une tierce partie...),
- L'accès et la confidentialité des données.

Maintenance corrective

C'est généralement suite à des incidents ou dysfonctionnements en exploitation qu'est engagée une action de dépannage en vue de mettre en place des mesures correctives.

Les étapes sont en général :

- Recueil de données

Il s'agit de collecter les informations telles que le type de charges, l'âge des composants du réseau et le schéma unifilaire.

- Recherche de symptômes

Il s'agit d'identifier et de localiser les équipements perturbés, de déterminer l'heure et la date (fixe ou aléatoire) du problème, la corrélation éventuelle avec des conditions météorologiques particulières (vent fort, pluie, orage) ou avec une modification récente de l'installation (installation de nouvelles machines, modification du réseau).

- Connaissance et vérification de l'installation

Cette phase suffit parfois à déterminer rapidement l'origine du dysfonctionnement. Les conditions d'environnement telles que l'humidité, la poussière, la température ne doivent pas être sous-estimées.

L'installation, en particulier le câblage, les disjoncteurs et les fusibles, doit être vérifiée.

- Instrumentation de l'installation

Cette étape consiste à équiper le site d'appareils de mesure qui permettent de détecter et d'enregistrer l'événement à l'origine du problème. Il peut être nécessaire d'instrumenter plusieurs points de l'installation et en particulier (lorsque c'est possible) au plus près de l'(des) équipement(s) perturbé(s).

L'appareil détecte des événements par dépassement de seuils sur les paramètres de mesure de la qualité de l'énergie et enregistre les données caractéristiques de l'événement (par exemple date, heure, profondeur d'un creux de tension, THD). Les formes d'ondes juste avant, pendant et après la perturbation peuvent aussi

être sauvegardées. Les seuils doivent être paramétrés en fonction de la sensibilité des équipements.

Lorsque des appareils portatifs sont utilisés, la durée des mesures doit être représentative du cycle de fonctionnement d'une usine (par ex. une semaine). Il faut alors attendre que la perturbation se reproduise. Des appareils fixes permettent une surveillance permanente de l'installation. Si ces appareils sont correctement paramétrés, ils assurent une fonction de prévention et de détection en consignait chaque perturbation. Les informations peuvent être visualisées soit localement soit à distance par un réseau Intranet ou Internet. Ceci permet de diagnostiquer les événements mais aussi d'anticiper les problèmes (maintenance préventive). Il en est ainsi avec les appareils de la gamme Power Logic System (Circuit Monitor - Power Meter), Digipact et la dernière génération de disjoncteurs Masterpact équipés de déclencheur Micrologic P (cf. **fig. 6**).

Les enregistrements de perturbations provenant du réseau du distributeur et ayant causé des dommages (destruction de matériels, pertes de production...) peuvent être aussi utiles en cas de négociation de dédommagement.

- Identification de l'origine

La signature (forme d'onde, profil de valeur efficace) de la perturbation permet en général à des experts de localiser et d'identifier la source du problème (un défaut, un démarrage moteur, un enclenchement de banc de condensateurs...).

La connaissance simultanée de la signature en tension et en courant permet en particulier de déterminer si l'origine du problème est située en amont ou en aval du point de mesure. La perturbation peut en effet provenir de l'installation ou du réseau du distributeur.

- Etude et choix de solutions

La liste et les coûts des solutions sont établis. Le choix de la solution s'effectue souvent en comparant son coût avec le manque à gagner en cas de perturbations. Après la mise en œuvre d'une solution, il est important de vérifier, par la mesure, son efficacité.

Optimiser le fonctionnement des installations électriques

Ce souci d'optimiser le fonctionnement d'une installation électrique se traduit par trois actions complémentaires :

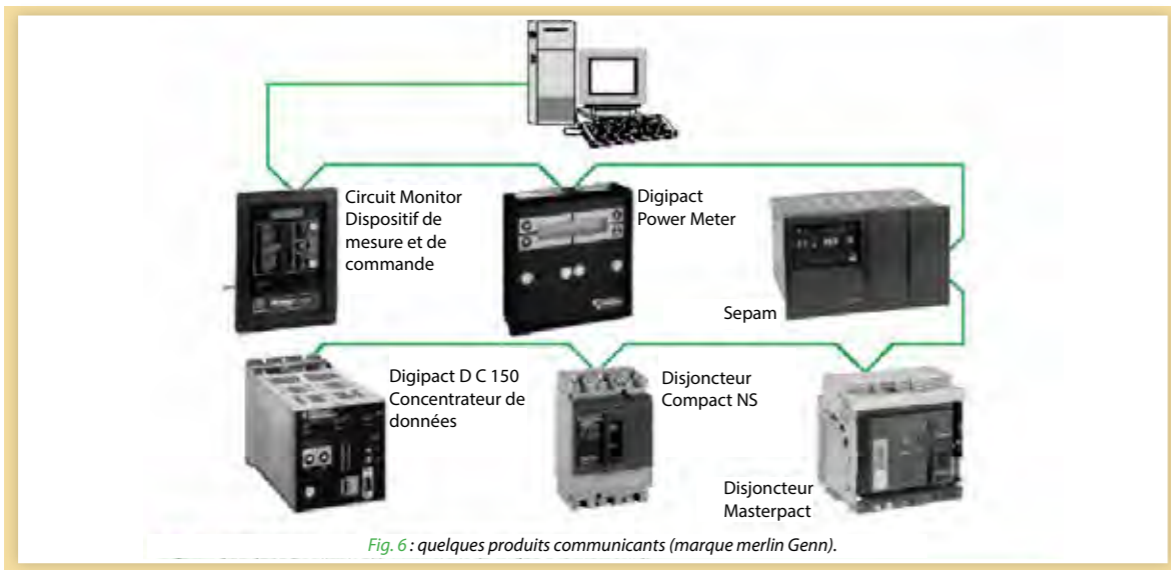
- Economiser l'énergie et réduire les factures d'énergie
- Sensibiliser les utilisateurs aux coûts,
- Affecter les coûts en interne (par site, par service ou par ligne de produits),
- Localiser les économies potentielles,
- Gérer les crêtes de consommation (délestage, sources autonomes),
- Optimiser le contrat d'énergie (réduction de la puissance souscrite),
- Améliorer le facteur de puissance (réduction de la puissance réactive).
- Assurer la qualité de l'énergie
- Visualiser et surveiller les paramètres de mesure de la

qualité de l'énergie,

- Détecter par anticipation les problèmes (surveillance des harmoniques et du courant de neutre...) pour une maintenance préventive.
- Veiller à la continuité de service
- Optimiser la maintenance et l'exploitation,
- Connaître le réseau en temps réel,
- Surveiller le plan de protection,
- Diagnostiquer les défauts,
- Reconfigurer un réseau suite à un défaut,
- Assurer un transfert de source automatique.

Des outils logiciels assurent le contrôle commande et la surveillance de l'installation.

Ils permettent par exemple de détecter et d'archiver les événements, de surveiller en temps réel les disjoncteurs et les relais de protections, de commander à distance les disjoncteurs, et de façon générale d'exploiter les possibilités des appareils communicants (cf. fig. 6).



4.2. La CEM et les niveaux de planification

La compatibilité électromagnétique (CEM)

La compatibilité électromagnétique est l'aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans son environnement.

L'objectif de la compatibilité électromagnétique est d'assurer que :

- L'émission de chaque source séparée de perturbations est telle que l'émission combinée de toutes les sources n'excède pas les niveaux de perturbation attendus dans l'environnement.

- Le niveau d'immunité des équipements permet le niveau de performance approprié au niveau de perturbations attendu selon trois classes d'environnement (cf. fig. 7).

A noter que l'environnement est déterminé aussi par les caractéristiques spécifiques de l'installation de l'usager (schéma électrique de l'installation, types de charges) et par les caractéristiques de la tension d'alimentation. Un moyen d'assurer les niveaux de compatibilité est de spécifier les limites d'émission des installations des usagers

Perturbations	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Variations de tension $\Delta U / U_N$	$\pm 8 \%$	$\pm 10 \%$	+10 % -15 %
Creux de tension ⁽¹⁾ $\Delta U / U_N$	10 % à 100 %	10 % à 100 %	10 % à 100 %
ΔT (nombre de demi-période)	1	1 à 300	1 à 300
Coupures brèves (s)	aucune	–	≤ 60
Déséquilibre de tension U_j / U_d	2 %	2 %	3 %
Variations de fréquence $\Delta f / f_N$	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 2 \%$

(1) Ces valeurs ne sont pas des niveaux de compatibilité : elles sont données à titre indicatif.

Fig. 7 : les niveaux de compatibilité selon la norme CEI 61000-2-4.

avec une marge suffisante en dessous du niveau de compatibilité. En pratique ceci est réalisable pour les installations de grande puissance (CEI 61000-3-6, CEI 61000-3-7). Pour les autres installations (par ex. BT) les normes « produits » spécifient des limites d'émission par familles d'équipements (ex. la norme CEI 61000-3-2 impose les limites d'émission harmoniques en courant pour les charges de moins de 16 A).

Dans certains cas, il est nécessaire de mettre en œuvre des moyens techniques qui maintiennent les niveaux d'émission en dessous des niveaux prescrits.

Caractéristiques de la tension

La méthode permettant d'évaluer les caractéristiques réelles de la tension en un point donné du réseau et de les comparer aux limites précitées, est basée sur un

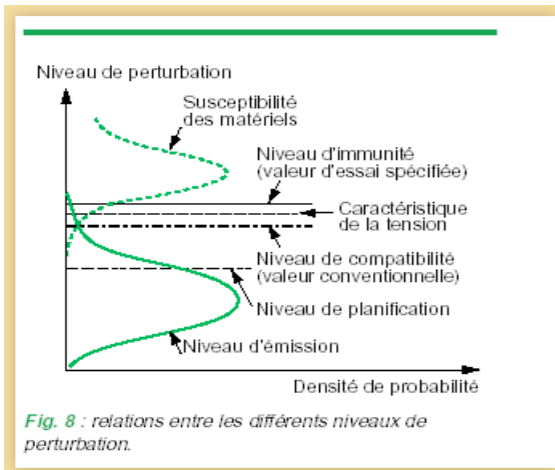
calcul statistique sur une période donnée de mesures. Par exemple, pour la tension harmonique la période de mesure est d'une semaine et 95 % des valeurs efficaces calculées sur des périodes successives de 10 minutes ne doivent pas dépasser les limites spécifiées.

Niveaux de planification

Ce sont des objectifs internes de qualité spécifiés par l'exploitant du réseau et utilisés pour évaluer l'impact sur le réseau de toutes les charges perturbatrices. Ils sont habituellement égaux ou inférieurs aux niveaux de compatibilité.

Résumé

La **figure 8** résume les relations entre les différents niveaux de perturbation.



5. SOLUTIONS POUR AMÉLIORER LA QEE

Une dégradation de qualité peut conduire à une modification du comportement, des performances ou même à la destruction des équipements et des procédés qui en dépendent avec des conséquences possibles sur la sécurité des personnes et des surcoûts économiques. Ceci suppose trois éléments :

- Un ou plusieurs générateurs de perturbations,

- Un ou plusieurs récepteurs sensibles à ces perturbations,
- Entre les deux un chemin de propagation de ces perturbations.

Les solutions consistent à agir sur tout ou partie de ces trois éléments soit de façon globale (installation) soit de façon locale (un ou plusieurs récepteurs). Ces solutions peuvent être mise en œuvre pour :

- Corriger un dysfonctionnement dans une installation,
- Agir de façon préventive en vue du raccordement de charges polluantes,
- Mettre en conformité l'installation par rapport à une norme ou à des recommandations du distributeur d'énergie,
- Réduire la facture énergétique (réduction de l'abonnement en kVA, réduction de la consommation).

Les récepteurs n'étant pas sensibles aux mêmes perturbations et avec des niveaux de sensibilité différents, la solution adoptée, en plus d'être la plus performante d'un point de vue technico-économique, doit garantir un niveau de QEE sur mesure et adapté au besoin réel.

Un diagnostic préalable effectué par des spécialistes, de façon à déterminer la nature des perturbations contre lesquelles il faut se prémunir (par ex. les remèdes sont différents selon la durée d'une coupure), est indispensable. Il conditionne l'efficacité de la solution retenue. L'étude, le choix, la mise en œuvre et la maintenance (qui assure l'efficacité dans le temps) de solutions doivent aussi être effectués par des spécialistes.

L'utilité même de choisir une solution et de la mettre en œuvre dépend :

- Du niveau de performance souhaité

Un dysfonctionnement peut être inadmissible s'il met en jeu la sécurité des personnes (hôpitaux, balisage des aéroports, éclairages et systèmes de sécurité des locaux recevant du public, auxiliaires de centrale...)

- Des conséquences financières du dysfonctionnement
- Tout arrêt non programmé, même très court, de certains procédés (fabrication de semi-conducteurs, sidérurgie, pétrochimie...) conduit à une perte ou à une non qualité de la production voire une remise en état de l'outil de production.

- Du temps de retour sur investissement souhaité

C'est le rapport entre les pertes financières (matières premières, pertes de production...) provoquées par la non-qualité de l'énergie électrique et le coût (étude, mise en œuvre, fonctionnement, maintenance) de la solution.

D'autres critères tels que les habitudes, la réglementation et les limites de perturbations imposées par le distributeur sont aussi à prendre en compte.

5.1 Creux de tension et coupures

L'architecture du réseau, les automatismes de réalimentation, le niveau de fiabilité des matériels, la présence d'un système de contrôle commande ainsi que la politique de maintenance jouent un rôle important dans la réduction et l'élimination des temps de coupure.

Pour choisir une solution efficace, il faut avant tout réaliser un bon diagnostic. Par exemple, au point de couplage commun (entrée électrique du client), il est important de savoir si le creux de tension provient de l'installation du client (avec augmentation correspondante de l'intensité) ou du réseau (sans augmentation).

Différents types de solutions existent.

Réduction du nombre de creux de tensions et de coupures

Les distributeurs peuvent prendre certaines dispositions telles que la fiabilisation des ouvrages (maintenance préventive ciblée, renouvellement, mise en souterrain), la restructuration des réseaux (raccourcissement de la longueur des départs). Ils peuvent aussi, au sein des réseaux à neutre impédant, remplacer des disjoncteurs déclencheurs-réenclencheurs automatiques par des disjoncteurs shunt qui ont le gros avantage de ne pas provoquer de coupures sur le départ avarié en cas de

défaut fugitif à la terre (réduction du nombre de coupures brèves. Ces disjoncteurs provoquent l'extinction des défauts fugitifs à la terre en annulant pendant au moins 300 ms la tension aux bornes du défaut par la mise à la terre de la seule phase en défaut au niveau du jeu de barres du poste source. Ce qui ne modifie pas la tension entre phases alimentant la clientèle.

Réduction de la durée et de la profondeur des creux de tension

- Au niveau du réseau
- Augmentation des possibilités de bouclage (nouveaux postes source, interrupteur de bouclage).
- Amélioration du niveau de performance des protections électriques (sélectivité, automatisme de reprise d'alimentation, organes télécommandés en réseau, téléconduite, remplacement des éclateurs par des parafoudres...).
- Augmentation de la puissance de court circuit du réseau.
- Au niveau des équipements

Diminution de la puissance absorbée par les charges de fortes puissances lors de leur mise sous tension avec des compensateurs automatiques en temps réel et des démarreurs progressifs qui limitent les pointes de courant (ainsi que les sollicitations mécaniques).

Insensibilisation des installations industrielles et tertiaires

Le principe général de désensibilisation contre les creux de tension et les coupures est de compenser le manque d'énergie par un dispositif à réserve d'énergie intercalé entre le réseau et l'installation. Cette réserve doit avoir une autonomie supérieure à la durée du défaut de tension dont on veut se protéger. Les informations nécessaires au choix du dispositif d'insensibilisation sont :

- Qualité de la source (niveau maximal de perturbations présent),

- Exigences des récepteurs (sensibilité dans le plan durée-profondeur).

Seule une analyse fine du process et des conséquences techniques et financières de la perturbation permet de les réunir.

Différentes solutions de désensibilisation sont possibles selon la puissance nécessaire à l'installation et la durée du creux de tension ou de la coupure.

Il est souvent intéressant d'étudier les solutions en distinguant l'alimentation du Contrôle-Commande et des régulations de celle des moteurs et des gros consommateurs d'énergie.

En effet, un creux de tension ou une coupure (même brève) peut être suffisante pour faire ouvrir tous les contacteurs dont les bobines sont alimentées par le circuit de puissance. Les récepteurs commandés par des contacteurs ne sont alors plus alimentés lors du retour de la tension.

Insensibilisation du contrôle-commande

L'insensibilisation d'un process est généralement basée sur l'insensibilisation du contrôle commande.

Le contrôle-commande des équipements est en général peu consommateur d'énergie et sensible aux perturbations. Il est donc souvent plus économique de désensibiliser uniquement le contrôle-commande et non pas l'alimentation en puissance des équipements. Le maintien de la commande sur les machines suppose :

- Qu'il ne peut y avoir danger pour la sécurité du personnel et des équipements lors du retour de la tension,
- Que les charges et les procédés admettent une coupure brève du circuit de puissance (forte inertie ou ralentissement toléré) et puissent ré-accélérer à la volée lors du retour de la tension, que la source peut assurer l'alimentation de l'ensemble des récepteurs en régime permanent (cas d'une source de remplacement) mais aussi l'appel de courant provoqué par le redémarrage simultané de nombreux moteurs.

Les solutions consistent à alimenter toutes les bobines des contacteurs par une source auxiliaire sûre (batterie ou groupe tournant avec volant d'inertie), ou à utiliser un relais temporisé à la retombée, ou encore par l'intermédiaire d'un redresseur et d'un condensateur branché en parallèle avec la bobine.

Insensibilisation de l'alimentation en puissance des équipements

Certains récepteurs n'acceptent pas les niveaux de perturbations attendus, voire ni creux de tension ni coupures. C'est le cas des charges « prioritaires » telles que les ordinateurs, éclairages et systèmes de sécurité (hôpitaux, balisage des aéroports, locaux recevant du public) et les chaînes de fabrication continue (fabrication de semi-conducteurs, centres de calcul, cimenterie, traitement de l'eau, manutention, industrie du papier, sidérurgie, pétrochimie, etc.).

En fonction de la puissance nécessaire à l'installation et de la durée du creux de tension ou de la coupure le choix se fait entre les différentes solutions techniques suivantes.

- Alimentation statique sans interruption (ASI)

Une ASI est constituée de trois éléments principaux :

- Un redresseur-chargeur, alimenté par le réseau, transforme la tension alternative en tension continue ;
- Une batterie est maintenue chargée, qui, lors d'une coupure, fournit l'énergie nécessaire à l'alimentation de la charge par l'onduleur ;
- Un onduleur qui transforme la tension continue en tension alternative.

Deux technologies sont couramment utilisées : on-line ou off-line.

- La technologie on-line

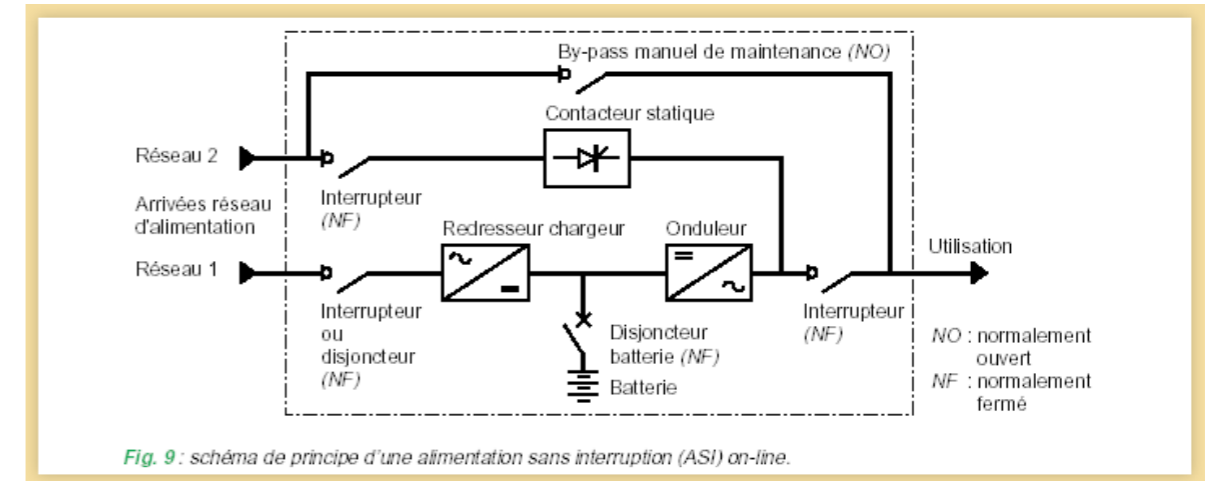
En fonctionnement normal, l'alimentation est délivrée en permanence par l'onduleur sans solliciter la batterie. C'est par exemple le cas des onduleurs Comet, Galaxy de la marque MGEUPS. Ils assurent la continuité (pas de délais de commutation) et la qualité (régulation de

tension et de fréquence) de l'alimentation pour des charges sensibles de quelques centaines à plusieurs milliers de kVA.

Plusieurs ASI peuvent être mises en parallèle pour

obtenir plus de puissance ou pour créer une redondance.

En cas de surcharges, l'utilisation est alimentée par le contacteur statique (cf. fig. 9) à partir du réseau 2 (qui peut être confondu avec le réseau 1).



La maintenance est assurée sans coupure via un by-pass de maintenance.

- La technologie off-line (ou stand-by)

Elle est employée pour des applications ne dépassant pas quelques kVA.

En fonctionnement normal, l'utilisation est alimentée par le réseau. En cas de perte du réseau ou lorsque la tension sort des tolérances prévues, l'utilisation est transférée sur l'onduleur. Cette commutation provoque une coupure de 2 à 10 ms.

- La permutation de sources

Un dispositif élabore les ordres de permutation de la source principale à une source de remplacement (et inversement) pour l'alimentation des charges prioritaires et si nécessaire émet les ordres de délestage des charges non prioritaires.

Trois types de permutation existent selon la durée de transfert (Δt) :

- Synchrone ($\Delta t = 0$),
- À temps mort ($\Delta t = 0,2$ à 30 s),
- Pseudo-synchrone ($0,1$ s $< \Delta t < 0,3$ s).

Ces dispositifs imposent des précautions particulières.

Par exemple, lorsque l'installation comporte de nombreux moteurs, leurs réaccélérations simultanées provoquent une chute de tension qui peut empêcher le redémarrage ou conduire à des redémarrages trop longs (avec des risques d'échauffement). Il est alors judicieux de prévoir un automate qui réalise un redémarrage échelonné des moteurs prioritaires, particulièrement avec une source de remplacement (de secours) de faible puissance de court-circuit.

Cette solution est à retenir lorsqu'une installation ne peut pas supporter une longue interruption, supérieure à quelques minutes, et/ou nécessite une grosse puissance disponible. Elle peut aussi être prévue en complément d'une ASI.

- Groupe à temps zéro

Dans certaines installations, l'autonomie nécessaire en cas de coupure est telle qu'un groupe électrogène est installé (des batteries conduiraient à des coûts prohibitifs, à des problèmes de réalisation technique ou à des problèmes d'installation). Cette solution permet, en cas de perte de l'alimentation, d'effectuer grâce à l'autonomie de la batterie, le démarrage du groupe électrogène, sa mise en vitesse, un éventuel délestage et un couplage sans coupure au moyen d'un inverseur de source automatique.

- Compensateurs électroniques

Ces dispositifs électroniques modernes compensent dans une certaine mesure les creux de tension et les coupures avec un faible temps de réponse, par exemple le compensateur automatique en temps réel réalise une compensation en temps réel de la puissance réactive ;

il est particulièrement bien adaptée au cas des charges variant rapidement et de façon importante (soudeuses, élévateurs, presses, concasseurs, démarrages moteur...).

L'arrêt propre

Si un arrêt est acceptable, l'impossibilité d'une remise en marche non contrôlée est particulièrement indiquée lorsqu'un redémarrage intempestif présente un risque pour l'opérateur sur machine (scie circulaire, machine tournante) ou pour le matériel (cuve de compression encore sous pression ou étalement des redémarrages dans le temps de compresseurs de climatiseurs, pompes à chaleur ou de groupes frigorifiques) ou pour l'application (nécessité de contrôler le redémarrage de la fabrication). Un redémarrage automatique du procédé peut être ensuite assuré par un automate selon une séquence de redémarrage préétablie quand les conditions sont redevenues normales.

Résumé (cf. tableau ci-dessous)

Puissance de l'installation	Durée (grandeurs indicatives) et impératifs techniques						Solution de désensibilisation
	0 à 100 ms	100 ms à 400 ms	400 ms à 1 s	1 s à 1 min	1 min à 3 min	> 3 min	
Quelques VA							Temporisation des contacteurs.
< 500 kVA							Alimentation en courant continu avec stockage par capacité.
< 1 MVA							Groupe tournant avec volant d'inertie.
< 300 kVA	Entre 15 minutes et plusieurs heures, suivant la capacité de la batterie.						Permutation de source Groupe diesel.
< 500 kVA	La permutation sur une source de secours peut provoquer une coupure brève.						Alimentation en courant continu avec stockage par batterie.
< 500 kVA	Entre 15 minutes et plusieurs heures, suivant la capacité de la batterie.						Groupe tournant avec volant d'inertie et moteur thermique ou source de secours.
< 1 MVA (jusqu'à 4800 kVA avec plusieurs ASI en parallèle)	Entre 10 minutes (standard) et plusieurs heures, suivant la capacité de la batterie.						Moteur à courant continu associé à une batterie et un alternateur.
							ASI.

Système de désensibilisation efficace
 Système de désensibilisation inefficace

5.2 Harmoniques

Trois orientations sont possibles pour les supprimer, ou au moins réduire leur influence.

Un paragraphe particulier aborde la question des protections.

- Réduction des courants harmoniques générés

- Inductance de ligne

Une inductance triphasée est placée en série avec l'alimentation (ou intégrée dans le bus continu pour les convertisseurs de fréquence).

Elle réduit les harmoniques de courant de ligne (en particulier ceux de rang élevés) donc la valeur efficace du courant absorbé ainsi que la distorsion au point de raccordement du convertisseur.

Il est possible de l'installer sans intervenir sur le générateur d'harmoniques et d'utiliser des inductances communes à plusieurs variateurs.

- Utilisation de redresseurs dodécaphasés

Cette solution permet, par combinaison des courants, d'éliminer au primaire les harmoniques de rang les plus bas tels que 5 et 7 (souvent les plus gênants car de plus fortes amplitudes). Elle nécessite un transformateur à deux secondaires, l'un en étoile, l'autre en triangle, et permet de ne générer que les harmoniques de rang $12k \pm 1$.

- Appareils à prélèvement sinusoïdal

Cette méthode consiste à utiliser des convertisseurs statiques dont l'étage redresseur exploite la technique de commutation MLI qui permet d'absorber un courant sinusoïdal.

- Modification de l'installation

- Immuniser les charges sensibles à l'aide de filtres

- Augmenter la puissance de court-circuit de l'installation

- Déclasser des équipements

- Confiner les charges polluantes

En premier, il faut raccorder les équipements sensibles aussi près que possible de leur source d'alimentation.

Ensuite, il faut identifier puis séparer les charges polluantes des charges sensibles, par exemple en les alimentant par des sources séparées ou par des transformateurs dédiés. Tout cela en sachant que les solutions qui consistent à agir sur la structure de l'installation sont, en général, lourdes et coûteuses.

- Protections et surdimensionnement des condensateurs

Le choix de la solution dépend des caractéristiques de l'installation. Une règle simplifiée permet de choisir le type d'équipement avec Gh puissance apparente de tous les générateurs d'harmoniques alimentés par le même jeu de barres que les condensateurs, et Sn puissance apparente du ou des transformateurs amont :

- Si $Gh/Sn \leq 15\%$ les équipements type standard conviennent,

- Si $Gh/Sn > 15\%$ deux solutions sont à envisager.

1 - Cas de réseaux pollués

($15\% < Gh/Sn \leq 25\%$) : il faut sur-dimensionner en courant les appareillages et les liaisons en série et en tension les condensateurs.

2 - Cas de réseaux très pollués

($25\% < Gh/Sn \leq 60\%$) : il faut associer des selfs anti-harmoniques aux condensateurs accordées à une fréquence inférieure à la fréquence de l'harmonique le plus bas (par exemple 215 Hz pour un réseau 50 Hz) (cf. fig. 10). Ceci élimine les risques de résonance et contribue à réduire les harmoniques.

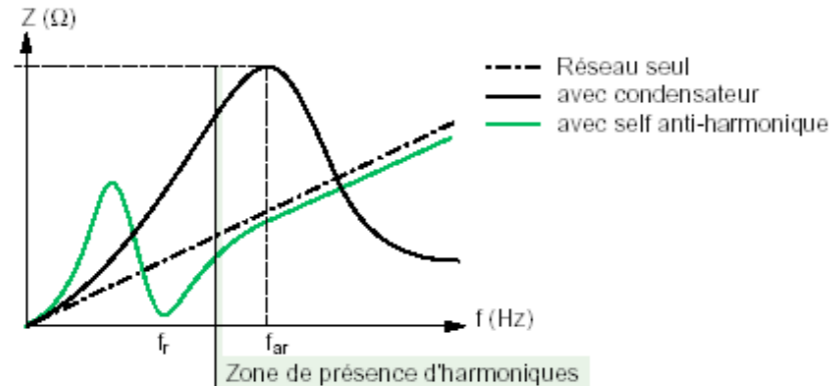


Fig 10 : effets d'une self anti-harmonique sur l'impédance d'un réseau.

■ Filtrage

Dans le cas où $Gh/Sn > 60\%$, le calcul et l'installation de filtre d'harmonique doivent être réalisés par des spécialistes (cf. fig. 11).

■ Le filtrage passif

Il consiste à réaliser une impédance faible aux fréquences à atténuer grâce à l'agencement de composants passifs (inductance, condensateur, résistance). Cet ensemble est placé en dérivation sur le réseau. Plusieurs filtres passifs en parallèle peuvent être nécessaires pour filtrer plusieurs composantes. Le dimensionnement des filtres harmoniques doit être soigné : un filtre passif mal conçu peut conduire à des résonances dont l'effet est d'amplifier des fréquences qui n'étaient pas gênantes avant son installation.

■ Le filtrage actif

Il consiste à neutraliser les harmoniques émis par la charge en analysant les harmoniques consommés par la charge et en restituant ensuite le même courant

harmonique avec la phase convenable. Il est possible de mettre en parallèle plusieurs filtres actifs. Un filtre actif peut être, par exemple, associé à une ASI de façon à réduire les harmoniques réinjectés en amont.

■ Le filtrage hybride

Il est composé d'un filtre actif et d'un filtre passif accordé sur le rang de l'harmonique prépondérant (ex. 5) et qui fournit l'énergie réactive nécessaire.

■ Cas particulier : les disjoncteurs

Les harmoniques peuvent provoquer des déclenchements intempestifs des dispositifs de protection, pour les éviter il convient de bien choisir ces appareils.

Les disjoncteurs peuvent être équipés de deux types de déclencheurs, magnétothermiques ou électroniques.

Les premiers cités sont surtout sensibles aux harmoniques par leurs capteurs thermiques qui appréhendent bien la charge réelle imposée aux conducteurs par la présence des harmoniques.

Filtre	Principe	Caractéristiques
Passif	Dérivation par un circuit LC accordé sur chaque fréquence harmonique à éliminer. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas de limites en courant harmonique. ■ Compensation d'énergie réactive assurée. ■ Elimination d'un ou plusieurs rangs harmoniques (habituellement : 5, 7, 11). Un filtre pour un ou deux rangs à compenser. ■ Risque d'amplification des harmoniques en cas de modification du réseau. ■ Risque de surcharge par pollution extérieure. ■ Filtre « réseau » (global). ■ Etude au cas par cas.
Actif	Génération d'un courant annulant tous les harmoniques créés par la charge. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Solution bien adaptée au filtrage « machine » (local) ■ Filtrage sur une large bande de fréquence (élimination des harmoniques des rangs 2 à 25). ■ Auto-adaptatif : <ul style="list-style-type: none"> □ modification du réseau sans influence, □ s'adapte à toutes variations de charge et de spectre harmonique, □ solution évolutive et souple en fonction de chaque type de charge. ■ Etude simplifiée.
Hybride		<p>Cumule les avantages des solutions filtrage passif et actif et couvre un large domaine de puissance et de performances :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Filtrage sur une large bande de fréquences (élimination des harmoniques de rangs 2 à 25). ■ Compensation d'énergie réactive. ■ Grande capacité de filtrage en courant. ■ Bonne solution technico-économique pour un filtrage « réseau ».

Fig. 11 : principes et caractéristiques du filtrage passif, actif, hybride.

De ce fait ils sont bien adaptés à leur usage, essentiellement domestique et industriel, sur les circuits de petites intensités.

Les seconds, selon leur mode de calcul des intensités véhiculées, peuvent présenter le risque de déclenchement intempestif, aussi il convient de bien choisir ces appareils et de veiller à ce qu'ils mesurent la valeur efficace vraie du courant (RMS). De tels appareils présentent alors l'avantage de mieux suivre l'évolution de la température des câbles notamment dans le cas de charges à fonctionnement cyclique car leur mémoire thermique est plus performante que celle des bilames à chauffage indirect.

- Le déclassement

Cette solution, applicable à certains équipements, est une réponse facile et souvent suffisante à la gêne occasionnée par les harmoniques.

5.3 Surtensions

Obtenir une bonne coordination d'isolement c'est réaliser la protection des personnes et des matériels contre les surtensions avec le meilleur compromis technico-économique.

Elle nécessite:

- De connaître le niveau et l'énergie des surtensions pouvant exister sur le réseau,
- De choisir le niveau de tenue aux surtensions des composants du réseau permettant de satisfaire aux contraintes,
- D'utiliser des protections quand cela est nécessaire.

En fait, les solutions à retenir dépendent du type de surtensions rencontrées.

Surtensions temporaires

- Mettre hors service tout ou partie des condensateurs en période de faible charge,
- Eviter de se trouver dans une configuration à risque de

ferrorésonance ou introduire des pertes (résistances d'amortissement) qui amortissent le phénomène.

Surtensions de manœuvre

- Limiter les transitoires provoqués par la manœuvre de condensateurs, par l'installation de self de choc, résistances de préinsertion.

Les compensateurs automatiques statiques qui permettent de maîtriser l'instant d'enclenchement sont particulièrement adaptés aux applications BT n'acceptant pas les surtensions transitoires (automates industriels, informatique).

- Placer des inductances de ligne en amont des convertisseurs de fréquence pour limiter les effets des surtensions transitoires.
- Utiliser des disjoncteurs de branchement différentiels et sélectif (type « S ») en BT et des disjoncteurs de type « si » ($I_{A_n} = 30 \text{ mA}$ et 300 mA). Leur emploi évite les déclenchements intempestifs dus à des courants de fuite transitoires : surtensions atmosphériques, de manœuvre, mise sous tension de circuits fortement capacitifs à la terre (filtres capacitifs reliés à la terre, réseaux de câbles étendus...) qui s'écoulent dans le réseau en aval du DDR (Dispositif à courant Différentiel Résiduel) par les capacités à la terre du réseau.

Surtensions atmosphériques

- Protection primaire

Elle protège le bâtiment et sa structure contre les impacts directs de la foudre (paratonnerres, cages maillées (Faraday), câbles de garde / fil tendu).

- Protection secondaire

Elle protège les équipements contre les surtensions atmosphériques consécutives au coup de foudre.

Des parafoudres (de moins en moins des éclateurs) sont installés sur les points des réseaux HT et en MT particulièrement exposés et à l'entrée des postes MT/BT.

En BT, ils sont installés à la fois le plus en amont possible de l'installation BT (afin de protéger le plus globalement possible) et le plus près possible des récepteurs électriques. La mise en cascade de parafoudres est parfois nécessaire : un, en tête d'installation, et un, au plus près des récepteurs. Un parafoudre BT est toujours associé à un dispositif de déconnexion. D'autre part, l'utilisation d'un disjoncteur de branchement différentiel sélectif en BT évite que l'écoulement du courant à la terre par le parafoudre ne provoque de déclenchement intempestif du disjoncteur de tête incompatible avec certains récepteurs (congélateur, programmeur...). A noter que les surtensions peuvent se propager jusqu'à l'appareil par d'autres voies que l'alimentation électrique : les lignes téléphoniques (téléphone, fax), les câbles coaxiaux (liaisons informatiques, antennes de télévision). Il existe sur le marché des protections adaptées.

5.4 Fluctuations de tension

Les fluctuations produites par les charges industrielles peuvent affecter un grand nombre de consommateurs alimentés par la même source.

L'amplitude de la fluctuation dépend du rapport entre l'impédance de l'appareil perturbateur et celle du réseau d'alimentation. Les solutions consistent à :

- Changer de mode d'éclairage

Les lampes fluorescentes ont une sensibilité plus faible que les lampes à incandescence.

- Installer une alimentation sans interruption Elle peut être économique lorsque les utilisateurs perturbés sont identifiés et regroupés.

- Modifier le perturbateur

Le changement du mode de démarrage de moteurs à démarrages fréquents permet par exemple de réduire les surintensités.

- Modifier le réseau
- Augmenter la puissance de court circuit en raccordant les circuits d'éclairage au plus près du point de l'alimentation.
- Eloigner « électriquement » la charge perturbatrice des circuits d'éclairage en alimentant la charge perturbatrice par un transformateur indépendant.
- Utiliser un compensateur automatique

Cet équipement réalise une compensation en temps réel phase par phase de la puissance réactive. Le flicker peut être réduit de 25 % à 50 %.

- Placer une réactance série en réduisant le courant appelé, une réactance en aval du point de raccordement d'un four à arc peut réduire de 30 % le taux de flicker.

5.5 Déséquilibres

Les solutions consistent à :

- Équilibrer les charges monophasées sur les trois phases,
- Diminuer l'impédance du réseau en amont des générateurs de déséquilibre en augmentant les puissances des transformateurs et la section des câbles,
- Prévoir une protection adaptée des machines,
- Utiliser des charges L,C judicieusement raccordées (montage de Steinmetz).

Types de perturbation	Origines	Conséquences	Exemples de solutions (équipement spécifiques et modifications)
Variations et fluctuations de tension	Variations importantes de charges (machines à arc...).	Fluctuation de la luminosité des lampes (papillotement ou flicker).	Compensateur électromécanique d'énergie réactive, Compensateur automatique en temps réel compensateur électronique série, régulateur en charge
Creux de tension	Court-circuit, commutation de charges de forte puissance (démarrage moteur...).	Perturbation ou arrêt du procédé : pertes de données, données erronées, ouverture de contacteurs, verrouillage de variateurs de vitesse, ralentissement ou décrochage de moteurs, extinction de lampes à décharge.	ASI, compensateur automatique en temps réel, régulateur électronique dynamique de tension, démarreur progressif, compensateur électronique série. Augmenter la puissance de court-circuit (Pcc), Modifier la sélectivité des protections.
Coupures	Court-circuit, surcharges, maintenance, déclenchement, intempêtif.		ASI, permutaton mécanique de sources, permutaton statique de sources, groupe a temps zéro, disjoncteur shunt, téléconduite.
Harmoniques	Charges non linéaires (varianteurs de vitesse, fours à arc, machines à souder, lampes à décharge, tubes fluorescents...).	Surcharges (du conducteur de neutre, des sources...), déclenchements intempêtifs, vieillissement accéléré, dégradation du rendement énergétique, perte de productivité.	Self anti-harmonique, filtre passif ou actif, filtre hybride, inductance de ligne. Augmenter la Pcc. Confier les charges polluantes. Déclasser les équipements.
InterHarmoniques	charges fluctuantes (four à arc, machines à souder...), convertisseur de fréquence.	Perturbation des signaux de tarification, papillotement (flicker).	Réactance série.
Surtensions transitoires	Manoeuvre d'appareillages et de condensateurs, foudre.	Verrouillage de variateurs de vitesse, déclenchements intempêtifs, destruction d'appareillage, incendies, pertes d'exploitation.	Parafoudre, parasurtenseur, enclenchement synchronisé, résistance de préinsertion, self de choc, compensateur automatique statique.
Déséquilibres de tension	Charges déséquilibrées (charges monophasées de forte puissance...).	Couples moteurs inverses (vibrations) et surchauffement des machaines asynchrones.	Equilibrer les charges. Compensateur électronique shunt, régulateur électronique dynamique de tension. Augmenter la Pcc.

5.7. Conclusions

Des perturbations électriques peuvent prendre naissance dans le réseau du distributeur, l'installation de l'utilisateur perturbé ou dans l'installation d'un utilisateur voisin.

Ces perturbations ont des conséquences différentes selon le contexte économique et le domaine d'application : de l'inconfort à la perte de l'outil de production, voire même à la mise en danger des personnes.

La recherche d'une meilleure compétitivité des entreprises, la dérégulation du marché de l'énergie

électrique font que la qualité de l'électricité est devenu un sujet stratégique pour les compagnies d'électricité, les personnels d'exploitation, de maintenance, de gestion de sites tertiaires ou industriels ainsi que pour les constructeurs d'équipements.

Cependant, les perturbations ne doivent pas être subies comme une fatalité car des solutions existent. Leur définition et leur mise en œuvre dans le respect des règles de l'art, ainsi que leur maintenance par des spécialistes permettent une qualité d'alimentation personnalisée adaptée aux besoins de l'utilisateur.

6. BIBLIOGRAPHIE

Normes

CEI 61000-X-X – Compatibilité électromagnétique (CEM) :

2-1: Environnement électromagnétique.

2-2 : Niveaux de compatibilité (réseaux publics d'alimentation à basse tension).

2-4 : Niveaux de compatibilité (installations industrielles basse tension et moyenne tension).

2-5 : Classification des environnements électromagnétiques.

3-2 : Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé u 16 A).

3-3 et 3-5 : Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les courant appelé u 16 A .

3-6 : Evaluation des limites d'émission pour les charges déformantes raccordées au réseau MT et HT.

3-7 : Evaluation des limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT.

4-7 : Mesures d'harmoniques et d'interharmonique

4-11 : Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tensions.

4-12 : Essais d'immunité aux ondes oscillatoires.

4-15 : Flickermètre.

Autres normes et lois

European Union « Council Directive 85/374 on the approximation of the laws of the Member States relating to the liability for defectice products », Official Journal (07.08.1985).

EN 50160 Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution (07-1994).

Application Guide to the European Standard EN 50160 on « Voltage Characteristics of Electricity by Public

Distribution Systems » July 1995 -UNIPED.

IEEE Std 1159-1995 : Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.

IEEE Std 1000-1992: IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.

CEI 60071-1 : Coordination de l'isolement.

VEI 60050(161) : Vocabulaire Electrotechnique International.

Cahiers Techniques Schneider Electric

Les dispositifs différentiels résiduels en BT.R. CALVAS, Cahier Technique n° 114.

Les perturbations électriques en BT. R. CALVAS, Cahier Technique n° 141.

La CEM: la compatibilité électromagnétique. F.VAILLANT, Cahier Technique n° 149.

Surtensions et coordination de l'isolement. D. FULCHIRON, Cahier Technique n° 151.

Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués et leur traitement.C. COLLOMBET, J.-M. LUPIN et J. SCHONEK,

Onduleurs et harmoniques (cas des charges non linéaires).— J.-N. FIORINA, Cahier Technique n° 159.

Harmoniques en amont des redresseurs des ASI. J.-N. FIORINA, Cahier Technique n° 160.

Permutation automatique des alimentations dans les réseaux HT et BT.G. THOMASSET, Cahier Technique n° 161.

La conception des réseaux industriels en HT.G. THOMASSET, Cahier Technique n° 169.

Les schémas des liaisons à la terre en BT (régimes du neutre) B. LACROIX et R. CALVAS, Cahier Technique n° 172.

Les schémas de liaison à la terre dans le monde et évolutions B. LACROIX, R. CALVAS, Cahier Technique n° 173.

Flicker ou scintillement des sources lumineuses. R. WIERDA, Cahier Technique n° 176.

Perturbations des systèmes électroniques et schémas des liaisons à la terre. R. CALVAS, Cahier Technique n° 177.

Le schéma IT (à neutre isolé) des liaisons à la terre en BT.— F. JULLIEN, I. HERITIER, Cahier Technique n° 178.

Surintensions et parafoudres en BT – coordination de l'isolement BT. Ch. SERAUDIE, Cahier Technique n° 179.

Les disjoncteurs BT face aux courants harmoniques, impulsionnels et cycliques. M. COLLOMBET, B. LACROIX, Cahier Technique n° 182.

Harmoniques : convertisseurs propres et compensateurs actifs. E. BETTEGA, J.-N. FIORINA, Cahier Technique n° 183.

Coexistence courants forts-courants faibles. R. CALVAS, J. DELABALLE, Cahier Technique n° 187.

Manoeuvre et protection **des batteries de condensateurs** MT.— D. KOCH, Cahier Technique n° 189.

La ferrorésonance. Ph. FERRACCI, Cahier Technique n° 190.

Ouvrages divers

Guide to quality of electrical supply for industrial installations Part 2 : voltage dips and short interruptions Working Group UIE power Quality 1996.

Guide de l'ingénierie électrique des réseaux internes d'usines Collection ELECTRA.

Method of symmetrical co-ordinates applied to the solution of polyphase networks – Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs, June, 1918 - C.L. FORTESCUE .

Supply Quality Issues at the Interphase between Power System and Industrial Consumers , PQA 1998, A. ROBERT.

Real time reactive compensation systems for welding applications - PQ 1998, R. WODRICH.

Low voltage hybrid harmonic filters, technical & economic analysis - PQ 1999, J. SCHONEK



Cas de L'ÉCLAIRAGE PUBLIC Thème n°4

INTRODUCTION

L'augmentation de la demande d'énergie, les fluctuations des prix pétroliers, l'incertitude pesant sur les approvisionnements énergétiques et les craintes suscitées par le réchauffement planétaire ont renforcé la priorité accordée par plusieurs pays à travers le monde aux politiques d'efficacité énergétique, notamment par la mise en œuvre de nouveaux instruments adaptés à leurs spécificités nationales aussi bien sur le plan économique que sur le plan social et environnemental.

L'efficacité énergétique, parallèlement au développement des énergies renouvelables, constitue une priorité majeure dans la stratégie énergétique nationale. L'ambition de cette stratégie est d'économiser 12% en 2020 et 15% en 2030 de la consommation d'énergie et dans cette perspective, des plans d'action d'efficacité énergétique ont été mis en place dans tous les secteurs clés notamment les transports, l'industrie et le bâtiment.

A cet effet, un projet de loi cadre a été approuvé en 2010, visant dans son ensemble la mise en place d'une réglementation sur l'efficacité énergétique.

RAPPEL DE LA STRATEGIE ENERGETIQUE AU MAROC

OBJECTIFS FONDAMENTAUX

- La sécurité d'approvisionnement et la disponibilité de l'Énergie ;
- L'accès généralisé à l'énergie à des prix raisonnables;
- La maîtrise de la demande;
- La préservation de l'environnement.

ORIENTATIONS STRATEGIQUES

- Un mix diversifié et optimisé autour de choix technologiques fiables et compétitifs;
- La mobilisation des ressources nationales par la montée en puissance des énergies renouvelables

- L'efficacité énergétique érigée en priorité nationale;
- L'intégration régionale;

CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE MONDIAL: LES GRANDS DEFIS

Sécurité d'approvisionnement

- Croissance de la demande liée au développement économique
- Forte dépendance aux combustibles fossiles
- Prix élevés et volatils
- Contexte géopolitique de plus en plus complexe
- Besoins d'investissement considérables

Réchauffement Climatique

- Un risque réel et une prise de conscience mondiale
- Un coût économique élevé et des investissements nécessaires

Compétitivité

- Le coût des énergies : compétitivité industrielle et efficacité énergétique
- Énergie et Développement durable : Prochaine révolution technologique

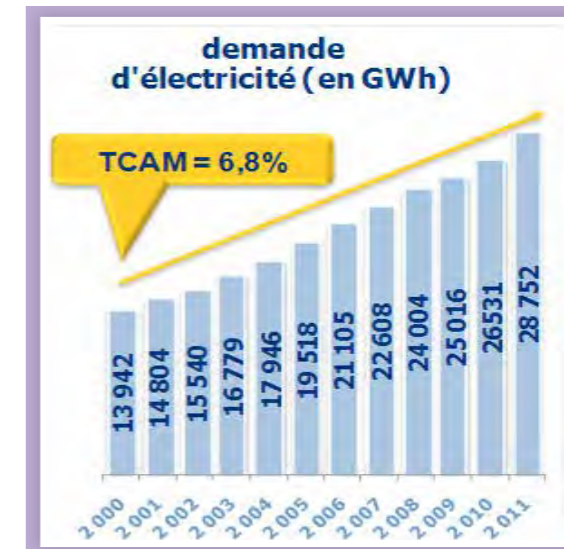
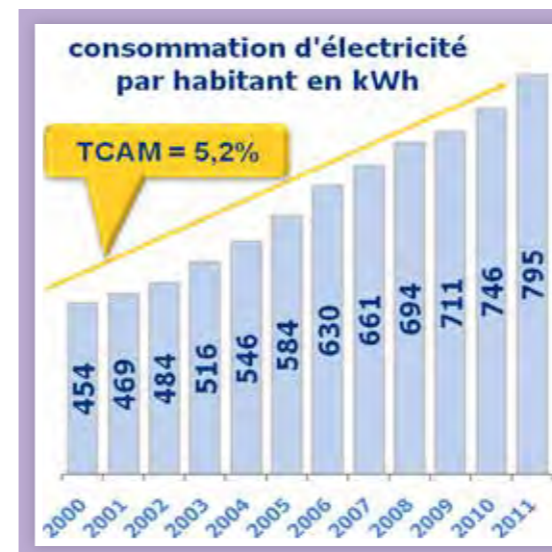
La demande énergétique mondiale continuera à augmenter rapidement avec une forte dépendance aux combustibles fossiles. L'énergie sera toujours plus chère et les prix resteront volatiles

Solutions à ces défis: Renforcer l'Efficacité Énergétique

SPÉCIFICITÉS DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE NATIONALE

- Demande en croissance soutenue (doublement à fin 2020 et quadruplement à fin 2030);
- Forte dépendance de l'étranger (importation de plus de 97% des besoins énergétiques du pays);
- Trend haussier et accentuation de la volatilité des cours mondiaux des combustibles ;
- Impératifs de protection de l'environnement;
- Souci de préservation du pouvoir d'achat du citoyen et du renforcement de la compétitivité des opérateurs économiques nationaux.

EVOLUTION DE LA CONSOMMATION



Accroissement moyen de la demande d'environ 6,8%, induit par une croissance économique et sociale soutenue :

- Généralisation de l'accès à l'électricité (PERG),
- Développement des grands projets structurants,
- Amélioration du niveau de vie de la population (INDH), etc.

D' OÙ LA NÉCESSITÉ D'UNE NOUVELLE STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE POUR LE MAROC

Vision court terme 2009-2012 : Plan National des Actions Prioritaires PNAP basé sur l'Efficacité Énergétique : Adoption de mesures urgentes d'efficacité énergétique.

Vision moyen terme et long terme : objectif de réaliser une économie de 12% de la consommation énergétique à l'horizon 2020 et 15 % à l'horizon 2030, par une meilleure utilisation de l'énergie dans tous les domaines d'activités économique et sociale.

ET DONT L'EFFICACITE ENERGETIQUE CONSTITUE UNE COMPOSANTE MAJEURE: POURQUOI?

- Dépendance énergétique et la facture qui y est associée
- Contexte énergétique mondiale et volatilité des prix des combustibles fossiles
- Contexte environnemental et changements climatiques
- 2 Gisements sûrs: les Economies d'Énergie et les ENR
- Nouvelle loi relative à l'Efficacité Énergétique favorisant la compétitivité des entreprises (audits énergétiques et mise à niveau des systèmes énergétiques)
- Nouvelles opportunités financières (Fonds dédiés: FTP, FDE, MDP, Prêts concessionnels,...)

- Contexte politique favorable (Statut avancé avec l'UE, Plan solaire, Desertec...)

Une nouvelle stratégie nationale pour l'efficacité énergétique

Une vision déclinée :

- A Court terme en Plan National d'Actions Prioritaires (PNAP) : Adoption de mesures urgentes d'efficacité énergétique.
- A Moyen Terme et Long Terme : objectifs de réaliser une économie de 12% de la consommation énergétique à l'horizon 2020 et 15% à l'horizon 2030, par une meilleure utilisation de l'énergie dans tous les domaines d'activités économique et sociale.

PNAP : DES ACTIONS D'EFFICACITE ENERGETIQUE A FORT IMPACT 2012-2008

Action	Principe	Impact
Généralisation des Lampes à Basse Consommation (LBC)	Distribution de 22,7 Millions de lampe à basse consommation	Effacement à la pointe de 900 MW
Tarification sociale et incitative de type -20 -20 pour tous les résidentiels et collectivités locales	Rabais de -20% par rapport à un référentiel pour une consommation inférieure de 20% par rapport à un objectif.	Effacement à la pointe de 300 MW
Mise en place d'un tarif optionnel super pointe pour les industriels THT -HT	Inciter ces clients THT-HT à s'effacer davantage pendant les heures de forts appels de puissance tout en réalisant des gains sur leurs factures.	87 MW
Tarification bi horaire optionnelle	Tarification bi horaire pour la force motrice BT, équipement en compteurs bi horaires préalables.	16 MW
Éclairage public	Mise en place d'équipement d'efficacité énergétique tels que des stabilisateurs, économiseurs et lampe à basse consommation	87 MW
Programme national d'Efficacité Énergétique (Bâtiment, Industrie, Transport, etc.)	Généralisation des Chauffes Eau Solaires Audits énergétiques et mise en place des recommandations	Économie de 12% à l'horizon 2020 et 15% en 2030
GMT + 1	Adopté en phase d'essai à partir de 1 ^{er} juin 2008	80 à 90 MW
Produits pétroliers	Actions prioritaires pour la maîtrise de la consommation des produits pétroliers	

Promotion de l'efficacité énergétique

- 1. La nécessité de comprendre le besoin d'efficacité énergétique.
- 2. La nécessité d'accroître l'efficacité énergétique.
- 3. Les énergies renouvelables

La nécessité de comprendre le besoin d'efficacité énergétique

Du niveau global au niveau local, l'épuisement des ressources énergétiques fossiles et minérales, les désordres environnementaux majeurs, les risques de conflits internationaux, le cadre réglementaire contraignant, la vulnérabilité de l'activité de l'entreprise ou du territoire... tout indique qu'il est urgent d'anticiper et de mettre en place des projets d'efficacité énergétique qui permettent de diminuer l'énergie nécessaire à la production d'un service en conservant sa qualité.

Le caractère urgent ne doit pas pour autant masquer l'obligation de réussite des projets, surtout dans un contexte propice aux opportunités. De la préparation des projets d'efficacité au suivi des performances en passant par la mesure de l'existant, le choix des actions et leur mise en œuvre, les porteurs de projets doivent maîtriser les conditions de la réussite avant de passer à l'action.

L'efficacité énergétique est le rapport entre l'énergie produite par un système dans un but précis par rapport à l'énergie consommée

Exemples :

- Une lampe à incandescence a une efficacité énergétique de 5%, car seule 5% de l'énergie électrique est effectivement convertie en lumière, le reste est perdu en chaleur.
- Une ampoule fluo compacte a une efficacité énergétique de 25%, les LEDs permettent d'atteindre 50% et plus !

▪ Autre exemple :

- Un moteur à combustion classique dans un véhicule a une efficacité énergétique d'environ 30%, c'est-à-dire que seuls 30% de l'énergie contenue dans l'essence est effectivement convertie en énergie mécanique.
- Les moteurs électriques atteignent facilement des efficacités énergétiques supérieures à 90% !
- Tout ceci nous fait comprendre qu'il y a de vieilles technologies que l'on considère souvent comme étant obligatoires mais qui sont en réalité complètement inefficaces au regard d'autres technologies. Il existe des solutions pour changer les choses !

Efficacité énergétique : Utilisation efficiente de l'énergie consommée lors d'une activité quelconque. Améliorer son rendement énergétique consiste à faire une activité ou à offrir un service en réduisant au maximum sa consommation d'énergie.

I - TERMINOLOGIE RELATIVE À L'ÉCLAIRAGE

1. Introduction

L'éclairage public repose sur les valeurs de la ville pour laquelle il est destiné. Il combine le respect de l'histoire, de la tradition et les enjeux de développement de la ville pour laquelle il a été conçu. Cependant, il est destiné avant tout aux hommes qui y vivent.

Élément de qualité, il participe à la stratégie générale de valorisation de l'espace communal et d'amélioration de la vie dans les villes ou villages. Il renforce le sentiment d'appartenance des habitants à leur espace et peut être l'un des symboles de créativité. L'éclairage public prend actuellement une nouvelle dimension, il n'est plus seulement au service de la sécurité ou du confort mais il s'intègre dans une composante d'aménagement urbain.

L'éclairage public est un poste particulièrement sensible au niveau des collectivités locales, aussi bien en termes de qualité de service vers les usagers qu'en termes de budget. Sur ce dernier point, il n'est pas rare, surtout dans des collectivités locales, que le budget qui soit alloué pour l'éclairage public dépasse 15 à 20 % du budget de la collectivité.

Il existe pour cet usage de l'électricité un potentiel d'économie d'énergie important qui nécessite la mise en œuvre d'une approche méthodologique cohérente sans nuire à ses deux objectifs fondamentaux que sont le confort et la sécurité des usagers.

2. Eclairage

a. Objectif de l'éclairage :

Les objectifs à atteindre : Ils sont de trois natures :

- La sécurité des personnes et des biens ;
- L'harmonie du mobilier d'éclairage avec son environnement ;
- La mise en valeur nocturne de l'espace.

Tout projet d'éclairage doit être réalisé selon les objectifs bien définis. Eclairage résidentiel et urbain, l'éclairage intérieur commercial, architectural, industriel ou

l'éclairage extérieur. L'éclairage d'une voie doit être traité de manière différente à celle de l'éclairage d'un espace vert ou d'un piétonnier.

Aujourd'hui, l'éclairage représente 15 % de la facture d'électricité d'un ménage.

L'éclairage dans le secteur résidentiel et tertiaire représente 14% de toute l'électricité consommée au Maroc.

b. Définitions:

L'éclairage c'est l'ensemble des techniques et des appareils ayant pour but de produire une lumière artificielle. Le résultat de l'éclairage est dit éclairement.

Eclairément :

C'est la densité de lumière sur une surface. Il s'exprime par la formule $E=F/S$ en Lux

Quelques valeurs à retenir salles de dessins, tables =850 lux grande surface=600 lux salles de cinéma= 40 lux Travail délicat ou de précision =1250 à 1750 lux

Ces valeurs ont été obtenues de l'association française de l'éclairage AFE

Rendu des couleurs (indice rendu de couleur IRC ou RA)

La qualité de rendu des couleurs est l'effet d'une source lumineuse sur l'aspect chromatique d'objets, en comparaison de l'aspect chromatique de ces mêmes objets éclairés par une source de référence dans des conditions d'observation spécifiées. Indice de rendu des couleurs d'une source (I.R.C.): Evaluation du degré d'accord entre l'aspect chromatique d'objets éclairés par la source considérée et celui des mêmes objets éclairés par une source de référence dans des conditions d'observation spécifiées (valeur maxi de l'I.R.C.:100). Exemples d'I.R.C. :

- Sodium blanc : 80 (bon)
- Ballon fluorescent :50 (moyen)
- Lampe sodium haute pression : 20 (médiocre)

Luminance

C'est le quotient de l'intensité lumineuse d'une surface par l'aire apparente de cette surface pour un observateur lointain

Il s'exprime en cd/m^2

Quelques valeurs à titre d'exemple: auto route= $2cd/m^2$; voies importantes = 1 à $2cd/m^2$ voies à trafic important = 2 cd/m^2 ; Traversés secondaires=1 à $2 cd/m^2$

Ces valeurs ont été obtenues de l'association française de l'éclairage AFE

Température de couleur (Tc)

La température de couleur est la couleur apparente de la lumière fournie par une lampe et elle est exprimée en degré KELVIN qui permet de classer les lampes en :

- Blanc « *teinte chaude* » $tk < 3300^\circ k$
- Blanc « *intermédiaire* » tk entre 3300° et $5000^\circ k$
- Blanc « *teinte froide* » $tk > 5000^\circ k$

plus la température des couleurs est élevée, plus le niveau d'éclairément doit être élevé

Eblouissement

Constructeurs et utilisateurs, de plus en plus sensibles aux notions de confort, ont développé des méthodes de calcul basés sur les luminances que sur l'éclairément permettant d'évaluer la qualité des installations en termes de visibilité et d'éblouissement

On rencontre deux types d'éblouissements :
1. L'éblouissement **direct** par les sources lumineuses
2. L'éblouissement **indirect**

Flux lumineux unitaire (Im)

Energie lumineuse rayonnée par une source par une unité de temps : C'est le débit de lumière

Rendement d'un luminaire

C'est le rapport d'un flux lumineux utilisable émis par

le luminaire au flux lumineux émis par la lampe qui s'y trouve.

Efficacité lumineuse EL (Im/w)

C'est le rapport du flux lumineux émis par la lampe sur la puissance consommée. Elle s'exprime en lumen/Watt ex : une lampe de sodium haute pression de 250w a une efficacité 120 lm/W une lampe fluorescente de 58w à 70 lm/w

Lumière artificielle

Un rayonnement lumineux artificiel peut-être produit à partir de l'énergie électrique selon deux principes :

L'incandescence

C'est la production de lumière par élévation de température. Le spectre de rayonnement émis est continu. L'énergie fournie est transformée en effet Joule et en flux lumineux.

La luminescence

C'est le phénomène d'émission par la matière, d'un rayonnement lumineux visible ou proche du visible.

Electroluminescence des gaz: un gaz (ou des vapeurs) soumis à une décharge électrique émet un rayonnement lumineux.

Luminaire

Appareil d'éclairage servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière des lampes et comprenant toutes les pièces nécessaires pour fixer et protéger les lampes et pour les relier au circuit d'alimentation.

Lanterne (luminaire de style)

Lanterne est parfois utilisé pour désigner des luminaires entourés d'une enveloppe décorative destinée à lui donner un style approprié à l'esthétique de son environnement.

Projecteur

Est un luminaire où la lumière est centrée dans un angle solide délimité par un système optique mettant en œuvre le phénomène de réflexion (lentilles) afin d'obtenir une intensité lumineuse élevée.

Lampe

Source de lumière d'un luminaire, elle est généralement à décharge et peut être de plusieurs types

- Sodium à haute pression
- Sodium à basse pression
- Vapeur de mercure
- Iodure métalliques

Spot

Un luminaire de dimension très réduite. La caractéristique particulière qui le distingue des autres appareils c'est qu'il a un flux dirigé.

Lampes à décharge

Lampe dans laquelle la lumière est produite par décharge électrique dans un gaz, une vapeur métallique ou un mélange de plusieurs gaz et vapeurs.

Exemples : le ballon fluorescent, la lampe à vapeur de sodium haute pression.

Starter

Est un dispositif d'amorçage, destiné en particulier aux lampes fluorescentes, qui assure le préchauffage requis des électrodes en combinaison avec l'impédance du ballast, provoque une surtension momentanée sur la lampe.

Amorceur

Est un appareil soit seul soit en combinaison avec d'autres éléments de circuit, engendre des impulsions de tension destinées à amorcer des lampes à décharge sans assurer le préchauffage des électrodes.

Ballast

Est un dispositif interposé entre l'alimentation d'une ou plusieurs lampes à décharge et qui sert principalement à limiter le courant de la ou des lampes à la valeur requise. Un ballast peut aussi comporter un transformateur de tension d'alimentation, des éléments de correction du facteur de puissance et peut être seul ou en combinaison avec un dispositif d'amorçage de la ou des lampes.

SUPPORTS

Candélabre :

Support destiné à recevoir un ou plusieurs luminaires. Un candélabre comporte une ou plusieurs parties : le fût, la rehausse, une ou plusieurs crosses.

Le **fût** d'un candélabre est la partie principale ou unique du candélabre, pouvant porter crosse rehausse ou luminaire.

Le **rehausse** d'un candélabre est une partie verticale, intermédiaire entre le fût et la crosse ou le luminaire.

La **crosse** d'un candélabre est un élément constitutif destiné à porter un luminaire à une distance déterminée de l'axe de la partie rectiligne intérieur du fût. La crosse peut avoir un ou plusieurs bras. Elle forme avec le candélabre un ensemble démontable ou non.

La **plaque d'appui** est une plaque munie d'une entrée pour les câbles, solidaire au fût d'un candélabre, pour permettre la fixation de celle-ci sur une fondation en béton ou autre ouvrage.

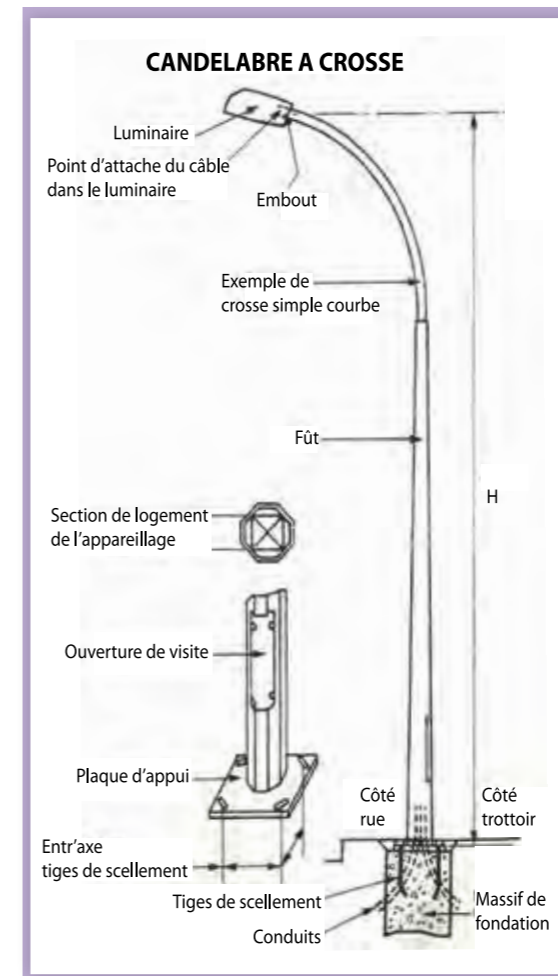
L'**ouverture de visite** (porte visite) est une ouverture dans le candélabre, fermée par une porte et qui permet l'accès aux équipements électriques.

Les **tiges de scellement** sont des tiges métalliques scellées dans le massif de fondation et permettant de fixer la plaque d'appui sur ce massif.

Le **mât** est un terme utilisé parfois pour désigner un candélabre droit ne comportant ni crosse ni rehausse; généralement utilisé pour recevoir des projecteurs fixés sur des travers

Console

Support de luminaire posé en applique sur la façade d'un immeuble ou sur un poteau le fût.



II. L'enjeu économique

1. Introduction

Éclairage et économie : Éclairer est une nécessité qui répond à une demande de sécurité et d'ambiance urbaine. Éclairer, c'est investir dans une installation (fabrication, transport, installation) et assurer son exploitation (Changement et recyclage des lampes, nettoyage des luminaires, consommation d'énergie).

L'éclairage public consomme de l'énergie électrique pour son installation et son exploitation: il contribue ainsi aux émissions de CO2 et autres gaz à effet de serre.

Et pourtant, il est difficile de concevoir des rues sans installation d'éclairage. Mais, il est possible de l'optimiser et d'en atténuer les impacts sur l'environnement, tout en réalisant des économies substantielles.

Pour se faire il faut identifier les principaux axes, à savoir :

- Le marché Industriel des lampes.
- Les alimentations électriques des lampes
- L'évolution du marché des Ballasts.
- L'évolution du marché des Luminaires.
- L'évolution du marché des appareils économiseurs de puissance.
- L'évolution du marché des appareils de Commande d'allumage et d'extinction de l'éclairage public.
- Les systèmes de l'éclairage public dits intelligents.

2. Le marché Industriel des lampes

a. Les différentes technologies de lampes

- Lampes à incandescence (les ampoules standard, les ampoules à halogène)
- Lampes fluorescentes (les tubes fluorescents, lampes fluo-compactes)

- Lampes à décharge (lampes à vapeur de sodium BP ou HP, lampes à vapeur de mercure haute pression, lampes à halogénures métalliques)
- Diodes électroluminescentes ou LED (Light Emitting Diodes)
- Lampes à usages spéciaux

2 domaines :

- **L'éclairage fonctionnel** : routes, autoroutes, tunnels, ponts, carrefours...
- **L'éclairage résidentiel** : places, quartiers piétons et résidentiels

A chaque application, ses lampes

- **Routes, carrefours et voies** : Lampes à vapeur de mercure et sodium HP
- **Tunnels, passages souterrains et sous pont** : Lampes à vapeur de sodium HP et BP, à induction, tubes fluo (exceptionnellement iodures métalliques)
- **Places et quartiers piétons** : Lampes à vapeur de sodium HP
- **Quartiers résidentiels** : Lampes à vapeur de mercure et sodium HP

Les types de luminaires utilisés :

- **Routes, carrefours et voies**: Candélabres hauts (entre 8 et 12m)
- **Places, quartiers piétons et résidentiels** : Lampadaires, bornes, candélabres (3m)
- **Tunnels, passages souterrains et sous pont** : Consoles murales

Les lampes à incandescence

Ce sont les lampes «classiques» utilisées pour l'éclairage intérieur.

L'ampoule contient un filament de tungstène qui, porté à haute température (environ 2500°C) par le passage d'un courant électrique, émet de la lumière.

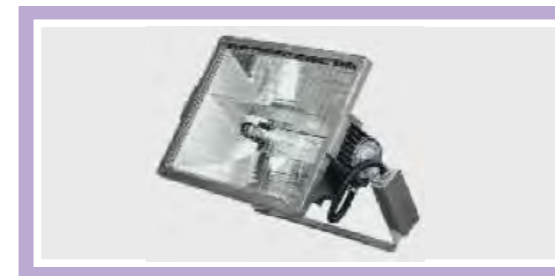
Généralement l'ampoule est remplie d'un gaz inerte comme l'argon ou le krypton, qui permet d'éviter la détérioration du filament.

Ces lampes ont un rendement lumineux faible, car la plus grande partie de l'énergie électrique est convertie en chaleur plutôt qu'en lumière.



Les lampes halogènes

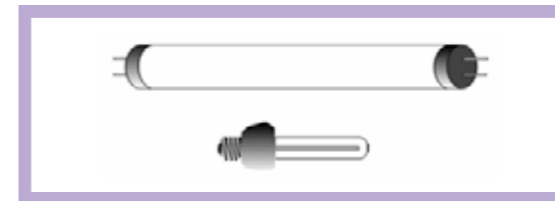
Ce sont des lampes à incandescence dans lesquelles on a ajouté un gaz de la famille des halogènes ou un de leurs dérivés (p.ex. I₂, CH₃Br ou CH₂Br₂). Ce gaz régénère le filament de tungstène (cycle halogène) et augmente ainsi fortement sa durée de vie. Les lampes halogènes ont un meilleur rendement que les lampes à incandescence classiques, car elles fonctionnent à plus haute température (environ 2900°C). L'ampoule doit alors être réalisée dans un matériau résistant à ces hautes températures : quartz ou verres spéciaux (d'où l'appellation courante de lampe quartz-iodure). A cause de leur température plus élevée, les lampes halogènes émettent plus de rayonnements ultraviolets, qui ne sont pas absorbés par le quartz de l'ampoule; pour cette raison, on place généralement devant la lampe une fenêtre en matière plastique transparente ou en verre dont la fonction est d'absorber ces radiations nocives.



Les tubes fluorescents

Appelés couramment «néons», ils renferment un mélange d'argon et de vapeur de mercure très raréfié; une décharge électrique au travers de ce gaz, d'un bout à l'autre du tube, fait briller le mercure d'un rayonnement ultraviolet, qui excite une substance fluorescente (composés phosphorés) déposée sur la paroi interne du tube; cette substance émet en retour une lumière blanche.

Les lampes dites économiques, qui se substituent de plus en plus aux lampes à incandescence, sont également des tubes fluorescents, dits compacts.



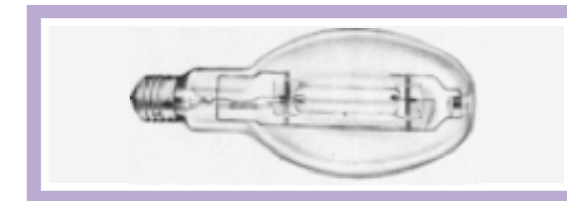
Les lampes à vapeur de mercure

Autrefois utilisées en abondance pour l'éclairage public, elles sont de plus en plus remplacées par les lampes au sodium, qui ont un meilleur rendement lumineux.

Elles produisent une lumière blanc-bleuté, grâce à une décharge électrique à travers la vapeur de mercure à haute pression (500 fois la pression des tubes fluorescents) contenue dans l'ampoule.

A cause de cette pression plus élevée, elles émettent plus de lumière visible et moins d'ultraviolet que les tubes fluorescents.

Ces lampes sont interdites dans les régions réglementant l'éclairage, car elles consomment beaucoup d'énergie.



- Aujourd'hui dépassée pour être remplacée par le sodium (meilleur rendement lumineux)
- Pollution importante lors de la destruction
- Consommation importante
- Lumière blanche bleutée

Les lampes à vapeur de sodium à basse pression

Le tube est rempli d'un mélange de néon, d'argon et de parcelles de sodium. Une décharge électrique dans ce mélange fournit une lumière orange monochromatique (longueur d'onde 589 nm).

Le néon, avec sa couleur rouge caractéristique, sert à démarrer la décharge et à chauffer le sodium.

Ces lampes sont surtout utilisées pour l'éclairage des routes. De toutes les sortes de lampes actuellement disponibles, ce sont celles qui ont la plus grande efficacité lumineuse. C'est le type de lampe idéal quand le rendu des couleurs n'est pas important. Dans les régions qui ont établi des règlements sur l'éclairage extérieur, c'est le seul type de lampe autorisé à proximité des observatoires astronomiques, car le rayonnement qu'elles émettent peut facilement être filtré.

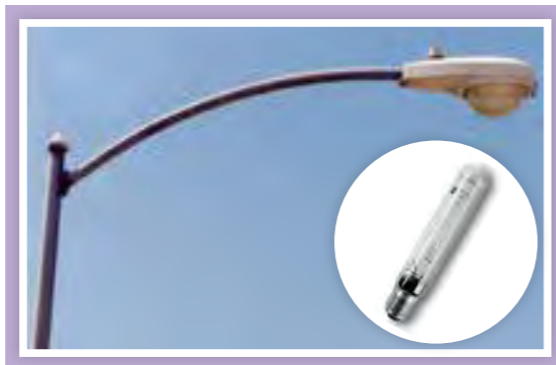


Les lampes à vapeur de sodium BP :

- Lumière orange monochromatique
- Faible coûts d'exploitation
- Efficacité élevée
- Très longue durée de vie
- IRC médiocre

Les lampes à vapeur de sodium à haute pression

Également des lampes à décharge, elles émettent une lumière jaune-orange, plus éblouissante que les lampes au sodium à basse pression, et elles donnent un rendu des couleurs un peu meilleur que ces dernières (mais ce rayonnement en bande spectrale plus large est plus difficile à filtrer pour les observations astronomiques). Actuellement, c'est ce type de lampes qui est le plus couramment installé pour l'éclairage public, bien que son efficacité lumineuse soit moins bonne que celles des lampes au sodium à basse pression.



- Bon équilibre entre efficacité, rendu des couleurs et durée de vie
- Lumière jaune orange
- Plus éblouissante que la lampe à vapeur de sodium BP
- IRC un peu meilleur que la lampe à vapeur de sodium BP
- Efficacité lumineuse moins bonne que la lampe à vapeur de sodium BP

Les lampes à halogénures métalliques

Elles forment un arc électrique (d'une dizaine de mm) dans une ampoule renfermant des halogénures métalliques et des vapeurs de mercure à haute pression. Les métaux vaporisés émettent une lumière blanche vive, avec une grande efficacité (5 fois meilleure qu'une lampe à incandescence); ces lampes sont donc intéressantes quand on désire un bon rendu des couleurs.

Les éléments halogénés servent à augmenter la concentration en métaux vaporisés dans la zone chaude de l'arc. Tout comme pour les lampes halogènes à filament de tungstène, les ampoules de ces lampes sont en quartz et laissent échapper un rayonnement ultraviolet qui doit être filtré.

Ces lampes sont utilisées dans les vitrines commerciales, les terrains de sport, ...



Diodes électroluminescentes ou LED

Le développement récent de diodes de couleur blanche ou bleue à haut rendement lumineux ouvre de nouvelles perspectives, en particulier pour la signalisation (feux de circulation, panneaux de sécurité ou l'éclairage de secours).

Le courant moyen dans une LED est de 20 mA, la chute de tension étant comprise entre 1,7 et 4,6 V suivant la couleur. Ces caractéristiques sont donc propices à une alimentation en très basse tension, en particulier par des batteries.

L'alimentation par le réseau nécessite un convertisseur.

L'avantage des LED est leur faible consommation d'énergie. Il en résulte une faible température de fonctionnement qui autorise une très longue durée de vie.

Ampoules à LEDs Edison haute qualité (20 ans de durée de vie)



Lampes à induction

- Fluo compacte à induction
- Durée de vie nettement supérieure aux autres sources
- Peu encombrante



Lampes à usages spéciaux

Elles sont, à l'exception des deux dernières, d'un emploi unitaire. Dans tous les cas, leur alimentation électrique doit être étudiée selon les informations techniques spécifiques délivrées par leurs constructeurs.

- Lampes à incandescence spéciales pour les feux tricolores
- Lampes spéciales à vapeur de mercure
- Lampes pour photosynthèse
- Lampes germicides
- Lampes génératrices d'UVA
- Lampes à lumière noire
- Lampes aux halogènes spéciales
- Lampes adaptées à la projection pour les studios et théâtres
- Lampes chauffantes

Lampes pour photosynthèse

Lampes émettant une lumière blanche avec un rayonnement autour de 655 nm

Elles sont destinées à accélérer la photosynthèse des plantes. Les applications sont, par exemple, les magasins de fleuristes, les halls d'entrée, les serres industrielles.

Lampes germicides

Elles émettent de l'ultraviolet dans la longueur d'onde 253,7 nm. Les applications sont la purification, la stérilisation de l'air, de l'eau et des instruments dans l'industrie pharmaceutique, les hôpitaux, les stations de traitement ou les laboratoires. Ces lampes émettent un rayonnement dangereux pour les yeux et la peau.

Lampes à lumière noire

Elles génèrent une émission d'ultraviolets dans les grandes longueurs d'ondes ayant pour effet d'activer les pigments fluorescents. Les applications sont la recherche de défauts en industrie ou de faux (billets, tableaux...) ainsi que les spectacles.

Lampes adaptées à la projection pour studios et théâtres

- Leur température de couleur est de °3200 K.
- Leurs puissances peuvent atteindre 5000 W.
- Ces lampes ont une meilleure efficacité lumineuse et des flux lumineux plus importants mais une durée de vie réduite (12 h, 100 h, 500 h).

Lampes chauffantes

Elles génèrent un faisceau d'énergie calorifique en infrarouge court. Certains types sont destinés à l'élevage, d'autres au séchage et à la cuisson de peintures, au chauffage dans les processus industriels ou au chauffage de zone par rayonnement.

Lampes spéciales à vapeur de mercure

Elles émettent un faisceau homogène de lumière blanc-bleu destinée à la reprographie, la sérigraphie ou l'éclairage à effets en joaillerie.

b. Diverses caractéristiques des lampes

Les principales caractéristiques sont :

- Domaines d'emploi
- Efficacité lumineuse
- Spectre d'émission
- Durée de vie

Domaines d'emploi

Technologie	Utilisation	Avantages	Inconvénients
Incandescence standard	- Usage domestique - Eclairage localisé décoratif	- Branchement direct sans appareillage intermédiaire - Prix d'achat peu élevé - Faible encombrement - Allumage instantané - Bon rendu des couleurs	- Efficacité lumineuse faible et consommation électrique importante - Forte dissipation de chaleur - Faible durée de vie
Incandescence halogène	- Eclairage ponctuel - Eclairage intense	- Branchement direct - Allumage instantané - Excellent rendu des couleurs	- Efficacité lumineuse moyenne
Tube fluorescent	- Magasins, bureaux, ateliers - Extérieurs	- Efficacité lumineuse élevée - Rendu de couleurs moyen	- Puissance lumineuse unitaire faible - Sensible aux températures extrêmes
Lampe fluo-compacte	- Usage domestique - Bureaux - Remplacement des lampes à incandescence	- Bonne efficacité lumineuse - Bon rendu de couleurs	- Investissement initial élevé par rapport aux lampes à incandescence
Vapeur de mercure HP	- Ateliers, halls, hangars - Cours d'usines	- Bonne efficacité lumineuse - Rendu de couleurs acceptable - Faible encombrement - Durée de vie élevée	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Sodium haute pression	- Extérieurs - Halls grandes dimensions	- Très bonne efficacité lumineuse	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Sodium basse pression	- Extérieurs - Eclairage de sécurité	- Bonne visibilité par temps de brouillard - Exploitation économique	- Temps d'allumage long (5 min.) - Rendu des couleurs médiocre
Halogénure métallique	- Grands espaces - Halls de grande hauteur	- Bonne efficacité lumineuse - Bon rendu de couleurs - Durée de vie élevée	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
LED	- Signalisation (feux tricolores, panneaux « sortie » et éclairage de secours)	- Insensibles au nombre de commutations - Faible consommation d'énergie - Basse température	- Nombre limité de couleurs - Faible luminosité unitaire

Efficacité lumineuse

- Par efficacité lumineuse, on entend la capacité de l'ampoule et des circuits connexes à transformer le pouvoir électrique en lumière. Elle se mesure en lumens par watt. L'efficacité lumineuse et la durée de vie varient en fonction du genre et de la grosseur de l'ampoule et des fabricants.
- On peut voir que les lampes au sodium à basse pression, les moins polluantes pour l'observation astronomique, sont aussi les plus efficaces et devraient donc être utilisées pour l'éclairage extérieur partout où le rendu de couleur n'est pas critique (en veillant, bien sûr, à une conception et un placement conformes à la protection du ciel).

Spectre d'émission

Indice de rendu des couleurs

- L'indice indique les aptitudes de la lumière émise par la source à restituer l'aspect coloré de l'objet éclairé. La Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E.) a défini une échelle de 1 à 100.
- La qualité de rendu des couleurs est visée par un décret. La circulaire précise nettement ce qu'il faut entendre par là : « l'indice de rendu des couleurs satisfaisant est supérieur à 80, un indice inférieur à 60 ne pouvant convenir qu'à des activités ne nécessitant aucune exigence de rendu des couleurs »
- Pour compléter la notion de rendu des couleurs, la courbe spectrale d'une source lumineuse visualise la composition de son rayonnement suivant les différentes longueurs d'onde perçues par l'œil humain (de 380 à 760 nm)

Répartition en longueurs d'onde

- Chaque genre de source lumineuse a sa propre

Principales caractéristiques techniques

Technologie	Puissance (Watt)	Rendement (lumen/watt)	Durée de vie (heures)
Incadescence standard	3 - 1000	10 - 15	1000 - 2000
Incadescence halogène	5 - 500	15 - 25	2000 - 4000
Tube fluorescent	4 - 56	50 - 100	7 500 - 24 000
Lampe fluo-compacte	5 - 40	50 - 80	10 000 - 20 000
Vapeur de mercure HP	40 - 1000	25 - 55	16 000 - 24 000
Sodium haute pression	35 - 1000	40 - 140	16 000 - 24 000
Sodium basse pression	35 - 180	100 - 185	14 000 - 18 000
Halogénure métallique	30 - 2000	50 - 115	6 000 - 20 000
LED	0,05 - 0,1	10 - 30	40 000 - 100 000

répartition en longueurs d'onde. Les lumières incandescentes couvrent toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, alors que les lumières à décharge gazeuse ne couvrent qu'une partie du spectre, provoquant ainsi parfois de la distorsion dans les couleurs, p. ex. la couleur rouge peut sembler brune sous un éclairage au sodium à basse pression.

- Certains types de lampes émettent de la lumière «invisible» (ultraviolet et infrarouge), qui ne sert à rien pour l'éclairage; cette lumière indésirable pollue les observations astronomiques et peut abîmer la vue; elle doit donc être filtrée.

Durée de vie

- Dans tous les cas, la durée de vie des lampes est réduite par des allumages fréquents, à l'exception des lampes fluo-compactes à induction et des LED.
- Nous allons étudier les alimentations des technologies les plus courantes, et les aménagements pour augmenter cette durée de vie.

3- Les alimentations électriques des lampes

Les différents modes d'alimentation

Technologie	Mode d'alimentation	Autre dispositif
Incadescence standard	Allimentation directe	Variateur de lumière type gradateur
Incadescence halogène		
Incadescence halogène TBT	Transformateur	Convertisseur électronique
Tube fluorescent	Baliast magnétique et starter	Baliast électronique Baliast + variateur électroniques
Lampe fluo compacte	Baliast électronique intégré	
Vapeur de mercure	Baliast magnétique	Baliast électronique
Sodium haute pression		
Sodium basse pression		
Halogénure métallique		

a. L'alimentation des lampes à incandescence

En raison de la température très élevée du filament en cours de fonctionnement (jusqu'à 2500° C), sa résistance varie dans de grandes proportions selon que la lampe est éteinte ou allumée. La résistance à froid étant faible, il en résulte une pointe de courant à l'allumage pouvant atteindre 10 à 15 fois le courant nominal pendant quelques millisecondes à quelques dizaines de millisecondes.

- Cette contrainte concerne aussi bien les lampes ordinaires que les lampes à halogène elle impose de réduire le nombre maximal de lampes pouvant être alimentées par un même dispositif tel que télérupteur, contacteur modulaire ou relais pour canalisations préfabriquées.

b. Lampes à halogène à très basse tension

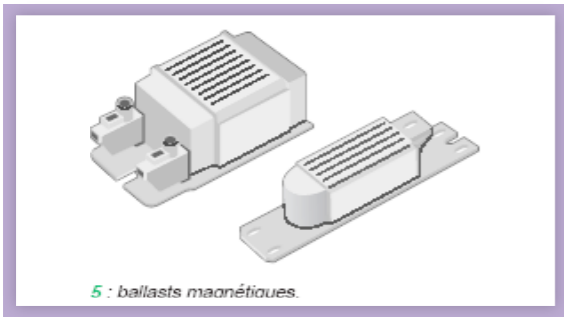
Il existe maintenant de nouvelles lampes TBT à halogène avec un transformateur intégré dans leur culot. Elles peuvent être alimentées directement à partir du réseau BT et remplacer des lampes à incandescence normales sans aucune adaptation.

- F75 ininflammable tenue à 75 C

c. L'alimentation des luminaires à ballasts magnétiques

Les ballasts magnétiques les plus récents sont dits « à faibles pertes ». Leur circuit magnétique a été optimisé, mais le principe de fonctionnement reste le même. Cette nouvelle génération de ballasts est amenée à se généraliser, sous l'influence de nouvelles réglementations.

Le ballast magnétique :



Les tubes fluorescents et les lampes à décharge nécessitent une limitation de l'intensité de l'arc; cette fonction est remplie par une inductance (ou ballast magnétique) placée en série avec l'ampoule elle-même.

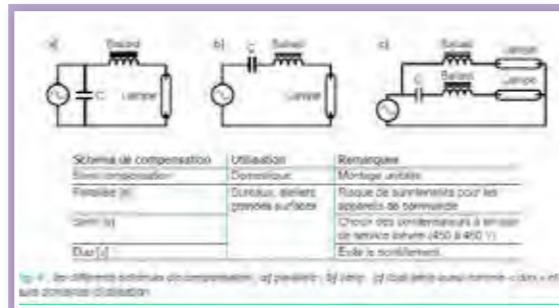
Cette disposition est la plus utilisée dans les applications domestiques où le nombre de tubes est limité. Aucune contrainte particulière n'est appliquée aux interrupteurs.

Les variateurs de lumière de type gradateur ne sont pas compatibles avec les ballasts magnétiques : l'annulation de la tension pendant une fraction de la période provoque l'interruption de la décharge et l'extinction totale de la lampe.

La compensation

Le courant absorbé par l'ensemble tube et ballast étant essentiellement inductif, le facteur de puissance est très faible (en moyenne entre 0,4 et 0,5). Dans les installations comportant un grand nombre de tubes, il est nécessaire de prévoir une compensation pour améliorer le facteur de puissance.

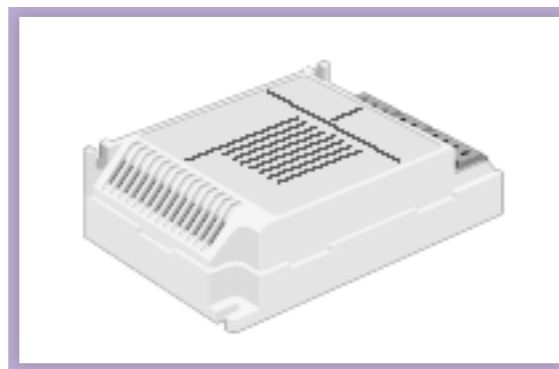
Les schémas possibles



d. L'alimentation des luminaires à ballasts électroniques

Les ballasts électroniques sont utilisés en remplacement des ballasts magnétiques pour l'alimentation des tubes fluorescents (y compris les lampes fluo-compactes) et des lampes à décharge. Ils assurent également la fonction de « starter » et ne nécessitent pas de condensateur de compensation.

Ballasts électroniques

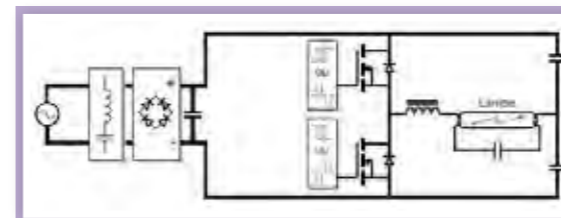


- Le principe du ballast électronique consiste à alimenter l'arc de la lampe par un dispositif électronique générant une tension alternative de forme rectangulaire.

- On distingue les dispositifs à basse fréquence ou hybrides, dont la fréquence est comprise entre 50 et 500 Hz, et les dispositifs à haute fréquence dont la fréquence est comprise entre 20 et 60 kHz.
- L'alimentation de l'arc par une tension à haute fréquence permet d'éliminer totalement le phénomène de papillotement et les effets stroboscopiques. Le ballast électronique est totalement silencieux.

Principe d'un ballast électronique :

- Un ballast électronique comprend essentiellement un étage redresseur (avec éventuellement une correction du facteur de puissance, Power Factor Correction -PFC-)
- Schéma de principe d'une lampe alimentée par un ballast électronique avec un condensateur de filtrage de la tension redressée et un étage onduleur en demi-pont.



- Son alimentation est également possible en courant continu.

Contrainte apportée par les ballasts électroniques sur les réseaux

Fort courant d'appel à la mise sous tension lié à la charge initiale des condensateurs de filtrage. En raison des impédances de câblage, le courant d'appel pour un ensemble de lampes est de l'ordre de 5 à 10 In pendant moins de 5 ms. Contrairement aux ballasts magnétiques, ce courant d'appel n'est pas accompagné de surtension.

Courants harmoniques

Pour les ballasts associés aux lampes à décharge de forte

puissance, le courant absorbé au réseau présente un faible taux de distorsion harmonique (< 20 % en général et < 10 % pour les dispositifs les plus évolués). Par contre, les dispositifs associés aux lampes de faible puissance, en particulier les lampes fluo-compactes, absorbent un courant très déformé. Le taux de distorsion harmonique peut atteindre 150 % avec un facteur de puissance de 0,55!!

Courants de fuite

Les ballasts électroniques disposent de condensateurs d'antiparasitage responsables de la circulation d'un courant de fuite permanent de l'ordre de 0,5 à 1 mA par ballast. Ceci conduit à limiter le nombre de ballasts qu'il est possible d'alimenter par un Dispositif à courant Différentiel Résiduel (DDR).

A la mise sous tension, la charge initiale de ces condensateurs peut provoquer également la circulation d'une pointe de courant dont l'amplitude peut atteindre quelques ampères, qui peut provoquer le déclenchement intempestif.

e. Branchements des circuits d'éclairage

Les circuits d'éclairage sont en général connectés entre les phases et le neutre de manière équilibrée. Dans ces conditions, le fort taux d'harmoniques de rang 3 et multiples de 3 peut provoquer une surcharge du conducteur de neutre. La situation la plus défavorable conduit à un courant neutre pouvant atteindre racine de trois fois le courant dans chaque phase.

Des limites d'émission harmonique pour les systèmes d'éclairage sont fixées par la norme CEI 61000-3-2.

f. Contraintes liées aux dispositifs d'éclairage et recommandations

- Le courant réellement absorbé par les luminaires pour les éclairages fluorescents, la puissance des ballasts magnétiques peut être évaluée à 25 % de celle des ampoules.
- Pour les ballasts électroniques, cette puissance est plus faible, de l'ordre de 5 à 10 %.

- Pour les éclairages incandescents, il faut tenir compte que la tension du réseau peut être supérieure de 10 % à sa valeur nominale et alors provoquer une augmentation du courant absorbé.

C'est en fonction des puissances totales et du facteur de puissance, calculés pour chaque circuit, que seront alors définis les seuils des protections de surintensités.

- Les surintensités à la mise sous tension
- La surcharge du conducteur de neutre
- Les courants de fuite à la terre
- Les surtensions

g. Usage des lampes économiques :

La vente des lampes basse consommation dépasse maintenant celle des lampes à incandescence.

L'éclairage représente un potentiel d'économies (en énergie et en puissance).

C'est un secteur stratégique pour la maîtrise de la demande d'énergie.

Des avantages et des inconvénients réels :

Les lampes fluorescentes offrent plusieurs avantages par rapport aux lampes à incandescence : une durée de vie moyenne 6 à 8 fois plus longue, une consommation et une puissance 5 fois moindres.

Elles présentent également des inconvénients : un prix d'achat élevé, un indice de rendu des couleurs d'environ 80 (100 pour l'incandescence), une esthétique parfois contestée, un facteur de puissance faible, une pollution harmonique qui peut perturber les réseaux électriques (si les lampes étaient très nombreuses), la nécessité d'un recyclage contrôlé.

Taux d'utilisation des lampes basse consommation



4. L'évolution du marché des Luminaires.

Un **luminaire** est un appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière d'une ou de plusieurs lampes et comprenant, à l'exclusion des lampes elles-mêmes, toutes les pièces nécessaires pour fixer et protéger les lampes et, éventuellement, les circuits auxiliaires ainsi que les dispositifs de connexion au circuit d'alimentation.

Cet appareil, quand il n'est pas directement la source de lumière, supporte un système fournissant la lumière artificielle, lampe, bougie, cierge, bec de gaz, ampoule électrique.

À propos de l'éclairage des voies publiques, on leur a donné le nom de réverbères puisqu'ils comportaient souvent un miroir réfléchissant la lumière vers le bas. On les trouve souvent sur les autoroutes ou dans les rues des villes.

En matière d'éclairage public, un bon luminaire est celui qui parvient à exploiter de façon optimale le flux lumineux émis par la lampe, de manière à cibler avec une grande précision l'endroit à éclairer.

Pour rendre l'éclairage public performant, il faut choisir des luminaires qui éclairent «juste» de telle sorte que leur efficacité Photométrique permet de réduire le nombre de points lumineux et la puissance des lampes. Résultats : des économies d'énergie non négligeables et un éclairage public sans nuisance lumineuse pour les habitants.

Evolutions des luminaires

Les principales évolutions technologiques à prévoir sont liées aux économies d'énergie, (dispositions réglementaires): les installations nouvelles sont équipées de lampes à haut rendement lumineux.

L'emploi de ballasts électroniques devrait progresser au détriment des magnétiques. La préoccupation majeure des constructeurs est de réduire les contraintes à l'enclenchement ainsi que les courants harmoniques, en particulier pour les lampes fluo-compactes. Une tendance à la réduction voire à la suppression du mercure dans les lampes est observable.

Un autre type de lampe basse consommation : Lampe à LED

Composées de plusieurs LED haute luminosité, d'une durée de vie très importante (cinquante à cent mille heures) les lampes à diodes commencent à remplacer les lampes à incandescence dans l'éclairage portatif. Ce type de lampe comporte de nombreux avantages pour des usages spécifiques :

- Allumage instantané
- Durée de vie (100 fois plus important qu'une ampoule classique)
- Peu de maintenance et grande résistance aux chocs et vibrations
- Insensibilité aux allumages répétés et aux basses températures
- Petite taille et esthétique...

Cependant leur coût élevé, la nécessité de l'emploi d'alimentation électronique et leur efficacité lumineuse modeste (25 lm/W pour les meilleures sources) limitent encore leur démocratisation face aux lampes à filaments.

Les LED un futur prometteur :

Par contre pour l'éclairage des ménages :

- Remplacer les ampoules à incandescences

par des LFC (lampes fluo compactes) permet de diviser sa facture d'électricité (éclairage) environ par 4.

- Remplacer les ampoules à incandescences par des LED permet de diviser sa facture d'électricité (éclairage) environ par 24.

En conséquence, même si la gamme proposée actuellement au public n'est pas encore à la hauteur, les LED laissent présager un futur proche prometteur.

5.L'évolution du marché des appareils économiseurs de puissance

a. Principe des optimiseurs :

Le principe des optimiseurs est de réguler la puissance électrique et de diminuer les coûts de fonctionnement d'une installation.

Certains optimiseurs permettent aussi de réguler et de stabiliser la tension nécessaire au fonctionnement des lampes d'éclairage public car ces lampes à décharge principalement utilisées en éclairage extérieur ont besoin d'une tension d'alimentation optimum adaptée à leur cycle de fonctionnement.

La conséquence directe de l'installation des optimiseurs de puissance est la variation du niveau d'éclairage. En effet, le flux lumineux de la lampe est lié à la tension d'alimentation et varie avec celle-ci .L'allumage et le fonctionnement corrects des lampes ne peuvent être obtenus qu'avec une tension stable maintenue dans les limites de - 8 % à + 6 % de la tension de réglage. Une chute supérieure à 7 % de la tension de réglage peut entraîner une extinction des sources. Inversement, un régime de surtension conduit à une dégradation et un vieillissement prématuré de la lampe.

D'une manière générale, les installations d'éclairage branchées sur le réseau de distribution publique subissent des perturbations électriques. Les optimiseurs tendent à limiter ces effets sur le réseau et les lampes d'éclairage public, tout en permettant des économies sur le fonctionnement.

b. Intérêt des optimiseurs

L'intérêt principal de ces optimiseurs est la réalisation d'économies sur la consommation d'énergie électrique et sur l'entretien des installations.

Économie d'énergie

L'économie réalisable suivant les différents systèmes d'optimisation pourra être de 20 % à 50 % d'énergie consommée. Cette économie sera en fonction de plusieurs paramètres :

- Tous les systèmes d'optimisation fonctionnent suivant des technologies différentes et ne disposent pas des mêmes caractéristiques ;
- Plus la tension initiale sera élevée ou subira des variations à la hausse (surtension), plus l'économie sera importante ;
- Le nombre de points lumineux raccordé sur l'armoire d'alimentation devra être suffisant, afin de permettre une rentabilité optimale du système, car la majorité des dispositifs de réduction de puissance doivent être installés au niveau de l'armoire de commande des points lumineux ;
- Le type de réseau et le type de lampes feront varier l'économie réalisable.

Toutes les lampes à décharges habituellement utilisées en éclairage extérieur peuvent être sous alimentées, mais ne réagissent pas de la même manière en fonction de leur type pour une même valeur de sous-alimentation.

Le tableau ci-dessous montre la tension minimale d'alimentation par type de lampe

Type de lampe	Valeur tension minimum (V)
Sodium haute pression	185
Sodium basse pression	190
Vapeur de Mercure	200
Iodures métalliques	185

Les réseaux devront être bien homogènes et les départs équilibrés quant à leur puissance, afin d'éviter les chutes de tension.

La première économie réalisable sera la maîtrise de fonctionnement de son éclairage. D'où la nécessité d'adapter le système de commande adéquat afin d'éviter les dérives de consommation.

c. Entretien des installations

L'utilisation des optimiseurs peut entraîner des économies pour l'entretien des installations, grâce en particulier à l'augmentation de la durée de vie des lampes.

L'annulation ou la réduction des perturbations électriques favorisent le fonctionnement des sources lumineuses permettant l'augmentation de leur durée de vie jusqu'à 50 % en fonction du type de lampe. Par exemple, une source sodium haute pression de durée de vie de 8 000 heures pourra être remplacée après un fonctionnement de 12 000 heures, soit des fréquences de remplacement plus importantes, et donc des économies.

L'entretien quotidien peut également être réduit grâce à la stabilisation de la tension qui va éviter le vieillissement prématuré de tous les éléments électriques (appareillages, lampes, fusibles, connexion, etc. .)

Il est nécessaire de préciser que ces économies ne seront réalisables qu'avec un réseau fiable et une installation en bon état (section des câbles adaptée, luminaire fermé hermétiquement, type de source homogène, etc)

d. Description des optimiseurs

Plusieurs systèmes d'optimiseur de puissance sont disponibles sur le marché de l'éclairage public. Ces systèmes utilisent des principes technologiques différents ou possèdent des caractéristiques spécifiques suivant les fournisseurs.

Les principaux systèmes qui ont fait leur preuve sur le terrain sont les suivants :

Le stabilisateur et régulateur de tension

Ces optimiseurs disposent de deux composantes :

Réducteur de tension : il a pour effet d'abaisser la tension d'alimentation des lampes suivant :

Des tranches horaires au choix ;

Des proportions dont la limite basse est la valeur de décrochage de chaque type de lampe.

Régulateur de tension :

Il a pour effet de stabiliser la tension d'alimentation des sources lumineuses. La marge de variation de la tension d'entrée est définie pour chaque système par le fournisseur. La tension de sortie doit être maintenue avec une précision de plus ou moins 1 à 2 %

Fonctionnement :

A l'allumage le régulateur effectue automatiquement le cycle de préchauffage des lampes avec un niveau de tension programmable, nécessaire à l'amorçage.

A la fin de ce cycle, le système remonte progressivement à la valeur de tension nominale (230V)

A l'heure programmée de réduction, le réducteur amène la tension à la valeur économique.

La tension nominale peut être rétablie en fin de cycle avant l'extinction de l'éclairage.

Les phases de variation de tension sont progressives, et la durée de chaque cycle est réglable.

Les stabilisateurs et réducteurs de tension devront se connecter sur l'armoire de commande du réseau d'éclairage public.

Variateur de tension

Le principe du variateur est l'abaissement de la puissance des lampes suivant des niveaux préétablis et sur une plage horaire programmable. Ceci afin d'assurer une économie de consommation des lampes pendant "les heures creuses" et de pouvoir maintenir le fonctionnement à plein régime aux heures de "pointe".

Pour ce faire, la tension aux bornes des platines est modifiée à l'aide d'un système électromécanique installé au niveau de l'armoire de commande. La variation est obtenue par injection d'une contre tension variable en série sur la phase, à l'aide d'un transformateur spécial. Le réglage des plages horaires est assuré par une horloge de programmation.

Les principaux types de sources d'éclairage public peuvent être utilisés avec un variateur de tension (Sodium haute pression, vapeur de Mercure [avec condensateur], Tube fluorescent, Lampe fluo compacte (puissance mini), Lampe à incandescence).

Appareil à induction

Le principe de l'appareillage à induction est la transformation des courants (230 V) en énergie haute fréquence à 30 000 hertz.

Cet courant haute fréquence alimente un bobinage primaire qui émet un champ électromagnétique de même fréquence (30 kHz). Capté à distance par deux bobinages secondaires, ce champ sera retransformé en courant électrique à 30 kHz, lequel courant va amorcer et alimenter la lampe.

Le circuit lampe est totalement indépendant du secteur électrique du fait de l'éloignement entre le primaire et les secondaires.

Il n'y a donc plus de continuité électrique entre l'alimentation secteur et le circuit alimentant la lampe.

Ce système assure la stabilisation de la tension d'alimentation de la lampe quelle que soit la variation de tension réseau.

Chaque appareillage équipé d'un potentiomètre qui permet le réglage du niveau d'éclairement de 100 % à 40 % du flux lumineux.

Celui-ci est couplé avec un émetteur d'ordre à installer dans l'armoire de commande

Cet appareil à induction sera installé pour chaque point lumineux en remplacement des appareillages ferromagnétiques nécessaires aux lampes à décharge. Il peut s'installer sur des installations neuves ou existantes.

En conclusion

L'utilisation d'optimiseurs de puissance doit être prise en compte après l'analyse globale et précise de son installation. Il est donc nécessaire de connaître les contraintes techniques et de définir les besoins et objectifs de la commune en matière d'éclairage public, afin d'adapter au mieux ces installations.

6. L'évolution du marché des appareils de Commande d'allumage et d'extinction de l'éclairage public.

La lumière est, pour l'homme, aussi vitale que l'air que nous respirons.

Toutefois, le soleil ne suffit pas. La lumière artificielle joue également un rôle important. De nuit comme dans les lieux naturellement sombres, comme les passages ou les garages souterrains, un bon éclairage nous offre un sentiment de sécurité.

Il est rare d'avoir besoin d'allumer toutes les lumières en même temps. Alors, comment régler l'éclairage de manière efficace et fiable ? Les commandes professionnelles d'éclairage à interrupteurs crépusculaires et les minuteries astronomiques numériques représentent des solutions alliant efficacité et confort.

Qu'il s'agisse d'éclairer une rue, un parking, une entrée, le trafic routier, une cage d'escalier, une vitrine ou d'allumer une enseigne lumineuse, dans des lieux publics comme dans des espaces privés, ces appareils de commande d'allumage, nous permettent une utilisation maîtrisée de la lumière, conviviale économique et sûre.

La fonction de l'éclairage Public est d'éclairer la nuit ou plus exactement lorsque la luminosité est insuffisante. Ce postulat de base étant posé, pour que l'éclairage public fonctionne, il faut l'allumer, et pour ne pas dépenser inutilement, l'éteindre lorsqu'il n'est plus nécessaire.

Or l'éclairage public est fait de nombreux points disséminés sur le territoire de la commune et généralement raccordé sur des armoires qui regroupent en moyenne 20 à 70 points lumineux. De plus, la nuit

varie en fonction des saisons, le lever du jour et la tombée de la nuit varie d'une saison à une autre. Pour cela il y a lieu de prévoir un système d'allumage et d'extinction.

Une parfaite maîtrise du contrôle précis de l'allumage et de l'extinction du réseau EP apporte un gain minimum de 5%

Pour maîtriser la durée d'utilisation de l'éclairage public, il y a lieu de prévoir des systèmes de commande des opérations d'allumage et d'extinction

A noter que les différents types de commandes existants pour l'opération d'allumage et d'extinction sont :

a. Horloges à cadran journalier

Il s'agit d'un dispositif simple qui agit sur les organes qui permettent d'assurer le fonctionnement des sources d'éclairage. Elle est constituée d'un cadran journalier gradué effectuant un tour complet par 24 h. Ce cadran comporte des repères qui permettent la programmation désirée aux heures voulues, ce type de commande est à éviter, il constitue une source de gâchis d'énergie du fait que l'allumage ou l'extinction ne se font pas exactement à la tombée de la nuit ou au lever du jour.

Cette horloge nécessite des interventions périodiques pour le réglage de la position des index horaires en fonction des saisons.

b. Cellules photo-électriques (interrupteur crépusculaire) :

Ce dispositif appelé aussi interrupteur crépusculaire permet la commande d'une installation en fonction de la luminosité.

L'instant d'allumage et celui d'extinction des installations sont déterminés par une cellule photoélectrique sensible à l'éclairage naturel.

L'appareil compare la luminosité ambiante avec le niveau réglé si elle est inférieure à ce niveau il s'active après un temps de retard. Quand la luminosité augmente jusqu'à atteindre le niveau d'extinction, il se désactive une fois écoulé le temps de retard.

Avantage :

- Coût faible
- Prend en compte la luminosité extérieure

Inconvénient :

- Se dérègle facilement
- Est difficile à régler et dépend de son placement dans l'environnement (armoire sous des arbres ou entre deux murs rapprochés, etc.)
- Disparité entre les quartiers (certains quartiers s'allument plus tôt que d'autres)
- S'allume plus tôt en cas d'orage.

c. Horloges à cadran astronomique :

L'interrupteur horaire astronomique permet de programmer les éclairages publics au lever et au coucher du soleil et cela durant tous les jours de l'année, car il dispose d'un calendrier avec les années bissextiles, les fins de semaines et même du changement automatique de l'horaire d'été – hiver, programmée sur une longue durée.

Basée sur un calcul astronomique, l'horloge sans rien "voir" calcule jour après jour les heures crépusculaires pour l'allumage et l'extinction de l'éclairage. C'est un automate parfaitement aveugle, donc insensible aux parasites lumineux.

Il est généralement pourvu de deux relais : un permanent (allumage toute la nuit), et un autre semi-permanent (coupure une partie de la nuit). Connaissant l'heure exacte, la date et l'endroit où elles se trouvent, certaines horloges calculent, avec précision et selon les algorithmes utilisés, l'heure d'allumage et d'extinction. La qualité de sa base de temps, les avantages de cette horloge astronomique permettent non seulement de synchroniser l'éclairage mais aussi de donner, par un calcul sur ordinateur et à la minute près, les temps d'éclairage annuels. Pour le suivi, cela se traduit par une analyse parfaite des coûts présents et à venir.

Avantage :

- Contrôles rigoureux du coût énergétique
- Allumage des différents quartiers en même temps.
- Gain sur charges d'exploitation (interventions périodiques pour réglage)

Inconvénient :

- Coût important

7. Les systèmes de l'éclairage public dits intelligents :

Éclairer Juste : « La juste lumière nécessaire, là où il le faut, quand il le faut, et au meilleur coût »

Télésurveillance et télégestion : Les systèmes de gestion agissent à distance sur le temps d'allumage et la quantité de lumière. Certains permettent aussi de détecter les dysfonctionnements de l'installation.

La gestion technique centralisée permet une surveillance de l'état de fonctionnement du réseau d'éclairage public. Selon les besoins, la surveillance se limitera au bon fonctionnement de l'armoire de commande et de chaque départ, ou pourra, dans une vision plus complète, s'étendre au contrôle de chaque point lumineux.

Les informations rapatriées permettent d'évaluer le degré d'urgence de l'intervention et de transmettre, si nécessaire une alerte au service d'astreinte.

La communication entre le serveur central et chaque armoire est assurée par différents supports :GSM/GPRS, liaison radio, etc.

Des logiciels de supervision, permettent de connaître en temps réel l'état de chaque armoire et/ou point lumineux. Des fonctionnalités supplémentaires de cartographie ou de gestion du parc permettent une exploitation aisée et rationalisée.

III. APPLICATION

1. Cas pratique : Gestion déléguée de l'EP par l'ONEE-BE

Soucieux d'accompagner les collectivités locales dans leurs efforts de développement de leurs espaces, l'ONEE-BE leur propose un nouveau service : la gestion de l'éclairage public et la mise en valeur des sites et monuments. L'ONEE-BE assure, dès lors, un service global de gestion de l'éclairage public : ingénierie technique, ingénierie financière, fourniture d'énergie, exploitation rationnelle, entretien et maintenance.

Pour l'ONEE-BE, la gestion de l'éclairage public correspond à un nouvel axe de développement. En effet, la prise en charge de cette exploitation par les services décentralisés de l'ONEE-BE, permet de bénéficier de la synergie qui peut exister entre la gestion du réseau de distribution et celle de l'éclairage public.

Cette prestation permettra aussi à l'ONEE-BE :

- De recouvrer ses créances plus facilement, étant donné que les montants sont connus longtemps à l'avance ce qui évite les erreurs de budgétisation de la part des collectivités locales,
- De rehausser son image de marque auprès des utilisateurs de l'éclairage public (aussi clients de l'ONEE-BE)
- Et de participer au lissage de la courbe de charge (pointe entre 17 et 22 h, heures de fonctionnement de l'éclairage public).

Cependant, l'intérêt est aussi celui des collectivités locales. Cet intérêt réside dans le fait que ces collectivités locales maîtriseront mieux les budgets qu'ils allouent à l'éclairage public. Les communes pourraient dès lors se dégager des préoccupations et de la gestion quotidienne de l'éclairage public qui demande du temps, des compétences et des moyens. Ils pourront alors se concentrer sur des projets de développement et d'aménagement de leurs espaces.

Cette stratégie vise un nouveau partage des rôles entre les communes et l'ONEE-BE et notamment au niveau du cofinancement des investissements, du maintien du développement du service à longue durée et une gestion souple (intervention rapide, meilleure qualité de service au citoyen, meilleure adaptation des systèmes à la demande, participation à l'amélioration du réseau de service après-vente et de distribution, provisions pour renouvellement, etc.). Ceci ne peut être satisfait sans un équilibre des intérêts entre les différents acteurs.

En effet :

$$\begin{array}{c}
 \text{Des installations qui arrivent en Phase de} \\
 \text{Rénovation} \\
 + \\
 \text{Un Gisement important d'Economie d'Energie} \\
 + \\
 \text{Une volonté de l'ONEE-BE \& la Commune à faire} \\
 \text{réaliser des Economies d'Energie} \\
 = \\
 \text{Un Diagnostic Energétique des Installations} \\
 \text{d'Eclairage Public de la Commune}
 \end{array}$$

Ainsi, la gestion déléguée de l'Eclairage Public dans certaines Communes Urbaines, s'est concrétisée avec la signature de la convention par :

- Diagnostic de l'état du réseau d'éclairage public
- Mise à niveau des installations d'éclairage public dans une perspective d'économie d'énergie après une étude Technico-économique
- Prise en charge de la gestion du réseau d'éclairage public avec un fonctionnement rationnel et optimisé
- Maintenance des Installations d'éclairage public

2. Bonnes pratiques pour rationaliser la consommation de l'EP

L'éclairage public est une préoccupation majeure des

collectivités pour :

- Assurer la sécurité
- Optimiser les budgets
- S'inscrire dans le développement durable
- Economiser l'énergie et les coûts de maintenance

Les bonnes pratiques

- Éclairer juste
- Maintenance en éclairage extérieur
- Candélabres pour l'éclairage public

Maitre d'ouvrage :

Que veut-on éclairer ?

Quel usage veut-on privilégier ?

Que veut-on révéler par la lumière ou laisser se révéler par lui-même ?

Développement durable	Éclairage public
1. Qualité de vie	Sécurité des usagers Mise en valeur de l'environnement nocturne
2. Protection de l'environnement	Efficacité énergétique Réduction des nuisances dues à la lumière
3. Développement économique	Favoriser de nuit par la lumière : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les zones commerciales ▪ Les événements urbains ▪ Le tourisme ▪ Les manifestations sportives et artistiques ▪ Les transports nocturnes
4. Parité et égalité sociale	Réhabilitation des quartiers <ul style="list-style-type: none"> ▪ Continuité des liaisons inter quartiers et périphériques ▪ Suppression des zones de non droit

Éclairer juste

C'est la lumière : - Nécessaire

- Suffisante

- Maintenu

Pour chacune des tâches visuelles accomplies sur l'espace considérée

A partir de quelles performances normalisés ?

Normes (Norme européenne EN 13201)

Objectifs pour les usagers :

- Voir et être vu
- Sécurité des déplacements
- Protection des personnes et des biens
- Perception nocturne du cadre de vie
- Valorisation de l'environnement

Efficacité énergétique et éclairage public :

- Consommation Marocaine électricité : 554 27GWh
- Consommation éclairage public (zone ONEE-BE) (472 Gwh en 2012)

Soit 1,7 % des consommations nationales

MAIS 72 % des consommations communales (zone ONEE-BE)

L'éclairage public est une préoccupation majeure des collectivités !

- Assurer la sécurité
- Optimiser les budgets
- S'inscrire dans le développement durable
- Economiser l'énergie et les coûts de maintenance

Efficacité énergétique :

Watts/lux.m⁻² ou Watts/cd.m⁻².m⁻²

Rendement Photométrique utile =

$$\frac{\text{Flux reçu sur surface}}{\text{Flux émis lampes}} = u \text{ (facteur d'utilisation)}$$

$$\frac{\text{EM (lux) x S (m}^2\text{)}}{\text{Fla (lumens) x Nb x M}} = u \text{ (facteur d'utilisation)}$$

$$\frac{\text{EM (moyen à maintenir)}}{\text{M (facteur de maintenance)}} = E \text{ mise en service}$$

Efficacité énergétique (lampe + auxiliaires d'alimentation) = fe

$$fe = \frac{\text{Fla (lumens) x N}}{\text{W (Watts lampe + ballast) x N}}$$

Watts totaux consommés :

$$W = \frac{E \times S}{u \times M \times fe}$$

$$\text{Watts/lux.m}^{-2} = \frac{1}{u \times M \times fe}$$

$$W = \frac{E \times S}{u \times M \times fe}$$

Optimisation du niveau lumineux (E) - Norme européenne NF EN 13201

Valeurs minimales à maintenir : - Luminance

- Éclairement
- Uniformité
- Éblouissement
- Abords

choix	Éclairage fonctionnel	Éclairage D'ambiance	Éclairage projecteurs
U max	0,4 à 0,5	0,15 à 0,25	0,3 à 0,4
Luminaires performants (optiques)			
Lampes tubulaires claires (SHP – iodures métalliques)			

Conclusion

Les projets d'Éclairage Public doivent indiquer :

- Les consommations d'énergie
- Les coûts de maintenance

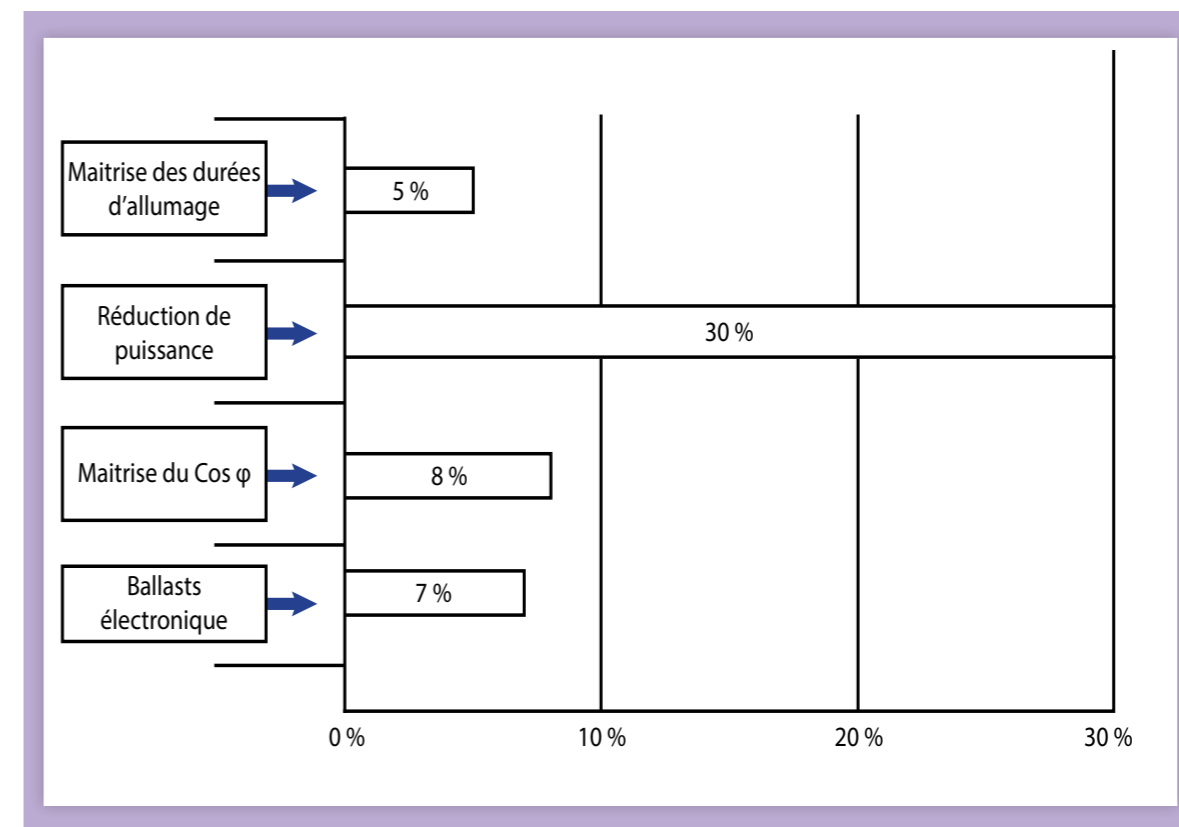
Et il est recommandé de :

- Mettre en œuvre un système d'abaissement de puissance intégré au luminaire
- Prévoir un dispositif vérifiant le non éclairage pendant le jour
- Définir les besoins en se référant aux normes en vigueur
- Étudier plusieurs niveaux de solutions et d'économies associées
 - Télégestion
 - Ballasts électroniques abaissables autonomes
 - Ballasts électroniques non abaissables
 - Ballasts ferromagnétiques bi puissances,
 - Variateurs de tension centralisés, ou au point lumineux

La maîtrise du coût d'énergie est un facteur essentiel pour l'optimisation de tout projet de gestion des installations d'éclairage public. Cette maîtrise est basée sur les potentiels d'économie d'énergie suivants :

- Maîtrise des durées d'allumage.
- Réduction de puissance.
- Maîtrise du cos Phi.
- Utilisation des ballasts électroniques.

Le taux de réduction du coût d'énergie pour chaque potentiel se présente comme suit :

**En conclusion**

«Éclairer juste» permet de faire des gains considérables en matière de puissance installée et de consommation énergétique. C'est un exercice d'optimisation qui se décline dès l'origine, et tout au long d'un projet, puis dans sa phase de réalisation et même au stade de l'exploitation des installations.

AUDIT ÉNERGÉTIQUE

Thème 4

INTRODUCTION

Dans le contexte économique actuel, marqué par la mondialisation des échanges et l'ouverture des économies, toute entreprise doit optimiser en permanence l'utilisation de l'ensemble de ses ressources en minimisant ses coûts opérationnels afin de :

- Rester compétitive dans un environnement concurrentiel plus âpre et plus globalisé.
- Satisfaire une clientèle, interne et externe, exigeante et affûtée.

Or, l'énergie a toujours été un facteur déterminant dans l'économie de chaque pays, puisqu'elle est le moteur de la production. Mais vu l'exploitation massive des sources d'énergie pendant les deux derniers siècles, la rationalisation et l'optimisation de la consommation d'énergie s'imposent comme une solution unique pour un développement durable qui préserve le patrimoine énergétique aux générations futures.

Le secteur de production de l'énergie électrique et du bâtiment sont de grands consommateurs d'énergie et donc constituent une source importante de pertes énergétiques. **L'audit énergétique** est un moyen de contrôle et de réduction des consommations énergétiques.

1. PROMOTION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

1.1 Définition de l'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est une valeur sans dimension, c'est le rapport entre ce qui peut être récupéré utilement de la machine sur ce qui a été dépensé pour faire fonctionner cette dernière..

Exemples :

- Une lampe à incandescence a une efficacité énergétique de 5%, car seule 5% de l'énergie électrique est effectivement convertie en lumière, le reste est perdu en chaleur.

- Un moteur à combustion classique dans un véhicule a une efficacité énergétique d'environ 30%, c'est-à-dire que seuls 30% de l'énergie contenue dans l'essence est effectivement convertie en énergie mécanique.

1.2 Objectifs de l'efficacité énergétique :

L'objectif de l'efficacité énergétique est de produire les mêmes biens ou les mêmes services en utilisant le moins d'énergie possible. Avant de penser aux sources d'énergies alternatives, il faut d'abord se pencher sur la structure de consommation et la réduire au maximum en consommant moins et mieux.

1.3 La politique Énergétique :

1.1.1 Contexte de la politique énergétique:

L'énergie est une problématique majeure, tant pour les pays développés que pour les pays en développement. Au niveau environnemental, le modèle de société Marocaine basé sur une énergie à dépendance de l'étranger (Importation de plus de 97% des besoins énergétiques du pays) issue essentiellement de combustibles fossiles en consommation croissante, ne participe pas au développement durable. En outre, il est probable que ces ressources ne soient plus tenables pour assez longtemps. De ce fait, plusieurs organismes marocains ont adhéré à la politique contre le changement climatique et la dégradation environnementale en ratifiant la stratégie de l'efficacité énergétique pour le secteur industriel et pour le secteur du bâtiment. Dans le cadre du **Projet de loi Marocaine N°47-09**, le gouvernement Marocain applique une politique ambitieuse d'efficacité énergétique, qui a pour objets :

- Augmenter l'efficacité énergétique dans l'utilisation des sources d'énergie.
- Eviter le gaspillage.
- Atténuer le fardeau de coût d'énergie sur l'économie et contribuer au développement durable.

La mise en œuvre de cette loi repose principalement sur :

- Les principes de la performance énergétique.
- Des exigences d'efficacité énergétique.
- Des études d'impact énergétique.
- De l'audit énergétique.
- Du contrôle technique.

1.1.2. Objectifs de la politique énergétique :

La politique énergétique d'un état ou d'une région comporte essentiellement trois objectifs :

- L'efficacité économique et l'amélioration de la compétitivité.
- La sécurité d'approvisionnement.
- La protection de l'environnement.

Ces objectifs sont clairement affichés dans la politique énergétique des Etats membre⁽¹⁾ de l'Association Internationale de l'Energie (AIE). Ces pays, à économie de marché, soutiennent l'action des forces du marché au niveau de la production, de l'offre et de la demande pour atteindre l'efficacité économique. Néanmoins, tous les gouvernements de ces pays interviennent d'une manière ou d'une autre sur les marchés de l'énergie. Leurs interventions visent à assurer une sécurité d'approvisionnement, la protection de l'environnement, un niveau de recherche et développement suffisant à long terme, ainsi que d'autres résultats souhaitables au niveau économique et social. Il s'agit de trouver un équilibre entre le recours aux forces du marché ouvert et concurrentiel et une intervention au moindre coût possible permettant d'atteindre les trois objectifs cités plus haut.

A cette fin, les gouvernements utilisent de nombreux instruments de politique pour agir sur l'offre et la demande d'énergie. Ceux-ci comprennent des

1-Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Corée du sud, Danemark, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Japon, Luxembourg, Norvège (ce pays est lié à l'AIE par des accords particuliers), Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République slovaque, République tchèque, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Turquie.

instruments économiques et fiscaux, des instruments commerciaux, des instruments administratifs (gestion publique et actionnariat d'activités énergétiques), de la réglementation et du contrôle, de même que de la recherche et développement ⁽²⁾en matière d'énergie.

Dans le cas du Maroc, l'efficacité énergétique représente une priorité majeure sur laquelle une grande attention est portée, particulièrement dans les secteurs de l'industrie et des bâtiments publics car ces deux derniers ont un grand potentiel en matière de rationalisation de la consommation d'énergie. Plusieurs mesures ont été prises dans ce sens.

2. PRINCIPE DE L'AUDIT ÉNERGÉTIQUE :

2.1. Définition de l'Audit Énergétique :

L'audit énergétique est une activité structurée ayant pour objectif l'utilisation efficace de l'énergie sans réduction du niveau de production ni sacrifice des normes de qualité, de sécurité ou de protection de l'environnement.

On entend par audit énergétique l'examen et le contrôle des performances énergétiques des installations et des équipements d'un établissement.

2.2 Objectifs et principes généraux de l'audit énergétique

Le but de l'audit est de formuler des propositions de mesures concrètes justifiées, pour parvenir à une utilisation plus rationnelle de l'énergie. L'application de ces mesures doit toutefois faire partie d'une stratégie systématique et logique. L'audit n'est pas une action isolée, mais s'insère dans un plan global de gestion énergétique. L'économie d'énergie doit également être un souci constant des gestionnaires de l'établissement.

2-Est une catégorie statistique, économique et comptable englobant l'ensemble des activités entreprises de façon systématique en vue d'accroître la somme des connaissances, y compris la connaissance de l'homme, de la culture et de la société, ainsi que l'utilisation de cette somme de connaissances pour de nouvelles applications.

Les audits énergétiques sont donc préconisés dans le cadre de ce programme de conservation de l'énergie dans le but de fournir aux établissements des moyens exacts d'enregistrer la consommation et le coût de l'énergie, ainsi que les renseignements nécessaires à l'identification de réelles possibilités d'économie d'énergie et de leur impact sur l'environnement. De plus, dans un souci de qualité, l'auditeur s'attache à respecter les règles suivantes :

- être à l'écoute du gestionnaire de l'établissement et instaurer un dialogue permanent avec lui ;
- effectuer une proposition d'intervention claire et transparente ;
- chiffrer les économies d'énergie réalisables et préciser les conditions économiques de réalisation ;
- fournir toutes les informations objectives nécessaires au responsable de l'établissement pour décider des suites à donner ;
- ne pas privilégier *a priori* un type d'énergie ni certaines modalités de fourniture d'énergie ou de toutes autres sources (vapeur, froid, chaleur, air comprimé, eau, etc.) ;
- Lors de cette intervention, l'auditeur fait l'analyse de l'existant, en prenant en compte l'ensemble des principaux postes de consommation énergétique dont notamment, les procédés de fabrication, la gestion des utilités, les bâtiments, sous tous leurs aspects énergétiques et tout équipement nécessitant une fourniture d'énergie.

Afin de déterminer le niveau d'intervention, une visite préalable du site est nécessaire. L'identification et la quantification des gisements potentiels d'économie d'énergie seront effectuées sur la base des données de consommation suffisamment précises et représentatives. Lorsque de telles données ne seront pas disponibles, incomplètes ou imprécises, des campagnes de mesures spécifiques seront réalisées.

L'audit énergétique a pour objectifs l'établissement d'un état des consommations énergétiques d'un bâtiment

ou d'un processus de production compte tenu de ses caractéristiques et de ses usages et l'identification des points d'amélioration de son efficacité énergétique arbitrée par leur rentabilité. Par audit énergétique, il faut entendre « photographie cadastrale de l'état énergétique » et « évaluation du potentiel d'amélioration de la performance énergétique d'un bâtiment ou d'un processus de production ». Il permet d'élaborer un plan d'actions global d'amélioration de l'efficacité énergétique, de déterminer les caractéristiques technico-économiques des investissements proposés (visant une utilisation plus rationnelle de l'énergie ou le recours aux sources d'énergies renouvelables ou à la cogénération de qualité) et l'évaluation de la rentabilité financière de ces derniers.

En synthèse, l'audit énergétique définit la signature énergétique d'un bâtiment ou d'un processus industriel (l'inventaire des postes consommateurs d'énergies) pour :

- Rechercher des économies d'énergie,
- Effectuer une analyse technico-économique de réhabilitation,
- Vérifier la rentabilité d'un composant,
- Analyser les éventuels dysfonctionnements des installations.

L'examen a pour but de parvenir à une utilisation rationnelle de l'énergie, en analysant où, pourquoi, comment, combien et quand on consomme de l'énergie. Il fournit des indications permettant de savoir ou et comment une récupération d'énergie est possible ou une conversion à d'autres sources d'énergie, alternatives ou non.

2.3. Les différents types d'Audit Énergétique :

2.3.1. L'audit de contrôle sur site « Walk-through » :

Il consiste en une visite sur site dans le but d'identifier rapidement les actions simples qui ne nécessiteront pas d'investissements importants ou non programmés, par

exemple :

- Déplacement de charges (répartition d'énergie),
- Réglage de brûleur (Chaudière),
- Température de consignes et heures de mise en fonctions (installations industrielles),
- Isolation thermique des canalisations et gaines (installations industrielles et bâtiments).

2.3.2. L'analyse des relevés de consommation d'énergie :

Une visite sur site est aussi nécessaire dans cette étude. Elle permet à l'auditeur de comprendre comment fonctionne l'installation et d'observer son mode de consommation de l'énergie. La collecte des données se fait sur plusieurs mois afin d'apprécier les évolutions des consommations de l'installation. Une répartition par poste consommateur identifie les solutions à proposer.

Une lecture attentive des suivis de la consommation de l'énergie permet de relever les dépassements éventuels vis-à-vis de la consommation de référence.

Une comparaison par rapport à des ratios de référence permet de déceler les dérives. Les références sont établies à partir des données 'constructeur', de benchmark sur des installations similaires ou équivalentes et de normes spécifiques.

2.3.3. L'audit énergétique standard :

Il s'agit de rétablir la signature énergétique de l'installation pour une période de fonctionnement moyenne que l'on appellera période de référence.

2.3.4. L'audit énergétique avec campagne de mesures :

Cette méthode est la plus complète. Elle complète les procédures évoquées par des campagnes de mesures. L'auditeur met en place des centrales d'acquisition de données raccordées à des capteurs-transmetteurs disposés dans les points stratégiques de l'installation (les départs d'armoires électriques en sont un bon exemple).

Ces collecteurs de données peuvent rester en place plusieurs jours de façon à refléter le comportement de l'installation lors des différentes phases de fonctionnement (allure normale, réduite de nuit, ralenti du week-end...).

2.4. Méthodologie et différentes phases de l'audit énergétique

Première phase :

- Réaliser une première approche du bilan énergétique ;
- Comparer les performances énergétiques à des références connues dans son activité ;
- Dresser une première évaluation des gisements d'économies d'énergies envisageables ;
- Orienter le responsable de l'établissement vers des interventions simples à mettre en œuvre ;
- Identifier les domaines à développer dans les phases suivantes de l'étude.

Deuxième phase :

Approfondir l'analyse sur les principaux gisements identifiés dans la première étape. Pour cela, il est nécessaire d'établir le bilan énergétique sur la base d'une analyse détaillée de l'existant :

- À partir de données et de calculs ;
- À partir de mesures.

Troisième phase:

- Déterminer les actions à mener sur les procédés de l'installation et son mode d'exploitation ;
- Identifier et décrire les solutions aussi précisément que possible et donner une première approche du coût de mise en œuvre et du temps de retour.

2-4.1 : Première phase : Analyse préalable

2-4.1.1 Déroulement

Cette étape se déroule en quatre étapes :

- La préparation de l'audit avec le responsable de l'établissement ;
- La collecte d'informations sur site : réunion d'enclenchement, entretiens avec les différents acteurs du site, visite des installations ;
- Une analyse des données et la rédaction d'un rapport ;
- La restitution de l'analyse préalable.

Pour le bon déroulement de l'audit, il convient que le responsable de l'établissement désigne un interlocuteur chargé du suivi de l'audit. Cette personne met en relation l'auditeur avec les personnes concernées par les différents processus de l'installation.

a) Préparation de l'audit

L'auditeur adresse au responsable de l'établissement la liste des documents à fournir lors de la réunion d'enclenchement de l'opération. Cette liste comprend :

- Un plan masse du site, un descriptif des installations «utilités» et «procédés», des schémas et modes de fonctionnement, les moyens existants de suivi, de comptages et de mesures de l'énergie ;
- Les données de production, les relevés des compteurs, les contrats et factures d'énergie, les consommations d'énergie détaillées ;
- Les études déjà réalisées dans le domaine énergétique, les projets d'investissements.

b) Collecte d'informations

Lors de la réunion d'enclenchement avec l'auditeur, le responsable de l'établissement remet les documents demandés, fait une présentation générale du site comprenant une description de l'organisation et des procédés mis en œuvre et planifie le déroulement de la visite et des entretiens.

La visite des installations «utilités» et «procédés» permet d'investiguer de manière qualitative les postes consommateurs d'énergie. Des relevés et quelques mesures ponctuelles peuvent être réalisés.

Les entretiens avec les différents acteurs du site permettent de comprendre le fonctionnement technique et le mode d'exploitation des installations

c) Analyse des données et rédaction du rapport préliminaire

À l'issue de la visite et des entretiens, l'auditeur traite les données et rédige le rapport comprenant le bilan de la situation énergétique du site et un programme d'actions.

d) Présentation du rapport préliminaire

L'analyse préalable est présentée et discutée avec le responsable de l'établissement. La restitution orale est l'occasion pour le responsable de l'établissement et l'auditeur d'échanger leurs points de vue pour permettre au responsable de l'établissement de décider des suites à donner.

2-4.1.2. Approche méthodologique de la première phase :

Les éléments méthodologiques concernent l'analyse des données et l'identification des gisements d'économies.

a) Analyse des données

Il s'agit de :

- Réaliser une première approche du bilan énergétique du site, à partir des factures énergétiques et des volumes de production ;
- Établir les ratios des consommations énergétiques par unité représentative ;
- Estimer la répartition des consommations énergétiques, à partir des relevés de compteurs divisionnaires ou à partir des puissances installées et des temps de fonctionnement.

En fonction des données disponibles, des ratios complémentaires peuvent être calculés (consommations spécifiques, la consommation des auxiliaires, rendements des procédés, etc.)

Tous les ratios calculés peuvent être analysés mois par mois sur une ou deux années de référence.

À partir des consommations d'énergie détaillées, l'auditeur analyse les fortes variations, les consommations associées aux différentes configurations du site (tranches horaires, week-end, etc.) et l'incidence des conditions climatiques. Les performances énergétiques du site sont comparées à des références connues dans son activité.

b) Identification des gisements d'économies d'énergie

Les gisements d'économies envisageables sont détectés à partir des consommations spécifiques, des rendements et de la comparaison du fonctionnement des installations aux meilleures pratiques énergétiques.

Cette comparaison peut se répertorier selon cinq domaines d'intervention :

- Les méthodes de production : examen de l'adéquation de l'installation avec la production et les conditions dans lesquelles on la fait fonctionner. La puissance installée est-elle adaptée (sur ou sous dimensionnement) ? L'utilisation de l'outil de production est-elle optimale ?
- Les conditions d'exploitation du matériel : conditions générales de service, état et condition d'entretien du matériel, personnel de maintenance ;
- Les équipements pour l'amélioration du rendement dans les bonnes conditions d'exploitation et de réglages ;
- D'éventuels dysfonctionnements, sources d'améliorations potentielles de consommation ;
- Les possibilités de valorisations énergétiques de pertes et rejets ;

La quantification des gisements d'économies est

estimée à partir du bilan énergétique et des profils de consommation.

2-4.1.3. Présentation des résultats

Une restitution des résultats de cette première étape est réalisée auprès du chef de l'établissement sous forme d'un rapport préliminaire comprenant notamment :

- Un descriptif simplifié des principales installations ;
- La première approche du bilan énergétique (répartition des consommations, consommations spécifiques, profils de consommation, comparaison à des ratios de référence) ;
- L'analyse des paramètres de fonctionnement ;
- L'identification et la justification des gisements d'économies, ainsi que la quantification des gains potentiels ;
- La description des interventions simples à mettre en œuvre ;
- La description de la poursuite de l'analyse détaillée (phase 2)

2-4.2 Deuxième phase: Analyse détaillée

Selon les résultats de la première phase, le responsable de l'établissement en concertation avec l'auditeur décide d'orienter l'audit sur tout ou partie des gisements d'économies identifiés.

Pour cela, il est nécessaire de préciser le bilan énergétique du site ou des postes contenant les gisements potentiels.

L'analyse détaillée réalisée par l'auditeur doit apporter les éléments nécessaires afin de :

- Approfondir les gisements d'économie d'énergie retenus ;
- Consolider le bilan énergétique global du site ;
- Évaluer les émissions polluantes dues aux consommations énergétiques (Référentiel NX 30-120).

2-4.2.1. Déroulement de la 2^{ème} phase :

L'auditeur approfondit les axes de travail préférentiels retenus à l'issue de l'analyse préalable, en établissant les besoins en énergie (en quantité et qualité, suivant les cycles de production ou de fonctionnement et dans le temps) des différents processus, les moyens énergétiques associés, ainsi que la fourniture de toutes autres sources (vapeur, froid, chaleur, air comprimé, eau, etc.).

a) Collecte d'informations complémentaires

Cette phase comprend :

- Les entretiens avec les responsables de la conduite, du suivi de l'exploitation, de la maintenance des matériels et équipements, et de la réalisation des nouveaux ouvrages ;
- Les relevés de comptage et de mesures existants ;
- Les campagnes de mesures éventuelles ;
- La documentation complémentaire.

b) Analyse

L'auditeur analyse les données complémentaires et établit la consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement, à partir de calculs, de simulations ou d'estimations.

La consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement est comparée aux données réelles.

L'analyse est poursuivie jusqu'à convergence 'acceptable' entre les calculs théoriques et les consommations relevées pour aboutir à la consommation de base.

c) Présentation des résultats

L'auditeur rédige un rapport des documents de l'analyse détaillée qu'il remet après échanges et discussion avec les responsables de l'établissement.

2-4.2.2. Approche méthodologique de la 2^{ème} phase :

Ce processus comporte quatre étapes :

a) Définition des besoins

L'auditeur part des besoins (quantifie et qualifie les fluides nécessaires) et remonte aux processus de répartition et de production correspondants.

Les éventuels dysfonctionnements sont repérés et quantifiés comme source potentielle d'amélioration.

b) Analyse des données et mesures

Au niveau du site ou du système étudié, l'analyse des données et des résultats de la campagne de mesures consiste à :

- Comparer les résultats aux données de fonctionnement ;
- Rechercher les périodes de fonctionnement pour lesquelles les consommations d'énergie paraissent anormales ;
- Déterminer et calculer des indicateurs (par fluide, par atelier, etc.) permettant d'évaluer la performance énergétique ;
- Identifier les paramètres ;
- Étudier l'adéquation entre les dimensionnements, les systèmes de régulation et les besoins ;
- Appréhender les conditions de conduite, d'entretien et de maintenance ;
- Identifier et améliorer les paramètres ayant un impact sur l'environnement.

Sur la base de ces éléments (informations complémentaires, résultats validés de la campagne de mesures) ainsi que de la connaissance de la problématique étudiée par l'auditeur, la quantification du besoin réel est détaillée.

L'auditeur en déduit le gisement de manière précise, par rapport à la situation existante, en fonction des

caractéristiques et des contraintes du système.

L'analyse des indicateurs de performance énergétique et des dysfonctionnements conduit à confronter les relevés :

- Aux données théoriques (ratios du secteur industriel) ;
- Aux besoins réels identifiés ;
- Au dimensionnement de l'installation.

c) Réalisation des bilans

En fonction des éléments complémentaires recueillis, l'auditeur établit des bilans (thermiques, électriques, économiques, etc.) des systèmes étudiés. Ces éléments sont réintégrés dans le bilan global du site.

La consolidation du bilan global du site consiste à recouper les résultats de calculs basés sur les données divisionnaires (instrumentation en place et campagnes de mesures pour les données manquantes ou douteuses) avec les consommations totales annuelles issues des factures énergétiques.

La répartition des usages des énergies primaires sur le site est détaillée par grands types d'utilisateurs (unités de production ou ensemble d'unités, bâtiment, production d'utilités, etc.).

La synthèse des diagrammes de flux des différents secteurs permet d'étudier les synergies possibles, comme par exemple :

- La valorisation d'un rejet thermique sortant d'un secteur et entrant dans un autre ;
- L'organisation de l'activité des différents secteurs pour limiter les puissances instantanées appelées (démarrage différé, délestage, etc.).

Le bilan énergétique du site permet d'aboutir à l'établissement :

- De la part fixe et de la part variable de la consommation énergétique ;
- Du diagramme de flux énergétiques, mettant en évidence, l'énergie entrante, l'énergie produite,

recupérée, l'énergie utile, l'énergie perdue (pertes par les parois, rejets gazeux, effluents liquides, etc.) ;

- Des rendements des équipements.

d) Description des gisements d'économie d'énergie

Pour établir le gisement potentiel d'économies, l'auditeur compare, chaque fois que possible, les éléments de son bilan aux ratios de référence de l'activité et aux performances des équipements les plus efficaces sur le plan énergétique, disponibles sur le marché.

En partant des indicateurs calculés, les gisements d'économies d'énergie sont argumentés.

Après avoir établi le gisement potentiel d'économies, l'auditeur recherche les causes des dérives, par exemple :

- Les modes de gestion, de régulation ;
- Les choix technologiques ;
- Le dimensionnement des équipements ;
- Les phénomènes d'usure, d'encrassement, de dégradation ;
- Les conditions de maintenance... ;

2-4.2.3 Résultats

Une restitution des résultats de cette 2^{ème} phase est réalisée auprès du chef de l'établissement au cours d'une réunion de validation. Un rapport est remis. Il comprend :

- Un descriptif simplifié des principales installations techniques : celui-ci doit permettre de situer rapidement les différents postes consommateurs d'énergie sur le site, les lieux concernés par les préconisations et la position des moyens de mesures ou de comptage ;
- Les résultats de la campagne de mesures ;
- Un tableau présentant les caractéristiques générales de chaque équipement étudié ;

- Les bilans énergétiques, assortis des hypothèses utilisées et le bilan global du site ;
- Une appréciation sur les réseaux de fluides et les comptages primaires (électricité, gaz, eau...) ;
- L'indication des principaux ratios utilisés pour l'analyse énergétique ;
- La consolidation de l'évaluation énergétique des gisements ;
- L'analyse de l'auditeur sur les causes des dérives.

2-4.3. 3ème phase : Recherche des solutions d'amélioration

Sur la base de l'analyse détaillée de la 2ème phase et des commentaires des responsables de l'établissement, l'auditeur recherche les solutions pour atteindre tout ou partie des gisements.

2.5. Norme de base de référence pour un Audit énergétique :

2.5.1. Norme EN 16001

En 2006, les membres des Comités Européens de Normalisation CEN et CENELEC ont décidé de s'engager dans la rédaction d'une norme européenne pour aider les entreprises et organismes à développer une gestion méthodique de l'énergie et à améliorer ainsi leur efficacité énergétique.

Son objectif général est d'établir des systèmes et processus nécessaires pour améliorer l'efficacité énergétique, entraînant ainsi une diminution des coûts et des émissions de gaz à effet de serre par la mise en œuvre méthodique de la gestion de l'énergie.

La norme EN 16001 sur les systèmes de management de l'énergie peut être utilisée de manière indépendante ou intégrée à tout autre système de management. Afin d'en faciliter l'utilisation, la structure retenue est similaire à celle de l'ISO 14001, norme sur le management environnemental. Elle se fonde en effet sur la méthodologie dite PDCA (Plan-Do-Check-Act) :

- **Planifier** : Etablir les objectifs et les processus nécessaires pour fournir des résultats correspondant à la politique énergétique de l'organisme
- **Faire** : Mettre en œuvre les processus
- **Vérifier** : Surveiller et mesurer les processus en fonction de la politique énergétique, des objectifs, des cibles, des obligations légales et des autres exigences auxquelles l'organisme souscrit, et rendre compte des résultats
- **Agir** : Entreprendre les actions pour améliorer en permanence la performance du système de management de l'énergie

2.5.2. Norme ISO 50001

L'ISO a retenu le management de l'énergie comme domaine prioritaire méritant de faire l'objet de nouvelles normes internationales et d'une promotion de ces normes dans la mesure où, dans tous les pays du monde, un consensus existe sur l'importance d'un management efficace de l'énergie, avec un énorme potentiel d'économies d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre sur la planète.

Selon l'AIE (Agence Internationale de l'Energie), la pratique du management de l'énergie en entreprise est un outil efficace pour réduire les émissions de gaz à effet de serre liées aux activités industrielles et respecter les objectifs globaux. Pour l'ISO, la future norme 50001 impacterait 60% de la consommation mondiale d'énergie.

Initiés en 2008, à l'initiative de l'ANSI (USA) et de l'ABNT (Brésil), les travaux ont été menés dans le cadre d'un Comité de projet, le TC 242 « Management d'énergie » avec un important appui préparatoire de l'ONUUDI.

La nouvelle norme internationale ISO 50001 vise à :

- Aider les organismes à utiliser plus judicieusement les ressources en place consommatrices d'énergie
- Établir des conditions de transparence et faciliter la communication sur le management des ressources énergétiques

- Promouvoir les meilleures pratiques de management de l'énergie et renforcer les bons comportements dans ce domaine
- Aider les unités d'exploitation à évaluer et à privilégier la mise en application de nouvelles technologies à haut rendement énergétique
- Fournir un cadre pour favoriser l'efficacité énergétique tout au long de la chaîne d'approvisionnement
- Faciliter l'amélioration en matière de management de l'énergie dans le contexte des projets de réduction des émissions de gaz à effets de serre
- Permettre l'intégration à d'autres systèmes de management déjà en place (environnement, santé et sécurité).

Ainsi, ISO 50001 fournira aux organismes un cadre reconnu pour intégrer la performance énergétique dans leurs pratiques de management. Les multinationales disposeront d'une norme unique et harmonisée, à mettre en œuvre sur l'ensemble de leurs sites, à l'aide d'une méthodologie logique et cohérente pour identifier et mettre en application les améliorations à apporter.

3. Le diagnostic énergétique

3.1. Le pré-diagnostic

Il s'agit bien de la première phase de diagnostic des lieux qui consiste à :

- Rassembler l'ensemble des données et informations existantes sur chaque matériel, bâtiments... ; (fiche d'identité, documents techniques divers, diagnostics déjà établis : amiante, plomb, DPE, ...)
- Effectuer une première évaluation rapide du lieu concerné, au regard de son état technique (structure, clos/couvert, locaux intérieurs, isolation, systèmes de chauffage...), de son état réglementaire (sécurité incendie, hygiène et santé...), de la maîtrise de l'énergie (étiquettes énergie), de l'accessibilité aux personnes handicapées, et plus généralement, des grandes fonctions techniques et de qualité d'usage.

Le pré diagnostic permet de donner une vision énergétique macroscopique et de fournir une banque de données spécifique et propre au lieu à auditer. Il favorise un premier niveau d'analyse des pratiques de l'entreprise pour identifier ses consommations d'énergie. Il s'en suit la proposition de pistes d'actions pour réaliser les économies prioritaires.

3.2. Le diagnostic énergétique :

3.2.1 Définition du diagnostic énergétique :

Il s'agit d'une prestation réalisée par un expert, ayant pour but de maîtriser la consommation d'énergie d'une entreprise ou d'un bâtiment en identifiant les sources potentielles d'économie d'énergie. Pour cela, le diagnostic identifiera les cibles consommatrices (énergivores) et relèvera d'éventuels dysfonctionnements. Il débouchera sur des pistes d'amélioration. Les préconisations du diagnostic porteront sur :

- L'exploitation des installations ou des bâtiments
- Les actions et mesures nécessitant des investissements plus conséquents
- Les bonnes pratiques comportementales à adopter

3.2.2. L'application du diagnostic :

Dans ce contexte, diagnostiquer c'est évaluer les performances de l'objet d'étude dans les domaines de l'environnement, de l'énergie, de l'éco-conception et de la RSE⁽³⁾.

Faire un état des lieux grâce aux pré-diagnostic :

- La visite des lieux
- Identification des points forts à améliorer
- Préconisation d'améliorations environnementales de la situation concernée
- Conception d'un plan d'actions hiérarchisé et adapté
- Prévision d'une assistance technique à la mise en œuvre

3 - RSE= Responsabilité Sociétale des Entreprises

- Remise d'un rapport technique personnel et confidentiel

Cet audit donne lieu à un plan d'action d'amélioration d'efficacité énergétique accompagné d'une évaluation technico-économique des solutions proposées.

3.3. Audits et diagnostics : bien maîtriser la différence !!

Pas toujours facile de s'y retrouver parmi les différents types d'audit ou de diagnostic. Quelles différences entre les deux concepts ?

Le diagnostic est moins lourd que l'audit, il va moins dans les détails et reste relativement superficiel, en d'autres termes il donne une photographie énergétique macroscopique des lieux, et permet de mettre le point entre autres sur les éléments les plus énergivores prioritaires en termes d'action.

4. Plan d'approche : Installations industrielles

4.1 Etapes

La réalisation de cette étude se fait en trois étapes :

Tableau 1 : Etapes d'audit énergétique

Etapes	Description
Etape 1	Etude de l'existant
Etape 2	Analyse et chiffrage des pertes
Etape 3	Identification des projets d'amélioration énergétiques

Ces étapes seront exposées ci-dessous :

4.2 Méthodologie :

a. Étape 1: Etude de l'existant

Dans toute approche d'analyse énergétique, la première étape consiste à définir le système étudié. On définira ainsi les limites du système étudié qui cernent le périmètre de l'audit. Il faudra réaliser en 1^{er} lieu une

description fonctionnelle qui consiste à élaborer un Flow Chart des différentes étapes du processus industriel en caractérisant les différents équipements qui constituent le système.

Cette étape consistera aussi à collecter des données énergétiques et assurer le suivi de leur analyse. Les données de base de l'analyse doivent être disponibles afin de définir des objectifs réalistes d'économie d'énergie.

Ces données comprennent les caractéristiques figurant sur les plaques signalétiques des équipements, les quantités mensuelles d'énergie consommée, s'étalant sur une période d'au moins une année. En se basant sur ces données, on peut faire une évaluation de la situation énergétique.

Nous distinguons dès lors 2 critères de classification:

Forme d'énergie : Pour réduire la consommation énergétique des installations d'une entreprise ou d'un département, toutes les énergies présentes doivent être exprimées dans une même unité avec le but de la réduction de la consommation énergétique totale.

Le niveau de consommation : Pour les installations consommant le même type d'énergie, on appliquera le critère de PARETO sur leurs consommations énergétiques.

b. Étape 2: Analyse et chiffrage des pertes

Cette étape consiste à élaborer une démarche de calcul et de choix des indicateurs de performance pour établir un bilan énergétique au niveau de chaque installation de l'entreprise concernée.

- Indicateurs de performance

Pour **évaluer** le comportement d'une installation industrielle, il faut calculer ses indicateurs de performance énergétique (caractérisant le type de l'installation industrielle à auditer comme par exemple : le rendement, le facteur de puissance des machines électriques...)

Tableau 2 : exemple de calcul d'indicateurs de performance

Indicateurs	Description
Rendement	<p><u>Méthode directe :</u></p> <p>Cette méthode consiste à déterminer la consommation (entrée) et la production (sortie) de l'installation afin de déterminer le rendement</p> $\eta_l(\%) = \frac{\text{Sortie}}{\text{Entrée}} \times 100$
	<p><u>Méthode indirecte :</u></p> <p>Cette méthode est plus précise, elle détermine en détail les pertes (L) et les crédits (B) au niveau de l'installation pour enfin en déduire le rendement</p> $\eta_l(\%) = 100 - \left[\frac{L}{\text{Entrée} + B} \right] \times 100$
	<p>Remarque</p> <p>Cette méthode est la plus précise, elle permet de calculer le rendement. La fiabilité des résultats obtenus par cette méthode est conditionnée par la précision des mesures effectuées.</p>
Facteur de puissance	<p>Il est calculé à partir des consommations active et réactive, il est donné par :</p> $\cos \varphi = \frac{\text{KWh}}{\sqrt{(\text{KWh}^2 + \text{Kvarh}^2)}}$

- Bilans énergétiques

La question de la délimitation exacte du cadre de recherche se pose à cette étape. On peut ainsi intégrer ou exclure des éléments internes ou externes à l'installation industrielle en fonction de leur influence sur la consommation énergétique.

Le périmètre du bilan étant fixé et les indicateurs de performance calculés alors l'objectif principal sera d'avoir une équivalence totale entre l'approvisionnement en énergie et la somme des consommations énergétiques, à la fois en ce qui concerne les différents constituants

de l'énergie, que la totalité de l'approvisionnement en énergie. Il faut prendre en considération que certaines énergies peuvent être transformées dans le système ou perdues sous forme de déperditions calorifiques.

- Campagnes de mesure

On va effectuer une campagne de mesure pour établir les bilans de consommation des différentes installations de l'installation puis faire une étude Pareto afin de distinguer les composants prioritaires consommateurs d'énergie.

Pour se faire on préparera :

- Inventaire des mesures disponibles sur site.
- Inventaire des mesures complémentaire à effectuer
- Instrumentations adéquates

On effectuera plusieurs prises de mesure (quatre ou plus).

La plupart des données seront représentées graphiquement afin de faciliter la présentation et l'analyse.

- Traitement des données - Bilans d'énergie - Rendements ...
- L'objectif consiste à interpréter les résultats obtenus par :
- Évaluation de consommation - comparaison avec les «Consommations de Référence»
- Contrôle des bilans d'énergie - Évaluation des pertes
- Interprétation des différences éventuelles - Corrections

c. Étape 3 : Identification des projets d'amélioration énergétiques

L'objectif consiste à évaluer les mesures d'économie d'énergie sur la base de trois critères :

- Economique (investissement supplémentaire ou valeur actuelle nette),
- Énergétique (consommation totale d'énergie primaire ou énergie primaire économisée),
- Écologique (émissions totales de CO2 évitées).

Cela signifie qu'il convient, lors de l'évaluation, de tenir compte de plusieurs objectifs ou de pondérer les objectifs les uns par rapport aux autres. Le processus décisionnel est dans ce cadre d'une importance cruciale.

5. La CONSTRUCTION DURABLE

5.1 Le bâtiment durable

La politique Marocaine en matière d'efficacité énergétique et du développement durable s'oriente, entre autres, vers les bâtiments qui constituent un potentiel important de consommation d'énergie. Pour parvenir à ses objectifs, l'état Marocain a mis en place plusieurs organismes publics et privé L'ADEREE, La SIE, MASEN... spécialisés en services énergétiques. Au sein de l'union européenne, le bâtiment a été le premier secteur consommateur avec 35% de la consommation totale d'énergie finale (24% pour le résidentiel et 11% pour le tertiaire⁽⁴⁾). C'est pour cela qu'une grande importance a été accordé à ce point par la commission européenne, de grandes compagnies et fédérales ont été restaurées, comme par exemple le cas de la Belgique qui a mis en place une fédérale des ESCO depuis 2005, dont l'activité principale est de réduire la consommation énergétique des bâtiments fédéraux.

Définition Bâtiment Durable :

Un bâtiment durable est un bâtiment qui :

- Réduit les impacts sur l'environnement
- Réduit les rejets de CO₂,
- Crée un environnement de vie plus sain

Les labels de performances environnementales de la construction :

L'entreprise peut aussi s'engager une démarche de labellisation. Il est possible d'obtenir :

- Le label HQE® couvrant plusieurs domaines environnementaux
- Les labels HPE, THPE et BBC (...) couvrant les domaines de l'énergie

⁴-Ensemble des activités professionnelles de service. Ex Le commerce, l'administration et l'information appartient au secteur tertiaire.

- La qualification de bâtiment à énergie passive
- La qualification de bâtiment à énergie positive

NB : La démarche HQE (Haute qualité environnementale) est volontaire et tend à se normaliser (labels, normes, critères quantifiés). Elle s'applique à la réalisation de bâtiments neufs et à l'amélioration des bâtiments existants. Elle vise à limiter les impacts d'une opération de construction ou de réhabilitation sur l'environnement. Tout en assurant par ailleurs des conditions de vie saines et confortables. L'étape principale de la démarche HQE® est celle de la hiérarchisation des exigences environnementales par le choix des cibles.

5.2 Etapes et méthodologie :

Pour obtenir un bon résultat en termes d'économies d'énergie au niveau des bâtiments, une stratégie de base est obligatoire. Le recours à des experts externes peut être envisagé. Ci-dessous les étapes principales à adopter :

a. Etape1 : Le cadastre énergétique

L'audit énergétique qui constitue une étape primordiale dans le processus global. Cette étape consiste à aller sur place pour chaque bâtiment et prendre une photographie énergétique de la situation actuelle (dysfonctionnement de la climatisation, Chauffage non régulé...). Ceci permettra d'une part de sélectionner les bâtiments défaillants en termes de pertes de l'énergie et d'autre part de déceler les différents problèmes auxquels il faut remédier.

b. Etape2 : Etude de faisabilité

Réaliser pour chaque bâtiment audité une étude de faisabilité de chaque mesure pouvant subvenir à un problème spécifique. Les mesures transversales qui peuvent être appliquées sont au nombre de 9 à savoir :

1. L'isolation des toits, des sols et des conduites de chauffage
2. Le remplacement des anciennes chaudières de chauffage par des chaudières à haut rendement

3. L'optimisation, le remplacement ou l'installation du système de régulation pour le chauffage, la climatisation ou la ventilation
4. L'installation d'un double vitrage à haut rendement (éventuellement avec le remplacement des châssis)
5. La pose de films solaires transparents et de haute performance (dans les bâtiments équipés de climatisation)
6. Le 'Relighting' ou le 'Relamping' (LBC. Lampes à Basse consommation)
7. La cogénération: de l'étude de faisabilité à la réalisation et l'exploitation.
8. L'it Green management.
9. Les campagnes de sensibilisation des gens.

c. Etape 3 : Cahier spécifique de charges (CSC).

Une fois l'étude de faisabilité est établie, élaborer un cahier spécifique de charge (CSC) pour la réalisation des solutions approuvées par l'étape 2.

d. Etape 4 : La réalisation.

Valider la réalisation des solutions qui présentent le meilleur rapport qualité/prix.

5.3.1 Mesures Standards transversales et leurs applications :

5-3-1 Mesures standards :

Les mesures standards sont des mesures transversales applicables sur tous les types de bâtiments permettant d'apporter des économies d'énergies assez considérables et dans le retour sur investissement ne dépasse pas 7 ans. Ils sont aux nombres de cinq :

- M1 :** Relamping/Relighting: remplacement de l'éclairage
- M2 :** Régulation des chaudières ou de l'HVAC (heating, ventilation and air-conditioning) .
- M3 :** Remplacement de la régulation.

M4 : It Green management

M5 : La sensibilisation des personnes

5-3-2 Méthodologies pour l'application correcte des mesures standards:

a. Etude de l'application du Relamping/Relighting: remplacement de l'éclairage :

Définition du Relighting :

Le Relighting est un changement total ou partiel du système d'éclairage dans le but d'atteindre un meilleur confort tout en diminuant les consommations énergétiques liées à l'éclairage.

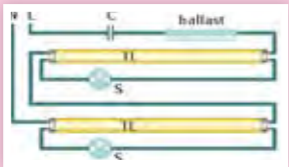
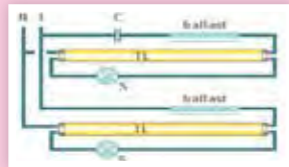
Les composants à améliorer lors d'un Relighting :

Dans un processus Relighting, plusieurs actions peuvent être envisagées pour diminuer la consommation énergétique. Voici ci-dessous les différentes parties du système d'éclairage sur lesquels on peut agir convenablement pour réduire au mieux la consommation énergétique et plus particulièrement celle électrique :

- Les sources de lumière: ampoules, tubes luminescents, spots, luminaires...
- Les appareils auxiliaires (Ballasts, Starters,...).
- Le système de gestion.

Le tableau ci-dessous résume les différentes sous mesure du Relighting qui existent, en fonction de leurs avantages ainsi que leurs modes de mise en œuvre :

La sous mesure	Mise en œuvre	Avantages et rentabilité
Remplacer les lampes à incandescences par des lampes fluorescentes compactes ayant un meilleur rendement.	Il est conseillé de choisir une lampe fluo compacte ayant au départ un flux lumineux supérieur à celui de la lampe incandescente existante, car le flux lumineux des lampes fluo compactes chute relativement vite (de l'ordre de 20% à 30%) au cours de leur durée de vie.	<ul style="list-style-type: none"> - Les lampes fluorescentes Compactes ont une meilleure efficacité lumineuse que les lampes incandescentes: 60 à 80Lm/W contre 10 à 12 Lm/W. - On peut diminuer la puissance installée, en gardant le même éclairage. - Une durée de vie de six à quinze fois plus longue que la lampe à incandescence (soit 6 000 à 15 000 heures contre 1 000 heures). - L'échauffement étant réduit, les risques de dégâts dus à la chaleur sont réduits proportionnellement - Economie d'énergie escomptée d'environ 40 à 70% de la consommation d'éclairage.

<p>Remplacer les tubes fluorescents de 38 mm (ancienne génération) par des tubes de 26 mm</p>	<p>- On peut remplacer toutes les lampes en une fois. Cela demande un investissement plus élevé mais rapidement rentabilisé.</p> <p>- On peut aussi remplacer les lampes au fur et à mesure, lorsqu'elles sont défectueuses. Dans ce cas, l'économie d'énergie mettra un certain temps pour devenir significative.</p>	<p>- Efficacité lumineuse supérieure.</p> <p>- Les tubes de 26 mm fluorescents ont une efficacité lumineuse supérieure à celle des tubes fluorescents de 38 mm</p> <p>- Les tubes fluorescents de 26 mm sont directement interchangeable (Ils ont le même culot et utilisent les mêmes ballasts, à l'exception des tubes fluorescents à allumage rapide).</p> <p>- Economie escomptée d'environ 8%.</p>
<p>Supprimer une partie des lampes des luminaires sur toute la surface de local.</p>	<p>Cette action n'est faisable que pour certains modes de câblage interne des luminaires: il faut vérifier si les connexions lampes/ballast/starter/condensateur permettent de retirer une lampe :</p> <p>Exemple cas défavorable :</p>  <p>Circuit avec 1 ballast pour 2 lampes: il est impossible de supprimer une lampe.</p>  <p>Circuit compensé avec un condensateur pour 2 tubes : la suppression d'une lampe rendra le cos φ du luminaire trop capacitif. Il faut alors vérifier si le cos φ global du bâtiment reste proche de 1.</p> <p>En général pour avoir le droit de supprimer un tube il faut tout d'abord veiller sur l'uniformité d'éclairage donné suivant la norme NBN L13-006 pour chaque type d'endroit, voici ci-dessous un tableau qui donne les valeurs d'Eclairage moyen recommandé sur le plan de travail (en lux) suivant NBN L13-006 :</p>	<p>- L'usage de cette option est très important dans le sens où il permet une réduction remarquable de la consommation électrique sans avoir recours à beaucoup d'investissements.</p> <p>- La suppression par exemple, d'une lampe sur quatre par luminaire, permet de diminuer la consommation de 25%. Elle ne coûte que le temps nécessaire à la mise en œuvre. L'opération est donc rentabilisée très rapidement.</p>

<p>Supprimer une partie des lampes des luminaires sur toute la surface de local.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type de local</th> <th>Éclairage moyen recommandé (en lux)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bureaux - travaux généraux</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Bureaux - lecture et écriture continue</td> <td>750</td> </tr> <tr> <td>Salles de réunion</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Bibliothèque - lecture</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Bibliothèque - étagères</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Couloirs et escaliers</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>Sanitaires</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>Archives</td> <td>200</td> </tr> </tbody> </table>	Type de local	Éclairage moyen recommandé (en lux)	Bureaux - travaux généraux	500	Bureaux - lecture et écriture continue	750	Salles de réunion	500	Bibliothèque - lecture	500	Bibliothèque - étagères	300	Couloirs et escaliers	150	Sanitaires	150	Archives	200	<p>- L'expérience de différents projets de rénovation montre que la diminution de la durée de fonctionnement de l'éclairage dans des bureaux individuels équipés de détecteurs de présence peut atteindre 40% de la durée de fonctionnement initial.</p>
	Type de local	Éclairage moyen recommandé (en lux)																		
Bureaux - travaux généraux	500																			
Bureaux - lecture et écriture continue	750																			
Salles de réunion	500																			
Bibliothèque - lecture	500																			
Bibliothèque - étagères	300																			
Couloirs et escaliers	150																			
Sanitaires	150																			
Archives	200																			
<p>Installer des détecteurs de présence ou encore des minuteries dans les locaux où la présence est occasionnelle</p>	<p>On choisira des détecteurs de présence dans les locaux où la durée de la présence est fort variable (salles de réunions, salles d'archives, certains couloirs,...), tandis qu'on installera des minuteries dans les locaux où la durée de la présence est beaucoup plus courte et prévisible. (couloirs, sanitaires, parking, etc.).</p> <p>Toutefois l'utilisation des détecteurs de présence nécessite certaines précautions à savoir :</p> <p>- Dans les locaux où les mouvements des occupants sont faibles comme les bureaux (mouvements légers pendant le travail sur ordinateur ou la lecture), les détecteurs peu sensibles risquent de pas détecter les mouvements.</p>																			

Tableau 3 : Description des sous mesures de la mesure M3 ainsi que leurs mises en œuvre et leurs avantages

b. Etude de l'application de la mesure de la Régulation et Remplacement de la régulation (Cas des régions à climat très froid) :

1. Régulation et remplacement de la régulation :

Une régulation est un dispositif permettant de maintenir la température d'un local à une valeur constante définie par l'utilisateur en fonction de multiples paramètres comme les plages horaires, l'humidité relative, etc. La température extérieure variant, les besoins en chauffage d'un bâtiment ne sont pas constants. Ils varient, par ailleurs, en fonction du type d'activité et des périodes d'occupation propres à chaque pièce ainsi que des

éventuels apports de chaleur gratuits dont celles-ci peuvent bénéficier : ensoleillement, appareils ménagers, serveurs, présence humaine, etc.

L'installation peut être régulée à l'aide de différents systèmes : un thermostat muni ou pas d'une horloge permet de réguler l'ensemble de l'installation. Les vannes thermostatiques, permettent de régler séparément chaque élément de chauffage. Une sonde extérieure c'est-à-dire un capteur qui informe à tout moment sur la température d'air extérieur, gère précisément le fonctionnement de l'installation de chauffage au niveau de la température de sortie d'eau de la chaudière, ce qui influe directement sur la puissance des dissipateurs (radiateurs).

La régulation de chauffage nécessite lorsque l'enjeu des économies d'énergie est important ou bien lorsque le risque de panne est à gérer d'une manière préventive, une installation dite de gestion technique centralisée (GTC) ou de gestion technique du bâtiment (GTB).

Les régulateurs numériques sont alors reliés entre eux par un bus de communication relié également à une unité centrale permettant de traiter les alarmes, défauts, point de fonctionnement tel que les températures des locaux. Des histogrammes de consommation d'énergie sont édités, la maintenance peut ainsi être programmée (c'est ce que l'on appelle la **MAO**, la maintenance assistée par ordinateur). La GTB connecte de plus les équipements thermiques avec les autres équipements techniques du bâtiment comme les ascenseurs, la sécurité incendie, le contrôle d'accès, l'anti-intrusion et

toute la gestion des postes d'électricité : armoires TGBT, disjoncteurs, ...

Les bâtiments ciblés pour le secteur publique ne possèdent pas tous des systèmes aussi sophistiqués par manque de rénovation ou par manque de contrôle et de maintenance. On se trouvera parfois devant des chaudières où il faudra ajuster la régulation voir la remplacer en partie, c'est-à-dire, qu'il s'agira de pièces manquantes à ajouter ou d'une nécessité d'implémentation d'un nouveau système de régulation.

2. Régulation de chaudière ⁽⁵⁾ :

La régulation de chaudière consiste à modifier les paramètres de l'un des dispositifs de programmation qui suit :

Dispositif de programmation	Type de programmeur (entrée Th-C)	Actions fréquentes à faire sur le dispositif de programmation (sous mesures)	Temps de retour sur investissement
Programmeur d'intermittence ⁽⁶⁾ qui commande par fil pilote, courant porteur ou radio le changement de point de consigne des régulateurs de température intérieure intégrés ou non aux émetteurs de chauffage	Programmation à heure fixe avec contrôle de l'ambiance (comparaison permanente entre la température extérieure et intérieure des lieux par la sonde extérieure)	Envoyer un technicien pour faire la programmation	1,8
Programmeur d'intermittence tout ou rien	Programmation à heure fixe sans contrôle de l'ambiance	Envoyer un technicien pour faire la programmation	1,8

5- C'est un appareil, permettant de transférer en continu de l'énergie thermique à un fluide caloporteur (le plus généralement de l'eau). L'énergie thermique transférée (source de chaleur) peut être soit la chaleur dégagée par la combustion (de charbon, de fioul, de gaz, de bois, de déchets, etc...), soit la chaleur contenue dans un autre fluide, soit encore d'autres sources de chaleur (chaudières électriques, par exemple). Le fluide caloporteur peut être soit chauffé, soit chauffé et vaporisé, soit chauffé, vaporisé et surchauffé dans la chaudière.

Définition scientifique : système permettant d'augmenter la température d'un fluide caloporteur afin de transporter de l'énergie thermique.

6- Pratiquer une intermittence du chauffage durant les périodes d'inoccupation du bâtiment conduit toujours à des économies d'énergie. Celles-ci seront plus ou moins importantes en fonction du type de bâtiment (inertie, isolation) et de la durée d'inoccupation. Elles dépendent aussi du type de programmeur utilisé. L'ordre dans lequel ces derniers sont décrits ici correspond à une gradation dans le potentiel d'économie d'énergie réalisable. Les programmeurs peuvent agir soit directement sur la chaudière dans le cas d'un circuit de distribution unique et/ou sur la régulation des circuits secondaires.

Thermostat de chaudière programmable qui assure à la fois la fonction régulation et programmation (par horloge)	Programmation à heure fixe avec contrôle de l'ambiance	Envoyer un technicien pour assurer : <ul style="list-style-type: none"> L'arrêt manuel des chaudières en été La vérification de la courbe de chauffe 	0,7 0,7
Système de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) qui permet de faire varier les consignes de température des régulations terminales en fonction d'un programme horaire.	Programmation à heure fixe avec contrôle de l'ambiance	Technicien pour agir sur le programme horaire : <ul style="list-style-type: none"> Régler du lundi au vendredi (supprimer samedi & dimanche) Optimiser la régulation de 7h à 17h (ou de 7h à 18h) tous les jours sauf week-end Si les horloges fonctionnent, remettre sur mode automatique Implémentation du système 	0,5 0,8 1,5 0,2
Système de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) qui permet de faire varier les consignes de température des régulations terminales en fonction d'un programme horaire et qui assure une optimisation des relances	Optimiseur avec contrôle de l'ambiance	Agir sur le programme horaire : <ul style="list-style-type: none"> Régler du lundi au vendredi (supprimer samedi & dimanche) Optimiser la régulation de 7h à 17h tous les jours sauf week-end Si les horloges fonctionnent, remettre sur mode automatique Implémentation du système 	0,5 0,8 1,5 0,2

Tableau 4 Les paramètres à modifier dans un dispositif de programmation de régulation

3. Remplacement de la régulation :

Le remplacement de la régulation consiste à installer un nouveau système de régulation ou bien à compléter le système de régulation existant. Dans un premier temps on va définir les composantes principales d'un système de régulation suivi par une estimation du temps de retour sur investissement de leurs remplacements.

a) Les vannes manuelles ou thermostatiques [4] :

- Principe de fonctionnement

Eléments d'une vanne thermostatique :

- Sonde de température ou bulbe thermostatique (poche de gaz).
- Poignée de réglage pour fixer le point de consigne.
- Tige de transmission.
- Ressort de rappel.
- Clapet de réglage.

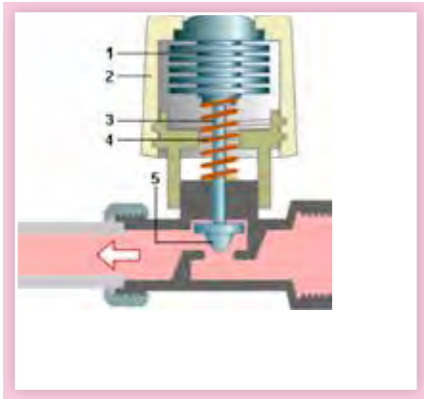


Figure 5.1: Vanne thermostatique

Généralement, la sonde de température (ou bulbe thermostatique) est logée dans la poignée de la vanne. Cette sonde est composée d'un liquide, d'un gel ou d'un gaz qui se dilate ou se contracte en fonction de la température qui l'environne.

Des repères de consigne sont repris sur la poignée de la vanne (*, 1, 2, 3, 4, 5). En général, la consigne 3 correspond à plus ou moins 20°C et *, au maintien «hors gel».

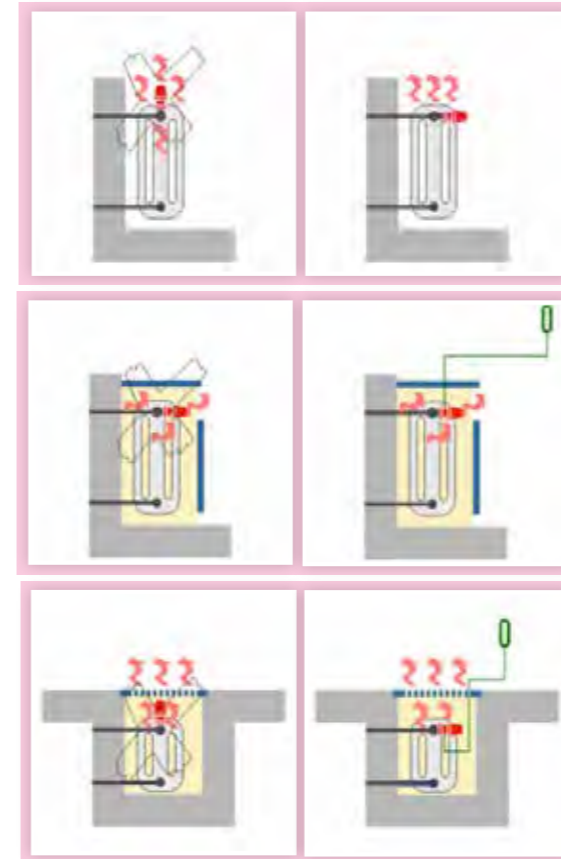
La position du clapet de réglage est déterminée par l'équilibre entre la poche de gaz et le ressort de rappel : lorsque la température mesurée est inférieure au point de consigne, le bulbe thermostatique se contracte, le ressort entraîne une ouverture du clapet de réglage et le débit est augmenté dans le radiateur. L'inverse se produit quand la température mesurée est trop élevée.

- Emplacement des vannes thermostatiques

Les vannes thermostatiques doivent mesurer une température la plus représentative de la température réelle du local. La tête de la vanne, comprenant l'élément thermostatique, ne doit pas être échauffée par le corps de chauffe. On peut repérer comme influences parasites :

- Les coins de murs,
- L'air chaud s'élevant des tuyauteries ou du radiateur,
- Un radiateur épais,
- Des tablettes ou caches décoratifs,
- Des tentures,
- ...

Si les conditions adéquates ne sont pas réunies, il sera nécessaire d'utiliser des vannes thermostatiques avec bulbe à distance.



Positionnements incorrects et corrects d'une vanne thermostatique

- Types de vannes thermostatiques

Ci-dessus est présenté le fonctionnement d'une vanne thermostatique de base dont le réglage de la consigne est laissé à l'entière responsabilité de l'occupant du local.

Les vannes peuvent présenter des fonctionnalités complémentaires. On retrouve ainsi :

	Modèle avec sonde thermostatique séparée (pouvant être placée à distance) et réglage libre incorporé.
	Modèle standard avec sonde thermostatique séparée (pouvant être placée à distance) et réglage libre à distance.
	Modèle à horaire programmable : une résistance électrique sur pile et commandée par horloge trompe la vanne qui se referme en période d'inoccupation.
	Modèle avec pré-réglage du débit pour équilibrer les différents radiateurs.
	Modèle institutionnel avec bague antivol (l'organe de fixation n'est pas accessible à l'occupant) et blocage de la plage de réglage.
	Modèle institutionnel avec réglage bloqué et inaccessible pour l'occupant.

Les différentes fonctionnalités des vannes

c. L'IT Green management (la technologie intelligente des équipements)

Avec la crise planétaire actuelle connue au niveau du réchauffement climatique et de la détérioration de l'environnement, personne ne peut nier le besoin intense à de multiples initiatives pour la participation à des gestes verts bénéfiques pour le bien du développement durable et de la réduction des émissions CO₂. C'est dans ce sens que la stratégie It green Management (Les solutions PC Power Management) a été conçue pour survenir aux pertes énergétiques causées par les différents parcs informatiques dans les entreprises.

Plusieurs fournisseurs ont adopté l'idée It green, en créant des outils sophistiqués permettant de garder le contrôle sur la consommation d'énergie du matériel informatique. Parmi les outils les plus performants et rentables, il y a la Gamme 'Verismic Power Management'. Il s'agit d'un logiciel puissant de gestion énergétique des ordinateurs, qui peut réguler dynamiquement la fréquence d'horloge du processeur. Cette fonctionnalité Baptisée Dynamic Efficiency - permet de réaliser une économie de 20% de la consommation annuelle du poste de travail, en plus de la mise en veille et de l'extinction.

L'IT Green se résume sous forme de trois modèles :

Le premier modèle: Solution Hébergée

« Gestion d'énergie des postes de travail hébergée pour moins d'un euro par mois »

Description	<ul style="list-style-type: none"> - Le seul logiciel de gestion d'énergie des postes de travail entièrement hébergé disponible sur le marché. - Une Dynamic Efficiency qui permet d'économiser jusqu'à 20 % d'énergie en plus, sans avoir recours à éteindre les ordinateurs - Permet de reconnaître les utilisateurs qui agissent efficacement et les informent sur les bénéfices de leurs actions. - Politiques énergétiques granulaires et flexibles, adaptables aux besoins de l'entreprise.
Qualité	<ul style="list-style-type: none"> - Installation rapide. - Contrôle en temps réel. - Transparence pour les utilisateurs. - Accessible de n'importe où.
Avantages	<p>Exemple d'un investissement total (y compris la caution) par PC et par an : 14,74 euro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gain par PC et par an : 27,974 euro. - Temps de retour sur investissement : $TRI = (14,4) / 27,974$ - TRI = 6 mois - Assurer des économies sans éteindre les PC.
Configuration exigée	<ul style="list-style-type: none"> - Aucun coût d'infrastructure. - Ouvrir un compte en ligne.

Tableau 5 : Descriptif du premier modèle de l'IT green management

Le deuxième modèle : Pour les Managing successful Program(MSP)

« Une solution sur mesure, des coûts maîtrisés et une excellente rentabilité »

Description	<ul style="list-style-type: none"> - La plupart des solutions de gestion d'énergie des postes de travail présentées sur le marché sont exclusivement destinées à de grandes entreprises et nécessitent une augmentation substantielle des dépenses consacrées aux équipements logiciels et aux infrastructures liées à l'aménagement des locaux. Les différents environnements sont extrêmement variés, allant de la très grande entreprise à la petite ou moyenne entreprise régionale nécessitant des solutions offrant le meilleur rapport qualité-prix, en passant par les antennes régionales requérant des services partagés (telle une administration locale). Verismic Power Management MSP est la seule solution dédiée de gestion d'énergie de poste de travail conçue pour les fournisseurs de services info gérés disponible sur le marché.
Qualité	<ul style="list-style-type: none"> - Installation rapide. - Contrôle en temps réel. - Transparence pour les utilisateurs. - Accessible n'importe où. - Le seul programme de gestion d'énergie des postes de travail pouvant être entièrement hébergé par les MSP.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de retour sur investissement de : 6 mois à 12 mois. - Economie d'énergie sans éteindre les PC.

Configuration exigée	<ul style="list-style-type: none"> - S'intègre au système existant. - Un espace libre sur le serveur de la société. - Déployer l'agent sur les PC voulus.
-----------------------------	--

Tableau 5: Descriptif du deuxième modèle de l'IT green management

Troisième modèle : Solution sur Site

« Une gestion d'énergie des postes de travail permettant d'économiser jusqu'à 50 euros par poste de travail et par an »

Description	<p>Ce modèle répond aux besoins spécifiques du processus de gestion d'énergie des postes de travail afin de réduire l'impact des IT sur les émissions de carbone et diminuer le coût énergétique global. La version Power Manager On-Permise prend en charge des parcs informatiques de 100 à plus de 100 000 postes de travail via un système installé en interne, au sein de la structure.</p>
Qualité	<ul style="list-style-type: none"> • Installation rapide. • Contrôle en temps réel. • Transparence pour les utilisateurs. • Accessible n'importe où.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Le temps de retour sur investissement est de 6 à 12 mois.
Configuration exigée	<ul style="list-style-type: none"> - S'intègre au système existant. - Un espace libre sur le serveur de la société. - Déployer l'agent sur les PC voulus.

Analyse

- Ce modèle est rentable vis-à-vis du temps de retour sur investissement. Son implémentation n'est pas adaptée les bâtiments de petites tailles ou dont le champs d'activités ne nécessitent par un grand potentiel d'usage d'outillage informatique, une telle mesure ne sera nécessaire que dans les exceptions.

Tableau 6 : Descriptif du troisième modèle de l'IT green management

Finalement, l'application de la mesure It Green management est une très bonne approche permettant une réduction importante au niveau de la facture énergétique avec un temps de retour sur investissement ne dépassant pas les 12 mois<7ans, sauf que des conditions sont à vérifier avant de choisir le modèle à appliquer à savoir :

1. Pour les petits bâtiments ayant des activités simples avec un usage moyen et non complexe des PC un It green de modèle 1 est suffisant pour une réduction efficace et économe de l'énergie électrique.
2. Pour les bâtiments ayant des activités relativement importantes avec un usage moyen des PC dans un réseau centralisé de donnés (Virtual Desktop Infrastructure) dans un serveur principale de la société, un It Green de modèle 2 s'avère très efficace.
3. Pour les bâtiments ayant des activités importantes et très complexes au niveau de gestion de données et possédant un nombre considérable de PC dépassant les 100 unités, un It Green de modèle 3 s'avère très adéquat pour mettre fin aux gaspillages d'électricité engendrés par les PC.

d. La sensibilisation des gens :

Il s'agit d'une mesure très simple visant la sensibilisation du personnel occupant les bâtiments, de l'ampleur de l'énergie et des conséquences fâcheuses qui peuvent s'engendrer sur l'environnement et l'économie du pays suite à des pertes énormes et inutiles. Pour ce faire, il

faut organiser des formations qui instruisent les gens sur des gestes simples (éteindre son PC une fois le travail terminé, éteindre la lumière durant la journée...) et qui permettent de donner de bons résultats en termes d'économie d'énergie.

5-4 Mode de financement Approprié et rentable pour l'approche stratégique de l'efficacité énergétique dans les bâtiments :

Le Contrat de Performance Energétique ou CPE (Energy Performance Contract-EPC) :

Définition :

La directive 2006/32 définit le contrat de performance énergétique comme « un accord contractuel entre le bénéficiaire et le fournisseur, d'une mesure visant à améliorer l'efficacité énergétique, selon lequel des investissements dans cette mesure sont consentis afin de parvenir à un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique qui est contractuellement défini»⁽⁷⁾.

Clauses caractérisant un contrat de performance énergétique :

Un contrat de performance énergétique contient nécessairement les quatre éléments constitutifs suivants :

a) Premier élément constitutif : l'objet

L'objet de tout contrat de performance énergétique est la diminution des consommations énergétiques et non pas la réalisation de travaux, la fourniture de biens ou la prestation de services même dotés de performances énergétiques contractualisées.

En effet, ce qui constitue la cause impulsive et déterminante ayant conduit les deux parties à s'engager dans un contrat de performance énergétique est bien la réalisation d'économies d'énergie.

⁷- Directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2006, précitée, art. 3 j).

b) Deuxième élément constitutif: l'investissement

Tout contrat de performance énergétique se traduit par un investissement, matériel ou immatériel, porté par le maître d'ouvrage ou l'utilisateur, la société de services d'efficacité énergétique ou un tiers. Cet investissement vise à modifier les caractéristiques énergétiques du bâtiment et à rendre possible une amélioration de la performance énergétique de celui-ci, c'est-à-dire la baisse des consommations d'énergie.

c) Troisième élément constitutif : la garantie de performance énergétique.

L'obligation essentielle de la société de services d'efficacité énergétique est de garantir, au moyen des investissements réalisés, la baisse des consommations d'énergie. La garantie doit être classiquement comprise comme un « mécanisme qui prémunit une personne [le maître d'ouvrage] contre une perte pécuniaire ».

Dans un contrat de performance énergétique l'obligation de garantie revient donc pour la société engageante à indemniser le maître d'ouvrage de la totalité du préjudice subi, soit l'intégralité de l'écart entre la performance contractuellement fixée et la performance effectivement constatée, toutes choses égales par ailleurs.

Ainsi, c'est l'intégralité de l'écart entre la performance contractuellement fixée et les performances effectivement constatées qui est couvert par la garantie ; il ne s'agit plus d'une pénalité forfaitaire mais d'un mécanisme qui assure au maître de l'ouvrage, si ce n'est une baisse effective des consommations d'énergie, du moins son équivalent économique.

Dans ce schéma, le risque de dérive des quantités ou de diminution insuffisante des quantités entre la situation de référence ajustée et les consommations réellement constatées est pris par le titulaire. Il serait en revanche peu réaliste de demander à la société engageante d'assumer, de surcroît, le risque de variation du prix des énergies : le mécanisme de garantie du contrat neutralisera donc utilement l'évolution des prix des matières premières qui pèsera en conséquence sur le maître d'ouvrage.

La garantie de performance énergétique peut être considérée comme une obligation de résultat dès lors que la non-atteinte du résultat contractuel débouche sur une indemnisation automatique et intégrale du maître d'ouvrage, aux mêmes conditions d'usage et d'utilisation de l'immeuble.

d) Quatrième élément constitutif : la mesure des performances énergétiques.

L'engagement d'amélioration de la performance énergétique garanti doit nécessairement faire l'objet de mesures et de vérifications pendant la durée du contrat. La garantie de performance énergétique doit ainsi porter sur des données mesurables, dans le cadre d'un protocole contractualisé, objectif et contradictoire entre les parties.

Les acteurs du marché, à l'exception notable des assureurs, s'orientent vers une garantie de performances « réelles » et non « conventionnelles⁽⁸⁾ ». Les performances conventionnelles sont celles obtenues par le bâtiment au travers de calcul et de simulations numériques, à l'instar des méthodes utilisées pour l'attribution des labels de type « BBC ».

6. CONSOMMATION ET SENSIBILISATION :

En général la fluctuation de la consommation énergétique dépend des attribues potentiels d'un système donné. Délimiter ces derniers et leurs appliquer des mesures pour en diminuer leur consommation globale constitue une action primordiale résumant le but d'un cadastre énergétique.

6-1 Cas de figure dans le cas Industriel :

On va prendre comme exemple d'illustration le cas réel de l'une des centrales de l'ONEE-Branche Electricité pour voir la consommation de ses auxiliaires et ainsi déduire l'ampleur de l'application d'un audit énergétique qui constitue l'une des étapes importante menant à une bonne efficacité énergétique de la centrale.

⁸- Garantie résultant d'un modèle théorique intégrant les différents paramètres retenus pour donner une consommation théorique du bâtiment.

En général les auxiliaires potentiels d'une centrale électrique se résument dans le tableau suivant :

Forme d'énergie consommée	Classification des auxiliaires(Systèmes étudiés)
Energie chimique	Chaudières auxiliaires
Energie calorifique	Echangeurs de chaleur
Energie électrique	Auxiliaires électriques

Pour le cas d'une centrale thermique voici les pertes générés par ces trois types d'auxiliaires :

Forme d'énergie consommée	Classification des auxiliaires(Systèmes étudiés)	Les pertes Générés en KDH
Energie chimique	Chaudières auxiliaires	970
Energie calorifique	Echangeurs de chaleur	124,27
Energie électrique	Auxiliaires électriques	747,44

- D'après le tableau suivant on remarque que les pertes totales en terme de coût s'élèvent à 1841,71 KDH.

- C'est un surcoût annuel considérable pour justifier des actions d'économie en termes d'énergie et d'argent.

6-2 Cas de figure dans le cas des bâtiments :

Le Maroc n'étant pas encore totalement impliqué dans le domaine de l'efficacité énergétique appliquée sur les bâtiments, on va alors illustrer ce cas d'études par un exemple réel des bâtiments publics belges.

6-2-1 Contexte global :

En Belgique, le bâtiment (logement et secteur tertiaire) représente environ 70% des consommations énergétiques globales de la Région. C'est pour cette raison que le gouvernement Belge s'est orienté entre autres vers les bâtiments énergivores qui constituent un potentiel important d'économie d'énergie.

6-2-2. Le cas d'étude :

La Belgique Possède un parc de bâtiments publics fédéraux, contenant 1200 petits bâtiments et 400 plus gros bâtiments ce qui fait un total de 1600 bâtiments. On sous-entend par petits bâtiments, ceux dans la facture énergétique ne dépassant pas les 100 000 euros.

Pour savoir l'ampleur du fardeau de la charge que consomment ses bâtiments voici ci-dessous un tableau illustratif :

Taille de bâtiments	Petits bâtiments	Grands Bâtiments	Total
Nombres de bâtiments	1200	400	1600 Bâtiments
Facture énergétique en euros	1200*80000 = 96.000.000 euros	400*200000 = 80.000.000 euros	176.000.000 euros

Analyse et résultats : Le total des factures énergétiques annuelles de ses 1600 bâtiments s'élève à 176.000.000 euros, une valeur critique pour se demander s'il y a moyen d'agir pour assurer des économies d'énergie et de coûts. C'est dans cette perspective que 'Fedesco' depuis 2006 a cherché à réduire sa facture énergétique de 60%, en appliquant les 6 mesures standards à savoir :

M1 : Relamping/Relighting: remplacement de l'éclairage

M2 : Régulation des chaudières ou de l'HVAC (Heating, ventilation and air-Conditioning).

M3 : Remplacement de la régulation.

M4 : It Green management

M5 : La sensibilisation des personnes

En 2011 la Belgique est parvenue à réduire la Facture énergétique globale de ses 1600 bâtiments de 176.000.000 euros à 88.000.000 euros, c'est-à-dire un pourcentage de 50% de la consommation initiale. Une réduction très importante montrant l'ampleur de l'application correcte de l'efficacité énergétique dans le secteur des constructions durables.

6-3 Les bonnes pratiques de réduction de la consommation :

Une fois la consommation connue, il faut définir des priorités dans les modifications à adopter, faire ces modifications, et enfin, obtenir des résultats concrets qui peuvent être communiqués.

L'implication de l'ensemble du personnel dans les démarches de réduction de la consommation est primordiale. Il faut donc :

- Le sensibiliser par des campagnes d'information régulières.
- Informer le nouveau personnel de la politique de réduction de consommation
- Renforcer l'implication par une communication sur les résultats de cette politique.

Cette implication du personnel permet de systématiser les bonnes pratiques comme :

- Éteindre les lumières en sortant d'une pièce,
- Faire attention aux ouvertures et fermetures des zones de froid,
- Ne pas utiliser d'appareils de chauffage personnel,
- Adopter une conduite économique lors de transport routier (éventuellement en formant le personnel),
- Penser à mettre en veille et à éteindre les appareils électroniques...

Conclusion :

L'audit énergétique est un outil d'aide à la décision. Une grande importance devra être accordée à la pédagogie tout au long du projet. Les auteurs de l'audit devront faire ressortir les conseils, expertises, remarques ou informations complémentaires visant à éclairer l'acteur dans ses choix pour convaincre et faciliter le passage à l'action, action qui ne peut être accessible que si les mesures d'accompagnement requises pour la réussite des projets de l'EE, sont satisfaites à savoir :

- Engagement des parties dans la mise en œuvre des actions d'efficacité énergétique ;
- Concrétisation des mesures prévues par la loi sur l'EE (audits, bâtiments, installations industrielles, etc.);
- Utilisation des tarifs comme levier de l'EE (avec préservation de la tranche sociale);
- Mesures incitatives pour l'Efficacité énergétique (financement, fiscalité, etc.);
- Labellisation des équipements électriques (notamment l'électroménager);
- Différenciation des droits de douanes en fonction des classes de consommation électrique;
- Rationalisation de la consommation de l'éclairage public (rôle des Communes);
- Réduction de la consommation des bâtiments administratifs;
- Instauration permanente du GMT+1 (saisons printemps et été au moins);
- Interdiction à terme de l'utilisation des lampes à incandescence;
- Campagnes de communication et de sensibilisation à l'économie d'énergie;
- Formation de profils adaptés aux métiers des EE.

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE :

Préambule

Un système d'audit énergétique est nécessaire aux grands consommateurs d'énergie, offrant ainsi aux établissements concernés les outils visant à réduire leurs coûts, à accroître leurs profits tout en améliorant leur efficacité énergétique. Les effets induits par la mise en œuvre de l'audit énergétique et les correctifs qu'il entraîne sur la consommation nationale d'énergie comportent, non seulement un volet économique évident mais répondent également aux obligations relatives à la protection de l'environnement.

S'inspirant des pratiques universellement reconnues dans le domaine. Le présent guide méthodologique constitue un document de base et un référentiel à adopter dans la réalisation de l'audit énergétique.

Il établit un état exhaustif de l'ensemble des éléments constitutifs d'un audit énergétique approfondi, et a pour objectif d'expliquer aux auditeurs la méthodologie et mettre à leur disposition les outils de base nécessaires à l'exercice de leur fonction

1/ OBJET DU GUIDE :

L'énergie ne peut être économisée que si on connaît où et comment elle est utilisée et quand et, où son efficacité peut être améliorée, d'où la nécessité de recourir à un audit énergétique.

L'audit énergétique qui est un élément d'un programme d'efficacité énergétique, est entrepris dans le but d'élaborer un bilan de la situation énergétique globale de l'établissement, de quantifier les potentiels d'économies d'énergie et de définir les actions nécessaires à la réalisation de ces économies.

Pour répondre à ce souci, ce guide méthodologique est conçu de manière à donner les bases essentielles des différentes phases dans la réalisation d'un audit énergétique. Il décrit une approche organisée et une méthodologie dans la conduite de l'audit pour

l'identification des gisements d'amélioration potentielle de l'efficacité énergétique. Le programme de l'efficacité énergétique découlant de l'audit énergétique doit constituer un éclairage d'amélioration important au responsable de l'établissement sur les investissements en efficacité énergétique sur les trois aspects : rentabilité, économie d'énergie et impact environnemental.

2/ LES PHASES DE L'AUDIT ÉNERGETIQUE

L'audit énergétique se déroule conformément aux étapes :

2-1 Phase d'initiation :

Cette phase commence au niveau de la direction de l'établissement, car faire de l'économie d'énergie sans que la direction ne soit sensibilisée ni concernée par la problématique énergétique. Cette phase est principalement menée par les gestionnaires et les techniciens de l'établissement. Elle constitue une étape préparatoire de l'audit, elle consiste en :

a) La définition des besoins en investigation énergétique ;

b) Les priorités ;

c) La préparation des documents nécessaires pour la consultation des auditeurs.

2-2 Phase d'analyse :

Cette phase comprend le relevé de la consommation d'énergie et de tous les paramètres énergétiques principaux, l'observation critique de toutes les activités qui concernent la consommation d'énergie, l'analyse des données, l'indication sur des possibilités d'économies d'énergie (PEE), l'évaluation des PEE, la fixation des PEE prioritaires et la conception du plan d'économie d'énergie, y compris le planning d'exécution et les budgets.

2-3 Phase d'exécution :

Cette phase consiste en l'application des mesures

d'économies et des mesures d'encadrement. Par mesure d'économie on entend des mesures n'exigeant que peu ou pas d'investissement et qui sont liées à la bonne gestion et la bonne organisation de l'entreprise, et des mesures nécessitant des investissements plus importants. Par mesures d'encadrement on entend des mesures telles que la motivation du personnel et l'organisation de procédures de mesure expérimentale et d'analyses nécessaires pour apprécier ces mesures d'économie.

2-4 Phase de suivi :

La phase de suivi est destinée à évaluer les mesures d'économie prises, grâce aux diverses mesures et analyses, et à diffuser les résultats obtenus, ce dernier point faisant partie d'une action de sensibilisation permanente. Le plan d'économie doit également être revu périodiquement et de nouvelles analyses doivent éventuellement être entreprises.

2-4-1 Déroulement

A partir du bilan énergétique validé correspondant à la consommation de base l'auditeur :

- Analyse les dysfonctionnements;
- Identifie, quantifie, chiffre et décrit les solutions d'amélioration envisageables à mener pour réduire la facture énergétique ;
- Compare les solutions envisageables entre elles ;
- Propose des indicateurs de performance énergétique et leur suivi périodique.
- L'auditeur rédige le rapport final et le présente au chef de l'établissement. Les échanges doivent permettre d'aider le gestionnaire de l'établissement dans le choix des solutions à retenir.

2-4-2 Méthodologie pour atteindre les objectifs de cette phase

a) Identification des solutions

Les actions possibles sont identifiées par l'auditeur sur la base :

- De sa propre expertise ;
- De l'âge du matériel, de son état, de son mode d'exploitation et de conduite ;
- De la technologie du matériel existant par rapport aux équipements les plus efficaces disponibles sur le marché.

b) Description des solutions

L'auditeur présente :

- La liste des actions à mettre en place concernant la sensibilisation, la formation du personnel, les comptages de l'énergie et leur suivi ;
- La liste des modifications à apporter aux installations et équipements pour la réalisation des économies, ainsi que leur description sommaire et leur dimensionnement estimé ;
- La liste des modifications à apporter aux modes opératoires ;
- Les incidences sur le mode d'exploitation, sur l'entretien et sur la durée de vie des équipements sont signalées, ainsi que les éventuelles contraintes de mise en œuvre, les incidences environnementales.

c) Quantification des économies d'énergie

Les économies d'énergie attendues des modifications proposées, ainsi que les gains éventuels induits en termes de productivité, de maintenance, de qualité de production, sont évalués. Les retombées positives sur certains critères comme par exemple sur les conditions de travail, préservation de l'environnement, la sécurité, etc., sont mentionnées. Ces améliorations sont introduites dans le bilan énergétique établi afin d'en faire une simulation, d'estimer leur impact sur la consommation de base et le gain potentiel, en tenant compte des éventuels échanges entre les postes consommateurs d'énergie.

d) Évaluation des solutions

Les coûts liés aux solutions d'amélioration sont évalués (études, investissement, bonnes pratiques, etc.), ainsi que l'impact sur le bilan d'exploitation du site, afin d'établir notamment les temps de retour brut. Les investissements correspondants et leur temps de retour seront précisés à partir de l'expérience de l'auditeur, des données existant sur le site et de quelques consultations préliminaires auprès des fournisseurs permettant d'établir une estimation budgétaire. La détermination précise des montants d'investissement est un des objets de l'étude de faisabilité faisant éventuellement suite à l'audit.

e) Présentation des solutions

Afin de permettre une aide à la décision dans le choix des solutions étudiées, celles-ci sont présentées d'abord de façon indépendante les unes des autres (actions unitaires), puis de façon combinée (plusieurs actions unitaires cohérentes entre elles).

Actions unitaires

Pour chaque action possible, préalablement étudiée, l'auditeur établit une fiche récapitulative comprenant :

- Sa classification dans une des trois catégories possibles d'amélioration, pour mémoire : modification des comportements, optimisation des processus, ou évolutions rendant nécessaires des investissements ;
- Une description détaillée ;
- Le chiffrage de la solution :
 - Gain potentiel en DAHT/an ;
 - Le gain potentiel en kWh/an ou th/an ;
 - Le coût d'investissement, éventuel, et dans ce cas la fiche mentionne le temps de retour brut ;
 - L'incidence sur les coûts d'exploitation et de maintenance, y compris sur les contrats de fourniture des énergies (abonnement, puissance ou débit souscrit) ;

- L'incidence éventuelle avec d'autres critères d'amélioration (qualité, productivité, etc.) ;

- Les hypothèses de la simulation (coûts énergétiques, durées et périodes de fonctionnement, etc.) ;

- La durée de vie usuelle.

- Les répercussions sur la formation du personnel, la conduite, l'entretien ;
- Les contraintes de mise en œuvre ;
- Les cohérences, et les éventuels impacts avec les autres actions ;
- Les formes de soutien financier éventuel : aides, subventions, incitations fiscales, etc.

Actions combinées

Il sera utile d'étudier les actions de façon combinée dans le cas où :

- Plusieurs actions unitaires apparaissent cohérentes entre elles ;
- Plusieurs actions interfèrent entre elles, notamment en cas d'impact négatif de certaines ;
- Sur d'autres. Une fiche récapitulative concernant la combinaison de ces actions pourra être établie sur une base identique à celle décrite précédemment. Cela permettra de dégager le gain réel de ces actions associées (ce gain n'est pas forcément égal à la somme des gains obtenus pour chaque action unitaire), et de définir éventuellement un plan d'engagement commun de ces actions

3/ LE QUESTIONNAIRE

Un exemple de questionnaire à remplir par l'établissement durant l'audit énergétique se trouve en annexe. Bien que ce questionnaire fasse partie intégrante de l'audit, il ne constitue en aucune façon la totalité de l'audit.

4/ LES MESURES

Il est impossible de calculer avec exactitude des bilans énergétiques et massiques, et les gisements d'économies sans avoir des données exactes, à cet effet des campagnes de mesures doivent être réalisées sur le site de l'audit pour confirmer les informations fournies et les compléter dans le cas échéant. La liste suivante présente les mesures qui doivent être prises lors de la réalisation de l'audit énergétique.

a) Mesures de contrôle énergétique

Procédé	Variable	Action requise
Utilisation de combustible liquide	Débit du combustible	Mesuré
	Température du combustible	Mesurée
Utilisation d'électricité	Courant	Mesurée ou déduite
	Tension	Mesuré ou déduit
	Facteur de puissance	Mesurée ou déduite
	Coefficient de charge	Mesuré
	Taux d'utilisation	Mesuré
	Bilan de puissance	Mesuré ou déduit
	Compensation de l'énergie réactive	Mesuré ou déduit
Combustion	Température des fumées	Mesurée
	Débit des fumées	Mesurée
	Produits de combustion	Dérivés
	Air rejeté	Dérivé
	Coefficient de charge	Mesuré
	Taux d'utilisation	Mesuré ou déduit
Gaz	Débit du volume	Mesuré
	Température	Mesurée
	Teneur en humidité	Mesurée
Chaleur	Débit du flux	Mesuré
	Température	Mesurée
	Pression	Mesurée
Air comprimé	Analyse du réseau	Mesuré ou calculé
	Taux de fuite Rendement	Mesuré ou calculé
Groupe de froid	Etude du système Rendement	Mesuré ou calculé
Perte de chaleur des surfaces	Température	Mesurée
	Superficie	Mesurée
	Vitesse de l'air	Mesurée ou calculée

b) Types de mesures :

Mesures instantanées: Suffisantes pour déterminer la valeur d'un paramètre recherché dans des conditions stables de fonctionnement, par exemple la perte de chaleur d'une surface, les conditions de combustion d'un brûleur, etc.

- Mesures instantanées répétées : Nécessaires quand le régime de fonctionnement n'est pas stable.
- Mesures continues : Nécessaires d'effectuer des enregistrements pendant une période assez longue dans des situations où le régime de fonctionnement varie constamment. Ces mesures sont aussi utiles pour déterminer le modèle d'utilisation ou de consommation d'énergie pendant la nuit ou le week-end.

5/ INSTRUMENTATION

Les instruments de base portables qui sont généralement nécessaires pour effectuer un audit énergétique sont :

1. Analyseur d'oxygène
2. Analyseur de gaz de combustion (oxygène et gaz carbonique)
3. Tube pitot ou manomètre (pour mesurer débit des fumées)
4. Pyromètre à infrarouge
5. Thermomètres avec différentes sondes de température
6. Débitmètre
7. Hygromètre ou thermo-hygromètre
8. Analyseur de réseau électrique (tension, courant, Cos phi, consommation d'énergie etc.)
9. Ampèremètres
10. Appareils de mesure du Cos phi
11. Appareils de mesure de l'éclairement (luxmètre)
12. Analyseur d'harmoniques

Illustration de quelques instruments de mesure

**6/ CAMPAGNE DE MESURES**

L'auditeur et le responsable de l'établissement doivent d'un commun accord arrêter les conditions de la mise en œuvre de la campagne de mesure dont le contenu est défini dans un cahier des charges.

L'accord entre l'auditeur et le responsable de l'établissement doit préciser :

- La liste des points de mesures ;
- Leur position physique ;
- La durée de mesure : ponctuelle ou enregistrée ;
- La période d'intervention pendant laquelle l'activité de l'entreprise est représentative ;
- La responsabilité de la réalisation des mesures ;
- Les contraintes d'exploitation liées aux procédés ;
- Les contraintes de mise en œuvre des appareils de mesure.

La campagne de mesures se déroule en trois étapes :

Étape 1 : mise en place de capteurs et enregistreurs

Étape 2 : acquisition des données

Parallèlement à l'acquisition automatique des données physiques, il peut être demandé au personnel de l'établissement de relever certains paramètres de fonctionnement du site, notamment des données de production.

Étape 3 : restitution des données

La restitution comprend :

- Le principe de chaque mesure, le niveau d'incertitude et les éléments permettant d'apprécier précision ;
- Les calculs effectués ;
- Les courbes significatives ;
- Les tableaux de résultats des mesures.

7/ DOCUMENTATION UTILE A L'AUDITEUR

Lors de la réunion d'enclenchement de l'audit, le responsable de l'établissement doit mettre à la disposition de l'auditeur la documentation suivante :

- Etat de la consommation de combustible mensuelle et annuelle ;

- Factures d'énergie sur les trois dernières années ;
- Contrats de fourniture d'énergie ;
- Tous les relevés de compteurs de gaz, électricité, vapeur, etc., de l'année précédente ;
- Tous les chiffres de production mensuels/hebdomadaires de l'année précédente, chiffres d'ensemble de l'établissement, chiffres de chaque procédé et de chaque équipement, s'ils sont disponibles ;
- Les fiches journalières des équipements consommant le plus d'énergie si elles sont disponibles ;
- Les détails de tous les équipements de taille moyenne consommant de l'énergie, par exemple le type/modèle, la puissance, les conditions, le type de combustible (fiche technique) ;
- Les heures d'utilisation des équipements et le mode de fonctionnement de l'établissement ;
- Le questionnaire.

8/ REDACTION DU RAPPORT

L'auditeur devra rédiger un rapport complet sur l'audit de l'établissement. Ce rapport devra contenir tous les renseignements nécessaires ayant trait aux investigations citées ci-dessus.

Contenu du rapport d'audit

Le rapport d'audit devra être rédigé suivant le plan ci-après.

- Sommaire du rapport
- Avant-propos ou préface
- Identification de l'entreprise et de l'auditeur

Il s'agit de présenter ci-dessous l'établissement visité et l'auditeur qui a conduit l'audit énergétique.

a. Entreprise :

- Siège Social :

- Adresse complète :
- Numéro de Téléphone :
- Numéro de Fax :
- Chiffre d'affaires :

b. Etablissement audité

- Nom :
- Adresse complète :
- Numéro de Téléphone :
- Numéro de Fax :
- Directeur de l'Etablissement :
- Responsable Energie :

c. Auditeur

- Date de l'intervention :
- Nom de l'Auditeur :
- Personne ayant directement participé à l'audit :

(Préciser la qualification, Ingénieur ou Technicien)

- Date d'envoi du rapport à l'établissement :
- Description générale de l'établissement
- Analyse qualitative de la situation énergétique de l'établissement
- Analyse quantitative et description de toutes les recommandations d'économie d'énergie
- Résumé des principales recommandations

Le rapport d'audit énergétique devra contenir après l'identification de l'établissement audité, un résumé des différentes consommations énergétiques ainsi que leurs coûts.

Bilan énergétique global

POSTE DE CONSOMMATION	UNITES	CONSOMMATION	CONSOMMATION EN TEP	COUT EN DH

Dans ce chapitre, l'Auditeur présentera une synthèse des principales recommandations.

L'Auditeur présentera, dans un tableau, toutes les recommandations proposées en mentionnant l'investissement nécessaire, les économies attendues et le temps de retour brut pour chacune d'elles.

Tableau résumé des recommandations

RECOMMANDATIONS	ECONOMIES EN TEP	ECONOMIES EN DH	INVESTIS. EN DH	TEMPS DE RETOUR

Proposition d'un plan d'action

A partir des recommandations établies, l'Auditeur devra proposer un plan d'action chronologique qui contiendra les actions les plus rentables.

L'Auditeur devra présenter le plan d'actions sous forme de tableau.

PROJET N°

1. Désignation
 2. Description
 3. Investissement
 4. Date de réalisation
 5. Durée de réalisation
 6. Incidence du projet
- Gains en Energie : (TEP et Dh)
- Gains d'exploitation : (en Dh)
- Impact sur l'environnement..... (TCO2 évité)
7. Amortissement

9/ OBLIGATIONS

9.1 De l'auditeur envers l'établissement

a. Transparence

S'il s'agit d'un prestataire extérieur, l'auditeur s'engage à la transparence vis-à-vis des responsables de l'établissement.

À ce titre, il fournit toutes les informations relatives à :

- Son statut juridique ;
- Son actionariat, ainsi que celui de ses principaux actionnaires ;
- Ses différentes filiales ;
- Ses liens financiers ou autres avec des producteurs ou fournisseurs de biens ou de services en rapport avec ses domaines d'intervention.

b. Confidentialité

L'auditeur s'engage à maintenir strictement confidentiels toutes les informations, documents et résultats produits en exécution de la prestation ainsi que toutes les données

et informations qui lui auront été communiquées par le maître d'ouvrage.

c. Respect des consignes du site

L'auditeur doit respecter le règlement intérieur de l'établissement, ainsi que les règles d'hygiène et de sécurité.

9.2 De l'établissement vers l'auditeur

Pour être efficace dans son étude, l'auditeur, s'il s'agit d'une personne extérieure au site, a besoin que les responsables de l'établissement :

- Lui adjoigne une personne du site pouvant le guider dans ses contacts avec les autres personnes du site, et dans ses déplacements en toute sécurité dans l'établissement ;
- Lui donne accès aux parties du site concernées par son étude ;
- Lui donne accès aux documents nécessaires à la réalisation des différentes phases du diagnostic énergétique ;

10/ Annexes du rapport

Les annexes contiendront toutes les informations nécessaires à la bonne compréhension du rapport :

1. Plan et schéma descriptif
2. Références utilisées
3. Copies des documents remis par l'établissement ou autres.
4. Les détails de calcul.

ANNEXE 1**CANEVAS DE RELEVÉE DES DONNÉES**

Date / ___ / ___ / ___ / ___

A/ IDENTIFICATION

Nom de la Société

Adresse

Téléphone

• **Personnes chargées de remplir le questionnaire :**

NOM	POSITION	TELEPHONE

Nombre d'employés

Date de mise en service

Branche industrielle

Propriété

	OBSERVATIONS

B/ PRODUCTION (les 3 dernières années)

Produits principaux	Unité	Capacité nominale	Production (20..)	Production (20..)	Production (20..)	Observations

Stock produit finis	Unité	Stock normal	1 ^{er} Janv.	31 Dec.	1 ^{er} Janv.	31 Dec.	1 ^{er} Janv.	31 Dec.	Observations

• **Période de travail*** Toute l'année Jours* Travail saisonnier Spécifier * Nombre poste/jour Nombre total heures/jour • **Valeur de la production**ou chiffres d'affaires ou valeur ajoutée DA

C/ ENERGIE CONSOMMEE (les 3 dernières années)

Energie	Unités	Consommation (20 .)		Consommation (20 .)		Consommation (20 .)		Observations
		Quantité	Coût	Quantité	Coût	Quantité	Coût	
Electricité achetée								
Electricité auto-produite								
Gaz naturel								
Charbon								
Bois								
Coke								
G.P.L								
Gaz-oil								
F.O.D								
Fuel-lourd								
Autres (spécifier)								

D/ GESTION DE L'ENERGIE

Existe-t-il un coordinateur (un comité) de gestion de l'énergie

OUI

NON

Si oui est-il affecté à ce poste à plein temps :

Si oui indiquer son nom (ses membres) et sa (leurs) position (s)

NOM	POSITION

E/ PROJET D'ECONOMIE D'ENERGIE

Quels sont les projets d'économies d'énergie réalisés ou en cours d'étude ou de réalisation.

Actions	Investissements DH	Economies			Observations
		DH	Unité	TEP	

* Suite à Audit, Assistance technique, ou initiative de l'établissement.

F/ Les plus grands consommateurs d'énergie

Type d'équipement Rubriques					
Nombre de machine					
Efficacité de chaque machine					
Age					
Capacité de chaque machine					
Type de fuel utilisé					
Quantité de fuel consommé par an					

G/ ANALYSE MENSUELLE DE CONSOMMATION D'ENERGIE (ANNEE 20...)

Type d'énergie Mois	Electricité (KWh)	Gaz Naturel (m ³)	Fuel lourd (tonne)	Fuel oil domestique (tonne)	Gas-oil (tonne)
Janvier					
Février					
Mars					
Avril					
Mai					
Juin					
Juillet					
Août					
Septembre					
Octobre					
Novembre					
Décembre					

H/ ANALYSE MENSUELLE DE PRODUCTION

Mois	Gamme de produit			
	Produit 1	Produit 2	Produit 3	Produit 4
Janvier				
Février				
Mars				
Avril				
Mai				
Juin				
Juillet				
Août				
Septembre				
Octobre				
Novembre				
Décembre				

J/ BESOINS SPECIFIQUES ENERGETIQUES

Est-il possible de déterminer des couples produit/fuel associé ?

Exemple : Fuel 1/Produit 1.

Si oui indiquez lesquels :

1. /
2. /
3. /
4. /
5. /
6. /

ANNEXE 2**Questionnaire pour l'audit énergétique dans l'industrie****A- INFORMATIONS GENERALES**

IDENTIFICATION	
• Nom de l'entreprise	
Adresse	
Téléphone	
Fax	
Site web	

• Nom de l'établissement où doit se dérouler l'audit	
Adresse complète	
Téléphone	
Fax	
E-mail	
Date de mise en service	
• Personne à contacter	
Position	
Téléphone	
Fax	
E-mail	

	20.....	20.....	20.....
Coût d'achat des matières premières			
Chiffre d'affaire de l'entreprise en millions de DH			
Nombre d'employés			
Masse salariale			
Nombre d'heures de fonctionnement /jour			
▪ Facture totale d'énergie (DH)			
Electricité			
Gaz			
▪ Facture totale de l'eau			

Veillez joindre au questionnaire les documents suivants :

♦ Organigramme de l'établissement (en mentionnant toutes les unités, tous les ateliers et le personnel affecté à chaque unité)

♦ Diagramme schématique de l'établissement en indiquant les unités importantes, et en montrant les flux annuel de matière pour chaque unité.
Pour chaque unité, indiquer les flux de matière et de chaleur entrant et sortant en indiquant les conditions opératoires (pression, température et débit).

B - TRAITEMENT DES ACTIVITES

Bilan des matières premières consommées

Lister et quantifier les quantités de matières premières consommées par an, et spécifier leur origine.

Matière première	Unité	20.....	20.....	20.....	Origine	Remarques

Bilan des principaux produits

Produit	Unité	Capacité de Production	20.....	20.....	20.....	Remarques

C- CONSOMMATION D'ENERGIE

ELECTRICITE	Unité	20.....	20.....	20.....	Remarques
ELECTRICITE ACHETEE	GWh				
	DH				
ELECTRICITE GENEREE	MWh				
Durée de fonctionnement	Heures				

- Fournir les factures d'électricité sur une période de 3 ans

COMBUSTIBLE	Unité	20.....	20.....	20.....	Remarques
Quantité de gaz naturel	Nm ³				
Facture	DH				
Quantité GPL	tonnes				
Facture	DH				
Quantité Gasoil	Litre				
Facture	DH				
Autres combustible					

* Indiquer le PCI de chaque combustible utilisé en Kcal/Kg ou Kcal/Nm³

D- CONSOMMATION ET FACTURE ANNUELLE D'EAU

EAU	Unité	20.....	20.....	20.....	Remarques
Eau achetée	m ³				
	DH				
Eau dessalée	m ³				
Eau résultant du process	m ³				
Eau disponible sur site	m ³				

E – AUTO GENERATION D'ELECTRICITE

Générateur principal	Date mise en service	Combustible Utilisé	Production Moyenne par mois kWh/Mois	Consommation Moyenne de combustible $10^6 \text{ Nm}^3 / \text{mois}$	Type de récupération de la chaleur perdue *
Turbine à vapeur • N°1 • N°2					

* Avez-vous projeté :

- D'installer un autre générateur OUI / NON.
- D'installer un cogénérateur OUI / NON.
- D'augmenter la capacité du système existant OUI / NON.

UTILISATION ET GESTION DE L'ENERGIE**F- UTILISATION DE L'ENERGIE**□ **ENERGIE ELECTRIQUE**Electricité achetée:

- a - Consommation totale annuelle électrique kWh.
- b- Consommation mensuelle maximale enregistrée kWh.
- c- Puissance maximale d'électricité appelée par jour typique..... kW.
- d- Demande annuelle maximale d'électricité kW.

SERVICES%	- air comprimé	%
	- air conditionné	%
	- éclairage...	%
	- autres	%
PROCESS%	- air comprimé	%
	- pompage	%
	- tour de refroidissement	%
	- dessalement	%
	- traitement sur l'impact environnemental	%
	- ventilateurs	%
	- compression dans le process	%
	- chauffage	%
	- manutention	%
	- autres	%
TOTAL 100 %		

Moteurs utilisés (Moteurs M.T)

Désignation	Puissance [kW]	Tension [V]	Courant [A]	Charge moyenne	Type d'entraînement

Transformateurs

Désignation	Puissance [KVA]	Tension prim/sec [V]	Courant prim/sec [A]	Couplage	Charge moyenne en %	Tension de court circuit %

Autres équipements électriques

Désignation	Puissance (kW)	Remarques

□ **ENERGIE THERMIQUE :**

Fournir un schéma du réseau de vapeur et de condensats.

Chaudières.

N° IDENTIFICATION						
Description						
Type de chaudière						
Année d'installation						
Pression de vapeur produite (Bar)						
Débit de vapeur [Tonnes / heure]						
Combustible utilisé						
Débit de combustible (Nm ³ /heure)						
Fonctionnement Heures /An						
Economiseur /préchauffeur d'air						
Efficacité approximative (%)						
Pourcentage (%) de retour des condensats						

Fours

N° IDENTIFICATION						
Description						
Type de four						
Année d'installation						
Capacité [Tonnes / heure]						
Combustible utilisé						
Fonctionnement Heures /An						
Récupérateur						
Efficacité approximative (%)						

Air comprimé

N° IDENTIFICATION						
Type de compresseur						
Année d'installation						
Débit [m ³ / heure]						
Pression [bars]						
Température d'admission [°C]						
Température de refoulement [°C]						
Puissance du moteur [kW]						
Fonctionnement Heures /An						
Remarques						

G-GESTION DE L'ENERGIE

Gestion de l'énergie : Qui est le responsable de la gestion de l'énergie ?

Nom	
Position	
Temps complet / Partiel	
Qualification, Expérience	

Problèmes d'efficacité énergétique et activités :

a/ Résumer les principaux problèmes constatés dans la gestion énergétique de l'établissement.

Désignation	Fréquences	Durée
Coupure d'eau		
Coupure d'électricité		
Coupure de gaz		
Chute de tension		
Autres		

b/ Quelles sont les contraintes qui influent sur l'amélioration de l'efficacité énergétique?

c/ Est ce qu'il y a déjà eu un audit énergétique dans l'établissement ? **OUI / NON**

d/ Si **OUI** quels étaient les résultats de l'audit ?

e/ Quel est le taux de réalisation des recommandations de l'audit ?

f/ Si certaines recommandations n'ont pas été exécutées, quelles sont les raisons ?

- Manque d'intérêt;
- Non disponibilité de la technologie;
- Manque de fonds;
- Temps de retour long;
- Autres, spécifiez.

g/ Résumer les critères de prise de décision pour débloquer des dépenses pour des projets d'efficacité énergétique.

h/ Est-ce qu'il y a eu des études de faisabilité de l'efficacité énergétique en relation avec les principaux investissements ?

i/ Quels sont d'après vous les domaines de votre entreprise où on peut avoir un potentiel important d'économie d'énergie ?

ASPECTS ORGANISATIONNELS ET ECONOMIQUES DE LA GESTION ENVIRONNEMENTALE :

a/ Veuillez, annexer le schéma organisationnel et le diagramme des installations de la gestion environnementale.

b/ Y a t-il des investissements ou actions projetés pour préserver l'environnement ?

OUI / NON

c/ Y a t-il des pertes importantes de matière première et de produits finis ?

OUI / NON

d/ Lister les produits et matière première recyclés et leurs quantités.

e/ Y a t-il des quantités importantes de matière et de produit perdu qui sont rejeté à l'extérieur de l'établissement ?

OUI / NON

f/ Etes-vous au courant des moyens de valorisation des déchets, ou les méthodes de régénération des déchets non utilisés par votre industrie ?

OUI / NON

g/ Quelles sont vos dépenses pour la préservation de l'environnement ?

..... **DH / AN**

ANNEXE 3 LISTE DES EQUIPEMENTS DE MESURE

Non	Nom de l'instrument	Utilisation
1.	Analyseurs de Fumée	Utilisé pour optimiser l'efficacité de la combustion par measuring/ monitoring de l'oxygène, utilisé pour mesurer le taux du Co, du CO ₂ et de l'oxygène dans les fumées des chaudières, des fours etc.
2.	Indicateurs de la Température	Utilisé pour mesurer les températures de gaz, de l'air, les liquides, en utilisant différents types de sondes.
3.	Themomètres Infrarouges	Utilisé pour mesurer les températures d'une distance en utilisant la technologie infrarouge.
4.	Module de balayage disolation thermique	Utilisé pour mesurer la perte d'énergie en Kcal par unité de superficie. Toute la perte peut être obtenue en multipliant toute la surface ciblée l'étude.
5.	moniteur de purgeur de vapeur	Utilisé pour l'évaluation des performances des purgeurs de vapeur.
6.	Themohygomètre	Employé pour mesurer humidité et la température
7.	hygromètre	Employé pour mesurer humidité
8.	Comteur Débit Ultrasonique	Employé pour mesurer le débit d'écoulement d'un liquide
9.	Manomètre (Tube de pilot)	Employé pour mesure de pression différentielle
10.	Manomètre Numérique	Employé pour mesure de pression différentielle.
11.	Tachymètre	Utilisé pour la mesure de vitesse de l'équipement en rotation.
12.	Analyseur de réseau électrique	Utilisé pour mesurer la qualité du réseau électrique.(mesure de la tension, courant, énergie active, énergie réactive, facteur de puissance etc.)
13.	Analyseur Harmonique	Utilisé pour l'analyse des harmoniques dans le réseau.
14.	Luxmètre	Utilisé pour la mesure de niveau d'illumination.
15.	Multimètre Numérique	Utilisé pour la mesure de la tension. Courant et résistance.

ANNEXE 4

● SYNTHESE DES RESULTATS DE L'AUDIT

Consommations d'énergie et coûts globaux annuels (cf. bilan énergétique)

	MWh	tep	DH	HT
Electricité total				
dont : usage thermique				
autres usages				
Gaz (sur PCI)				
Fioul (sur PCI)				
Autres (préciser)				
.....				
.....				
TOTAL				

Auto-production électrique : oui Puissance disponible :
non

Répartition indicative des consommations (%)

Procédés	Electricité	Combustible	Fioul	Autres
Services généraux (utilités)				
Chauffage / conditionnement d'ambiance				
Autres (préciser)				
.....				
.....				

Actions préconisées par l'auditeur :

N°	Actions préconisées (optimisation d'exploitation, investissement, audit, étude complémentaire ...)	Coût prévisionnel HT	Economie identifiée		Temps retour brut
			tep/kWh	DH HT	
1					
2					
3					
4					

