



## GUIDE TECHNIQUE

# EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS L'INDUSTRIE

Novembre 2015



Réalisé par :

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**Publié par :**

**Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn, Germany

E info@giz.de

I www.giz.de

**Réalisé par :**

**Projet régional RE-ACTIVATE**

**«Promotion de l'emploi à travers les énergies renouvelables  
et l'efficacité énergétique dans la région MENA»**

Simon Inauen, Chef de Projet - E : simon.inauen@giz.de

**Responsables de la publication :**

Najia Bezzar, Conseillère technique - E : najia.bezzar@giz.de

Hélène Nabih, Chargée de Communication - E : helene.nabih@giz.de

**Financé par :**

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)

(Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement [BMZ])

**Titre :**

***Guide technique «Efficacité énergétique et intégration des énergies renouvelables dans  
l'industrie»*** (Novembre 2015)

**Auteur :**

Prof. Dr. Abdellatif Touzani, Consultant, Enseignant Chercheur à l'Ecole Mohammedia d'Ingénieurs,  
Rabat

**Page de couverture :**

Région MENA (RE-ACTIVATE) (de gauche à droite) : 1. Un installateur de capteur solaire PV.

© C. Weinkopf. / 2. Un utilisateur visualise un système de monitoring de consommation d'énergie.

© Shutterstock. / 3. Trois techniciens effectuent une visite technique sur le terrain. © GIZ Mosquées

vertes. / 4. Un opérateur intervient sur une armoire électrique. © GIZ / O. Benbila.

**Rabat, 2016-11-08**

# SOMMAIRE

Préface .....	4
Facturation électrique .....	5
Production d'air comprimé .....	6
Distribution d'air comprimé .....	8
Production de vapeur .....	10
Distribution de vapeur .....	12
Moteurs électriques .....	14
Facteurs de puissance .....	16
Génération de froid .....	18
Accumulation de froid .....	20
Tours de réfrigération .....	22
Transformateurs de puissance .....	24
Fours et sécheurs .....	26
Pompes et ventilateurs .....	28
Manutention .....	30
Éclairage .....	32
Climatisation .....	34
Cogénération .....	36
Solaire thermique .....	38
Solaire photovoltaïque .....	40
Biomasse .....	42
Références bibliographiques .....	44

# PRÉFACE

L'énergie représente pour le Maroc une ressource de plus en plus rare et chère, qui freine sa dynamique de croissance économique d'une manière générale et réduit la compétitivité des entreprises industrielles en particulier.

Issue de sources des plus diverses (charbon, gaz, pétrole, etc.) et utilisée à des fins très hétérogènes (électricité, chaleur, vapeur, etc.), l'énergie joue un rôle clé pour les entreprises industrielles à l'échelle mondiale. Bien que le coût de l'énergie s'accroisse à mesure que les ressources non renouvelables s'épuisent, la bonne nouvelle reste qu'une réduction de la consommation énergétique des entreprises industrielles est parfaitement faisable et réduira non seulement les coûts mais aussi l'empreinte carbone, tout en diminuant l'impact sur l'environnement. En outre, une moindre consommation réduira la dépendance vis-à-vis des fournisseurs énergétiques nécessaires à l'activité de l'entreprise et, par là même, abaissera le niveau de risque au sein de l'organisation, voire à l'échelle du pays.

Le présent guide - **«Efficacité énergétique et intégration des énergies renouvelables dans l'industrie au Maroc»** - présenté sous forme de fiches, a été élaboré à la demande de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH à travers son projet régional *«Promotion de l'emploi à travers les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique dans la région MENA» (RE-ACTIVATE)*, afin d'aider les partenaires industriels à maîtriser leurs factures énergétiques et par conséquent à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Ce guide permettra aux gestionnaires et au personnel d'exploitation de découvrir les possibilités d'une meilleure gestion de l'énergie dans l'industrie. On y trouve des renseignements pratiques et des pistes de réflexion générales sur les techniques et les moyens d'économies d'énergie.

**Abdellatif Touzani**

# FACTURATION ÉLECTRIQUE

## Conseils

## Optimisation de la puissance souscrite

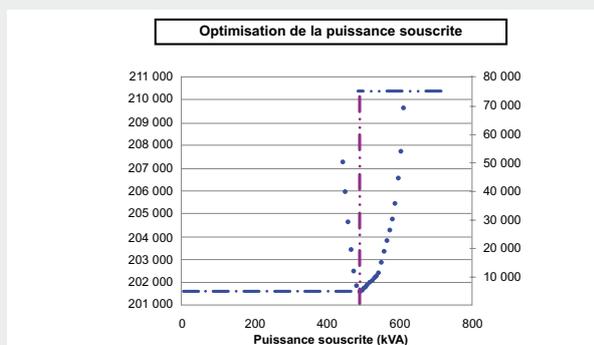
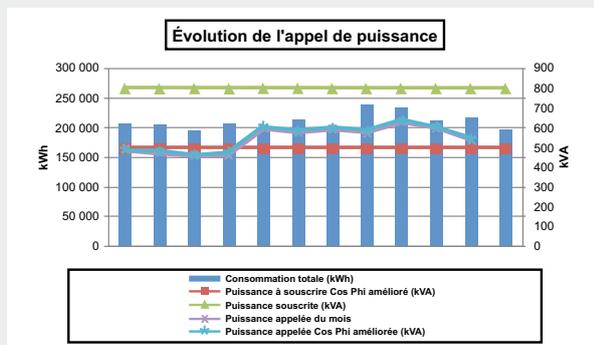
### Tarifs de l'énergie électrique MT

		2014	2015	2016	2017	14/17
Prime fixe par KVA et par An (TTC)		385,21	423,7	466	512,6	33,1%
Redevance de consommation par kWh et par mois (HT)						
Heures de pointe	Hiver : 17h - 22h	1,314	1,328	1,375	1,416	7,7%
	Été : 18h - 23h					
Heures pleines	Hiver : 07h - 17h	0,8675	0,927	0,968	1,01	16,4%
	Été : 07h - 18h					
Heures creuses	Hiver : 22h - 07h	0,5558	0,611	0,673	0,74	33,1%
	Été : 23h - 07h					
Moyenne Hiver		0,8075	0,8537	0,9017	0,9512	17,8%
Moyenne Été		0,8205	0,8668	0,9140	0,9624	17,3%

### Puissance souscrite

La puissance souscrite est la puissance contractuelle, soit celle qui est fixée dans le contrat de raccordement au réseau MT, que le client final peut soutirer du réseau de distribution.

### Optimisation de la puissance souscrite



### Mode de facturation moyenne tension

#### Redevance de consommation (RC)

Cette redevance est égale à la somme des consommations dans chaque poste horaire après application du tarif et de l'option concernés.

$$RC = p_{HP} \times \text{Cons HP} + p_{HPL} \times \text{Cons HPL} + p_{HC} \times \text{Cons HC}$$

**p<sub>HP</sub>** : Prix du kWh du poste heures de pointe  
**p<sub>HPL</sub>** : Prix du kWh du poste heures pleines  
**p<sub>HC</sub>** : Prix du kWh du poste heures creuses  
**Cons** : Energie active consommée durant un poste horaire

#### Redevance de puissance (RP)

La redevance de puissance est facturée en fonction de la puissance souscrite annuellement. La redevance de puissance (**RP**) est **calculée** pour l'année et elle est facturée mensuellement par douzième ; son montant est déterminé par la formule suivante :

$$RP = P_f / 12 \times PS$$

**P<sub>f</sub>** : prime fixe      **PS** : puissance souscrite

#### Redevance de dépassement de la puissance souscrite (RDPS)

Au cas où au cours d'un mois d'année grégorienne, il serait constaté que la puissance enregistrée dans un mois donné a dépassé la valeur de la puissance souscrite, la différence positive des deux puissances sera passible d'une redevance dite de dépassement de puissance souscrite (RDPS) déterminée comme suit :

$$RDPS = 1,5 \times P_f / 12 \times (PA - PS)$$

**P<sub>f</sub>** : prime fixe

**PS** : puissance souscrite

**PA** : puissance maximale appelée pendant le mois

# PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ

## Conseils

1. Un compresseur ne devrait, si possible, pas fonctionner plus de 75% du temps de travail.
2. La consommation électrique pour une installation bien optimisée devrait être comprise entre 90 et 120 Wh/Nm<sup>3</sup>.
3. Éviter de relier les compresseurs au circuit d'air comprimé via des conduites rigides, afin d'empêcher la transmission des vibrations au réseau.
4. Installer les compresseurs d'air près des équipements gros consommateurs d'air comprimé.
5. Vérifiez si vous avez toujours besoin de produire de l'air comprimé à cette pression (en général, les machines ne nécessitent que 6 bars). Une diminution de la pression de 1 bar génère quelque 5% d'économie d'électricité.
6. Le manque de maintenance peut coûter 15% de la facture d'électricité d'air comprimé.
7. Plus l'air est froid, propre et sec, meilleures seront les performances de votre installation. Le local technique est-il correctement ventilé ?



## Comment économiser l'énergie dans un système d'air comprimé

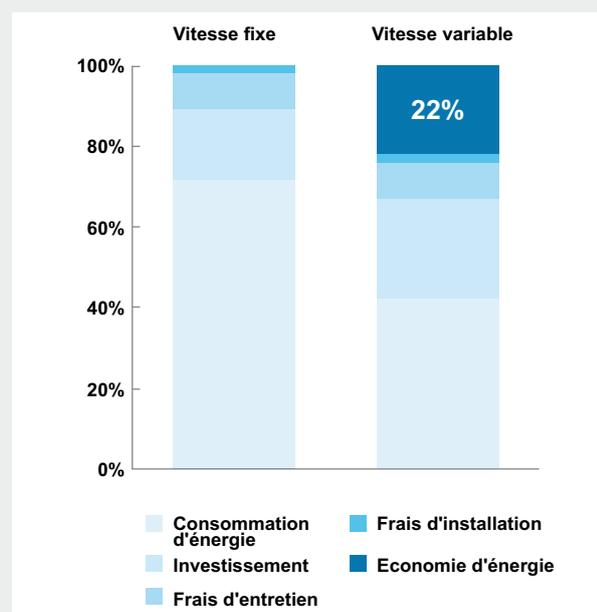
1. Arrêter les compresseurs en l'absence de besoin d'air comprimé (horloges).
2. Installer des purgeurs automatiques sur les ballons d'air comprimé.
3. Installer un variateur électronique de vitesse sur un des compresseurs d'air comprimé.
4. Installer des filtres d'air à faible perte de charges sur les compresseurs.
5. Régler les compresseurs d'air comprimé en cascade (intervalle de pression différent d'un compresseur à un autre).
6. Installer l'alimentation des compresseurs dans les zones les plus froides de l'usine.
7. Utiliser un échangeur de chaleur pour refroidir l'air d'arrivée aux compresseurs.
8. Installer des compteurs électriques sur les compresseurs pour maîtriser la consommation.
9. Récupérer la chaleur des compresseurs pour chauffer l'eau de procédé.
10. Récupérer l'air chaud de refoulement des compresseurs pour le chauffage des locaux.
11. Installer des séchoirs adéquats à faible perte de charge pour obtenir une bonne qualité d'air comprimé.
12. Installer un ballon d'air comprimé avant le séchoir.

# PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ

## Applications

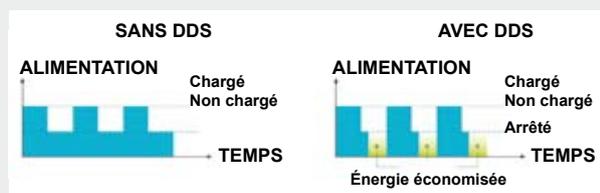
### 1. Variateurs électronique de vitesse (VEV) :

Les VEV peuvent être installés sur la plupart des compresseurs.



### 2. Delayed Second Stop (DSS) :

L'arrêt du compresseur après un certain de temps de marche à vide permet d'économiser de l'énergie.



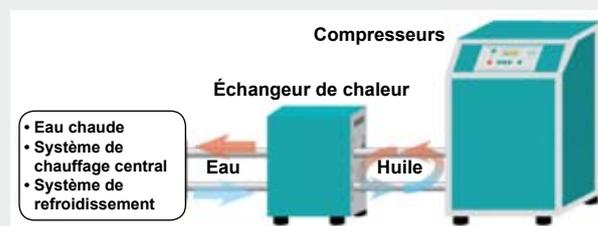
### 3. Purgeurs d'air automatiques :

Ils évitent toute perte d'air comprimé inutile, la purge étant déclenchée par les capteurs internes lors de présence de condensats.

## Applications

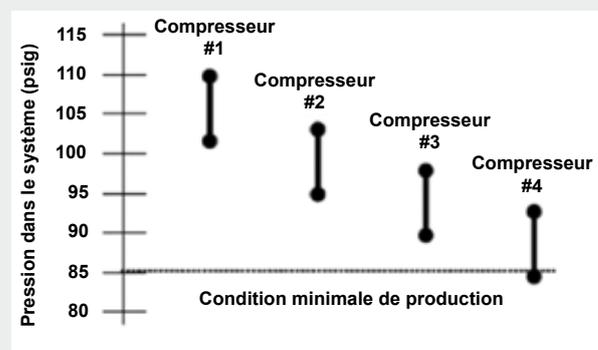
### 4. Récupération de chaleur sur compresseurs :

L'air comprimé est l'une des ressources les plus coûteuses en termes d'énergie dans les usines. Un système de récupération d'énergie peut capter une partie de cette énergie inutilisée pour chauffer de l'eau jusqu'à une température de 90°C.



### 5. Régler les compresseurs d'air comprimé en cascade :

Ce type de régulation est la méthode la plus simple pour coordonner des compresseurs multiples.



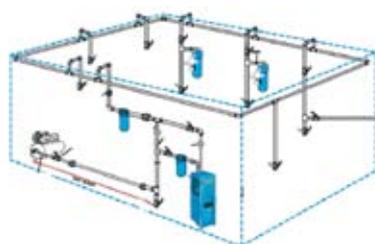
# DISTRIBUTION D'AIR COMPRIMÉ

## Conseils

1. Sur-dimensionner le réseau : ceci augmente le coût de d'installation mais réduit le coût de fonctionnement de l'installation.
2. Dans la pratique on admet dans les tuyauteries d'air comprimé des vitesses de l'ordre de 5 à 20 m/s. Une vitesse d'air limitée à 7 m/s dans les installations courantes est raisonnable et permet ainsi de réduire les consommations d'énergie.
3. La chute de pression ne devrait pas, si possible, excéder 0,2 bar, ou se limiter à une chute de pression de 5% (10% tout au plus).
4. Pour assurer un débit d'air suffisant dans le réseau, il est préférable de placer les équipements et les outils nécessitant une plus forte consommation d'air au plus près du compresseur.
5. Le réseau en boucle fermée permet un approvisionnement stable en air comprimé à un poste de travail ou à un équipement pneumatique par plusieurs chemins à la fois.
6. Une conduite d'air comprimé doit toujours être installée en hauteur, non seulement pour des raisons d'encombrement, mais surtout pour éviter l'engorgement des tuyaux par de l'eau de condensation.
7. Le taux de fuite sur les circuits de distribution est en moyenne de 20 à 25%. Les fuites peuvent représenter entre 40 et 50% de la consommation électrique du compresseur.

## Comment économiser l'énergie dans un système d'air comprimé

1. Réduire la pression de l'air à la valeur minimale permise par les différents procédés.
2. Arrêter le refroidissement par l'air comprimé lorsque l'air ambiant peut refroidir les procédés et les machines.
3. Réduire l'utilisation de l'air comprimé à la valeur minimale dans le refroidissement des produits ou des machines et dans l'agitation.
4. Éliminer l'utilisation de l'air comprimé pour le refroidissement des produits ou des machines, pour l'agitation ou pour le confort du personnel.
5. Remplacer le refroidissement à air comprimé par un refroidissement à eau.
6. Boucler le réseau d'air comprimé dans les ateliers.
7. Utiliser des buses venturi pour réduire la consommation d'air comprimé au niveau des équipements.
8. Utiliser des soupapes solénoïdes sur le circuit d'alimentation d'air comprimé lorsque le procédé est à l'arrêt.
9. Éliminer les fuites sur les conduites et les vannes du système de distribution d'air comprimé.
10. Diminuer les chances de fuites en éliminant des lignes de distribution d'air comprimé qui sont inutilisées.



# DISTRIBUTION D'AIR COMPRIMÉ

## Applications

### 1. Détection et réparation des fuites d'air comprimé :

La détection des fuites d'air comprimé peut être effectuée à l'aide d'ultrasons, ou tout simplement avec de l'eau savonneuse.



### 2. Utiliser des buses venturi pour réduire la consommation d'air comprimé au niveau des équipements :

Lorsque l'air comprimé est utilisé pour le refroidissement, il serait bénéfique d'utiliser des buses venturi qui réduisent la consommation de 90%.

Buse filetée



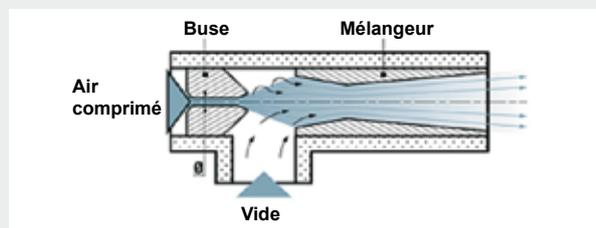
Buse silencieuse



Buse haute efficacité



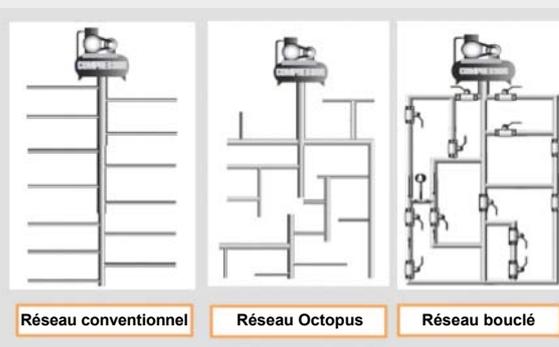
La buse venturi utilise l'air comprimé et l'air atmosphérique pour le soufflage.



## Applications

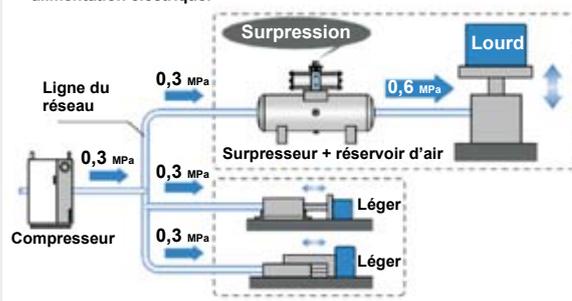
### 3. Boucler le réseau d'air comprimé dans les ateliers :

Le bouclage du réseau d'air comprimé permet de réduire les pertes de charge. L'air comprimé est acheminé par plusieurs chemins.



### 4. Utiliser des supresseurs dans les zones où la pression est insuffisante :

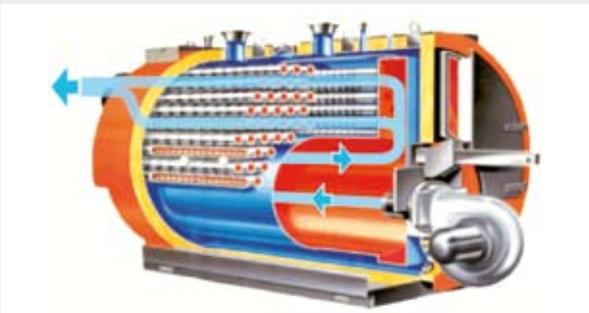
- **Fonction** Augmente la pression d'air du réseau.
- **Avant l'amélioration** Puissance insuffisante à cause de la basse pression du réseau. Augmentation insuffisante de la pression du réseau à cause de la consommation d'énergie du compresseur.
- **Après l'amélioration** Pression d'air du réseau multipliée par deux sans avoir recours à une alimentation électrique.



# PRODUCTION DE VAPEUR

## Conseils

1. Réparer ou installer le calorifugeage des conduites de vapeur, vannes et raccords.
2. Récupérer la chaleur des purges chaudières pour chauffer l'eau alimentaire via des échangeurs de chaleur.
3. Régler l'excès d'air à 10% pour les gaz et à 30% pour le fuel lourd.
4. Régler la pression de la chaudière à la valeur la plus faible possible en fonction des besoins en température.
5. Réparer et éliminer les fuites de vapeur dans la chaufferie.
6. Calorifuger la bache alimentaire.
7. Installer un conductivimètre automatique (online) sur la chaudière pour régler la purge chaudière.
8. Former le personnel d'exploitation de la chaufferie.
9. Installer des équipements de mesure, de contrôle et de surveillance.
10. Mesurer le débit de vapeur et de condensat.
11. Encourager, via des échangeurs de chaleur, la cogénération de la chaleur et de la puissance électrique.



## Comment économiser l'énergie dans un système vapeur

1. Préchauffer l'air de combustion : gain de 1 à 2% sur le combustible.
2. Aspirer l'air de combustion par le haut de la chaufferie (l'air chaud se trouve toujours en hauteur).
3. Récupérer les condensats du barillet et le retourner à la bache alimentaire.
4. Eviter de placer le brûleur en face de la porte de la chaufferie.
5. Utiliser la pression la plus faible possible pour les systèmes de distribution et de traçage.
6. Récupérer la chaleur des fumées pour préchauffer l'eau alimentaire.
7. Eteindre le système de traçage vapeur en été quand cela est possible.
8. Utiliser des fluides thermiques au lieu de la vapeur dans les systèmes de traçage vapeur.
9. Utiliser les rejets des adoucisseurs pour le lavage des sols en ciment.
10. Analyser quotidiennement la dureté de l'eau d'alimentation de la chaudière.
11. Acquérir un analyseur de combustion pour le contrôle de la combustion.
12. Remplacer les chaudières à combustible fossiles par des chaudières à biomasse.

# PRODUCTION DE VAPEUR

## Applications

### 1. Calorifugeage des vannes, brides et raccords :

Il existe des matelas d'isolation adaptés aux vannes et d'utilisation pratique.



### 2. Préchauffage d'air de combustion par les fumées :

Gain non négligeable, surtout pour les grandes chaudières.



### 3. Réglage d'excès d'air :

L'acquisition d'un analyseur de fumées permet un réglage régulier de l'excès d'air.



## Applications

### 4. Analyse de l'eau de chaudière :

L'analyse de la dureté d'eau d'alimentation permet de contrôler la qualité d'eau de chaudière et de régler correctement la purge.



### 5. Installation de chaudières à condensation :

Dans le cas de l'utilisation de gaz, il serait utile d'analyser l'installation de chaudières à condensation : gain de 10% par rapport à une chaudière classique.



# DISTRIBUTION DE VAPEUR

## Conseils

1. Réparer ou installer le calorifugeage des conduites de condensat.
2. Réparer ou installer le calorifuge des conduites de vapeur.
3. Fermer les lignes de vapeur conduisant à des machines hors fonctionnement.
4. Réparer et éliminer les fuites de vapeur sur les conduites et sur les vannes.
5. Réparer et éliminer les fuites de vapeur aux stations de détente.
6. Réparer et éliminer les fuites de vapeur des procédés.
7. Mettre en application un programme et des mesures d'entretien pour les purgeurs de vapeur.
8. Optimiser le diamètre des conduites de vapeur et de condensat.
9. Déterminer la bonne localisation des plaques d'alimentation sur les équipements pour assurer un rendement maximal et minimiser la consommation en vapeur.
10. Utiliser la vapeur sèche au lieu de la vapeur vive pour alimenter certains équipements.
11. Adopter un programme de traitement chimique de l'eau de chaudière.



## Comment économiser l'énergie dans un système vapeur

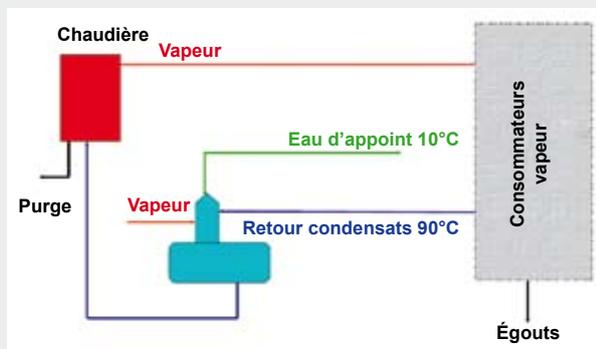
1. Enlever la tuyauterie de vapeur et de condensat inutile.
2. Réaliser le retour des condensats à la chaudière.
3. Réaliser la détente «flash» des condensats pour produire de la vapeur à basse pression.
4. Utiliser les condensats comme source d'eau chaude.
5. Utiliser la pression la plus faible possible pour les systèmes de distribution et de traçage.
6. Substituer l'eau chaude rejetée à la vapeur.
7. Changer la disposition de la tuyauterie ou relocaliser l'appareillage pour raccourcir la tuyauterie.
8. Remettre les postes de réduction de pression en état.
9. Utiliser des condensats surfaciques au lieu de condensats barométriques.
10. Nettoyer les conduites de vapeur dans les tanks des procédés.
11. Entretien des jets de vapeur utilisés dans les systèmes à vide.
12. Optimiser le fonctionnement des jets de vapeur dans les systèmes à vide à multiple effet.
13. Revaporiser les condensats pour produire de la vapeur basse pression.

# DISTRIBUTION DE VAPEUR

## Applications

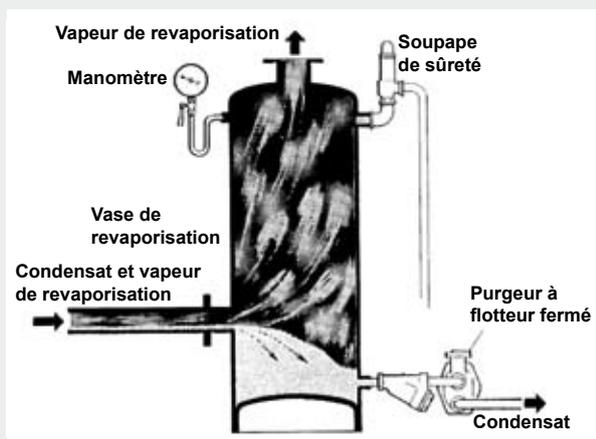
### 1. Récupération des condensats :

La récupération des condensats permet des gains substantiels en énergie, eau et produits chimiques. Les condensats contiennent une quantité importante de chaleur sensible pouvant représenter environ 10% à 30% de l'énergie thermique initiale contenue dans la vapeur d'eau.



### 2. Revaporisation des condensats :

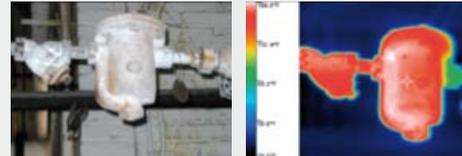
La revaporisation des condensats permet de produire de la vapeur basse pression pouvant être utilisée, par exemple pour le traçage du fuel.



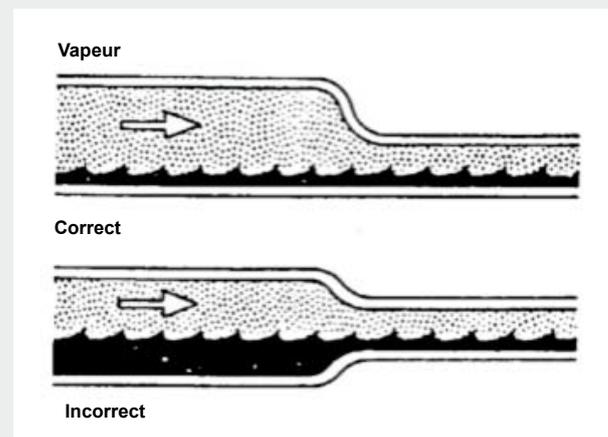
## Applications

### 3. Maintenance des purgeurs :

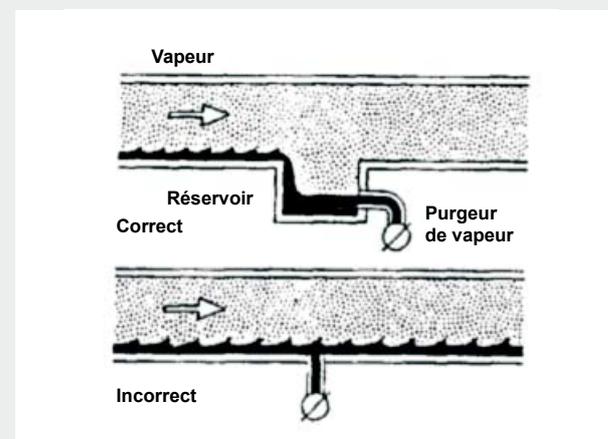
La maintenance des purgeurs peut être réalisée par l'utilisation d'une caméra infrarouge.



### 4. Rétrécissement adéquat de la tuyauterie :



### 5. Drainage convenable de la tuyauterie vapeur :



# MOTEURS ÉLECTRIQUES

## Conseils

- 1. Assurer l'intermittence de fonctionnement des moteurs :** Dans de nombreux cas (circulateurs de chauffage par exemple), les moteurs fonctionnent en permanence alors que les besoins sont intermittents. Il y a là un gisement potentiel d'économies à réaliser avec l'arrêt des moteurs, à condition que les redémarrages ne soient pas incessants.
- 2. Adapter la vitesse du moteur aux besoins :** Pour les installations qui nécessitent une adaptation du débit aux besoins, l'objectif est de satisfaire au plus juste les besoins de l'utilisateur en réduisant la consommation du moteur. Cela est possible en utilisant un moteur à plusieurs vitesses ou un variateur électronique de vitesse, plus cher mais beaucoup plus souple et performant.
- 3. Gérer le démarrage des moteurs :** Le démarrage induit une surintensité (le courant de démarrage peut atteindre jusqu'à 6 fois celui du régime permanent), ce qui peut générer des troubles de l'installation électrique. Pour des puissances importantes ou des démarrages fréquents, il est nécessaire de les piloter à l'aide d'un système permettant le démarrage et l'arrêt progressifs, ce qui améliorera les performances du moteur, réduisant ainsi les puissances appelées et les surchauffes.

## Comment économiser l'énergie dans les moteurs électriques

- 1. Entretien des installations :** Les économies réalisables grâce à un entretien régulier peuvent atteindre 30 % du montant des factures.
- 2. Les variateurs électroniques de vitesse :** Les économies d'énergie induites dépendent du temps de fonctionnement annuel du moteur et de la variabilité de la vitesse de rotation. Elles sont en général de 30 à 60 %.

### A retenir :

Le remplacement à l'identique d'un moteur de classe EFF3 par son modèle EFF1 permet de réaliser une réelle économie, principalement avec les moteurs de petite puissance ayant le plus mauvais rendement.

La consommation du moteur représente en effet 95% du coût total, en regard de son achat et de sa maintenance sur sa durée de vie.



# MOTEURS ÉLECTRIQUES

## Applications

### 1. Variateurs électroniques de vitesse :

Un variateur de vitesse est un dispositif électronique destiné à commander la vitesse et le moment d'un moteur électrique à courant alternatif en déterminant la fréquence et la tension.

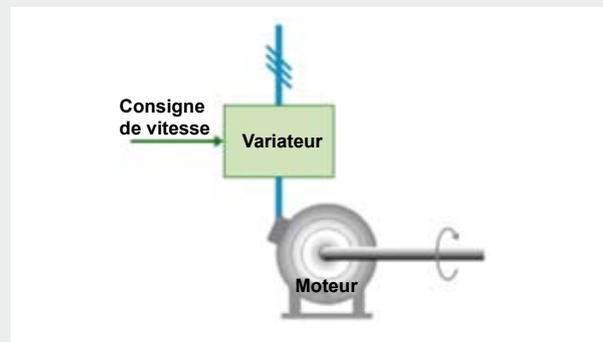


La consommation électrique de bon nombre de moteurs fonctionnant à vitesse fixe et connectés directement au réseau peut être réduite par l'utilisation d'un variateur de vitesse. Le gain est particulièrement intéressant dans le cas de ventilateurs ou de pompes centrifuges fonctionnant avec un couple variable. En effet, dans ce cas, le couple et la puissance sont proportionnels au carré respectivement au cube de la vitesse.

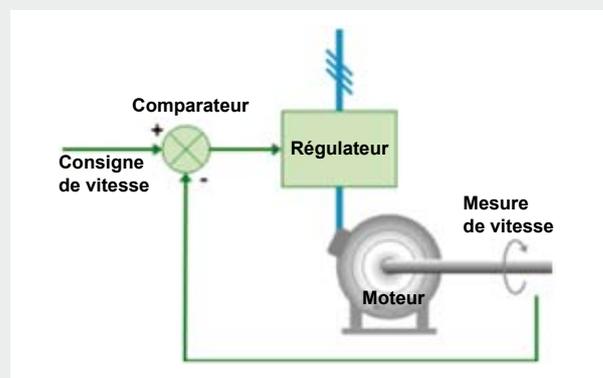
## Applications

### 2. Parmi les fonctionnements classiques des variateurs de vitesse, on distingue :

La variation de vitesse proprement dite, selon laquelle la vitesse du moteur est définie par une consigne d'entrée (tension ou courant), sans tenir compte de la valeur réelle de la vitesse du moteur, qui peut varier en fonction de la charge, de la tension d'alimentation, etc. On est en boucle «ouverte» (pas de feedback).



Dans le cas de la régulation de vitesse, la consigne de la vitesse du moteur est corrigée en fonction d'une mesure réelle de la vitesse à l'arbre du moteur introduite dans un comparateur. La consigne et la valeur réelle de la vitesse sont comparées, la différence éventuelle étant corrigée. On est en boucle «fermée».



# FACTEURS DE PUISSANCE

## Conseils

### NOTIONS DE BASE Le facteur de puissance

Par définition, le facteur de puissance - le  $\cos \phi$  d'un appareil électrique- est égal au rapport de la puissance active P (kW) sur la puissance apparente S (kVA) et peut varier de 0 à 1.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\text{puissance\_active\_}(kW)}{\text{puissance\_apparente\_}(kVA)}$$

Il permet ainsi d'identifier facilement les appareils plus ou moins consommateurs d'énergie réactive.

Un facteur de puissance égal à 1 ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive (résistance).

Un facteur de puissance inférieur à 1 conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus importante qu'il se rapproche de 0 (inductance).

Dans une installation électrique, le facteur de puissance pourra être différent d'un atelier à un autre selon les appareils installés et la manière dont ils sont utilisés (fonctionnement à vide, pleine charge...).

Les appareils de comptage d'énergie enregistrent des consommations d'énergie active et réactive.

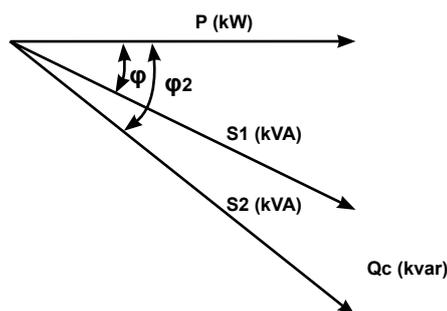
## Comment économiser l'énergie

### ECONOMIES La compensation de l'énergie active

Il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges, pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau. C'est ce qu'on appelle la "compensation de l'énergie réactive". Pour inciter à cela et éviter de sur-calibrer son réseau, le distributeur d'énergie pénalise financièrement les consommateurs d'énergie réactive au-delà d'un certain seuil (facteur de puissance < 0,8).

Pour améliorer le facteur de puissance, On utilise des condensateurs pour fournir l'énergie réactive aux récepteurs inductifs.

Pour réduire la puissance apparente absorbée au réseau de la valeur S2 à la valeur S1, on doit connecter une batterie de condensateurs fournissant l'énergie réactive Qc:



# FACTEURS DE PUISSANCE

## Applications

### 1. Batteries de compensation

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

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

- la puissance installée ;
- le niveau de tension ;
- le fractionnement en gradins ;
- le mode de commande ;
- le niveau de qualité de la protection.

### 2. Choix du type de compensation

#### Compensation fixe :

On met en service l'ensemble de la batterie dans un fonctionnement "tout ou rien".

La mise en service peut être manuelle (par disjoncteur ou interrupteur), semi-automatique (par contacteur), asservie aux bornes des moteurs.

Ce type de compensation est utilisé lorsque la puissance réactive est faible (< 15 % de la puissance du transformateur) et la charge relativement stable.



## Applications

### Compensation automatique ou en "gradins" :

La batterie de condensateurs est fractionnée en gradins, avec possibilité de mettre en service plus ou moins de gradins, en général de façon automatique.

Ce type de batterie est installé en tête de la distribution BT ou d'un secteur important. Cela permet une régulation pas à pas de l'énergie réactive. L'enclenchement et le déclenchement des gradins sont pilotés par un relais varométrique.



### 3. Compensation d'énergie réactive en présence d'harmoniques

Les équipements faisant appel à l'électronique de puissance (variateurs de vitesse, redresseurs, onduleurs, etc.), de plus en plus utilisés, sont responsables de la circulation de courants harmoniques dans les réseaux. Ces harmoniques perturbent le fonctionnement de nombreux dispositifs.

Pour les valeurs élevées de puissance le traitement des harmoniques est en général nécessaire.

Le dispositif approprié (filtre d'harmonique) remplit à la fois les fonctions de compensation d'énergie réactive et de filtrage des harmoniques.

# GÉNÉRATION DE FROID

## Conseils

- 1. HP flottante :** Adapter la pression de condensation selon l'évolution des températures médium de refroidissement (en général de l'air).
- 2. BP flottante :** permettre une remontée de la température d'évaporation, donc réduire le taux de compression et améliorer le COP.
- 3. Vitesse variable :** le gain énergétique varie de 10 à 25%.
- 4. Moteurs performants :** l'utilisation de moteurs à haute performance pour pompes et surtout compresseurs est souhaitable pour les petits moteurs 2 et 4 pôles, de 1.1 à 11 kW. Le gain va de 80 à 25%. Le gain est de 20 à 10 % environ pour les moteurs de 15 à 90kW.
- 5.** Augmenter la surface des échangeurs, condenseurs, évaporateurs, l'impact sur la condensation et l'évaporation améliore le COP.
- 6.** Privilégier l'installation de plusieurs machines.
- 7.** Récupérer la chaleur des circuits hydrauliques (rejets, eau de condensation, eau de lavage...) pour servir de source chaude à une pompe à chaleur.
- 8.** Installer un système de gestion centralisée.



## Comment économiser l'énergie dans un système de froid

- 1. Maîtrise des pertes de charge :** Une perte de charge côté aspiration ou refoulement se traduit par une augmentation du taux de compression donc de l'énergie consommée.
- 2. Rideaux d'air :** Installer des rideaux d'air dans les chambres froides négatives.
- 3. Fluide frigorigène :** Evaluer l'intérêt du R410A au lieu du R404A: les performances énergétiques améliorées de 10% environ.

**1. La HP flottante** est de loin la principale piste d'économies.

La HP flottante doit s'accompagner d'une variation de vitesse sur la ventilation des condenseurs à air car on évite les cycles courts de marche/arrêt constatés. Ces cycles sont préjudiciables à la durée de vie des matériels et souvent la cause d'incidents.

**2. La variation de vitesse** sur les compresseurs et au minimum sur le compresseur de base est une nécessité. Elle apporte :

- a) une stabilité de la basse pression qui diminue la plage de régulation, souvent excessive, et qui a donc aussi un impact sur la puissance absorbée du système ;
- b) la suppression des séquences de marche/arrêt et les régimes transitoires fréquents ;
- c) une réduction importante de la consommation électrique directe mais aussi indirecte liée aux démarrages fréquents et souvent inutiles, à un givrage supérieur ;
- d) une meilleure performance de l'ensemble moto-compresseur avec un Cos phi élevé, donc une réduction de l'énergie réactive ;
- e) une puissance supplémentaire d'au moins 20% sur compresseur, ce qui réduit le nombre de démarrages des autres machines.

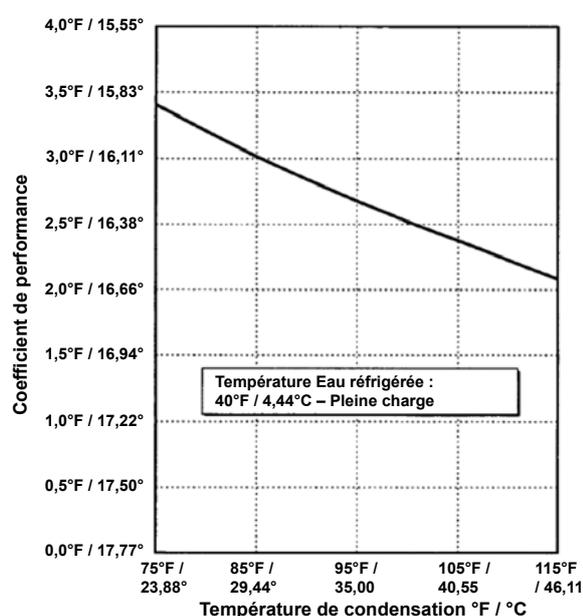
**3. Le sous-refroidissement du liquide**, surtout celui des centrales négatives, est souvent possible car un certain nombre de sites comportent du positif et du négatif. Non seulement les performances du circuit négatif sont améliorées, mais le temps de fonctionnement des compresseurs est réduit.

# GÉNÉRATION DE FROID

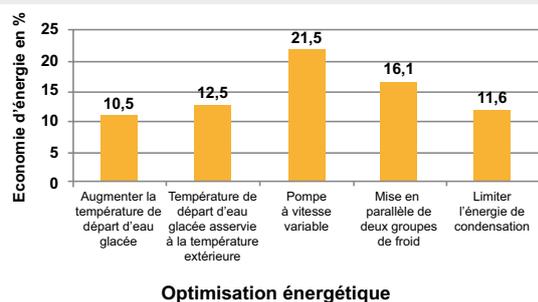
## Applications

### 1. Optimisation de la température de condensation :

En moyenne la consommation d'énergie par le compresseur diminue de 3% par la baisse de la température de condensation de 1°C.



### 2. Optimisation énergétique eau glacée :



### 3. Traitement chimique de l'eau de refroidissement du condenseur :

Le traitement de l'eau consiste à ajouter les produits chimiques et à contrôler les purges pour compenser les pertes d'eau de la tour de refroidissement et des condenseurs évaporatifs.

## Applications

### 4. Nettoyage régulier des évaporateurs :

L'encrassement des évaporateurs a pour conséquence de diminuer la température d'évaporation.



### 5. Nettoyage régulier des surfaces d'échange des condenseurs :

En général, l'encrassement des condenseurs peut augmenter la consommation d'énergie de plus de 10%. Cette augmentation résulte surtout du fait de l'augmentation de la température de condensation.

La fréquence de nettoyage pourrait être déterminée en surveillant les températures relatives au condenseur.



# ACCUMULATION DE FROID

## Conseils

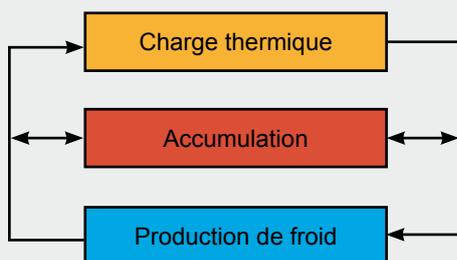
### SYSTEMES D'ACCUMULATION DE FROID

Des systèmes d'accumulation de froid peuvent être mis en œuvre sur toutes les installations ayant des besoins en énergie, variables en 24 heures. Si ces installations sont basées sur des matériels frigorifiques traditionnels, ceux-ci doivent être dimensionnés sur les valeurs de pointe.

Considérablement surdimensionnés, ils ont donc un mauvais rendement général, vu que la machine frigorifique ne travaille à plein régime qu'une fraction de la journée. Un accumulateur de glace résout ce problème, dans la mesure où ce sont dans les périodes à bas tarif électrique que l'énergie thermique est accumulée.

Pour couvrir les besoins et demandes de pointe, l'on a recours à l'énergie accumulée, ce qui permet d'augmenter le rendement de façon significative.

### Principe de fonctionnement



## Comment économiser l'énergie

### AVANTAGES DU STOCKAGE D'ENERGIE THERMIQUE

#### Pour réduire :

- la taille du groupe de froid : de 30 à 70 % ;
- la quantité de fluides réfrigérants ;
- la taille des tours de refroidissement ou des aéro-réfrigérants ;
- la puissance électrique souscrite : de 30 à 80 % ;
- les nuisances sonores ;
- les arrêts / marches du groupe frigorifique ;
- les coûts de maintenance ;
- les coûts d'exploitation.

#### Pour augmenter :

- la puissance froid de l'installation ;
- l'efficacité énergétique du groupe de froid ;
- la régularité du profil de la charge électrique ;
- le rendement et la fiabilité de l'installation ;
- la durée de vie du système ;
- la flexibilité du système ;
- la gestion de l'énergie.

#### Pour un développement durable :

- meilleure gestion de l'énergie thermique ;
- maîtrise de la demande électrique et énergétique (énergie primaire utilisée pour produire l'électricité) ;
- diminution de la consommation d'énergie primaire des centrales électriques ;
- diminution des gaz à effet de serre.

### TYPES D'ACCUMULATION

- Un stockage total de la charge frigorifique durant la nuit ;
- Un stockage partiel pour limiter la pointe frigorifique ;
- Un stockage partiel avec une utilisation spécifique à la gestion de la pointe quart horaire.

# ACCUMULATION DE FROID

## Applications

### 1. Accumulateurs de glace :

Véritables «batteries» frigorifiques, les cuves à glace ou à coulis permettent aux industriels d'optimiser l'utilisation de leurs groupes frigorigènes, de réduire leurs dépenses énergétiques et, enfin, de sécuriser leur process.



### 2. Secteurs intéressés :

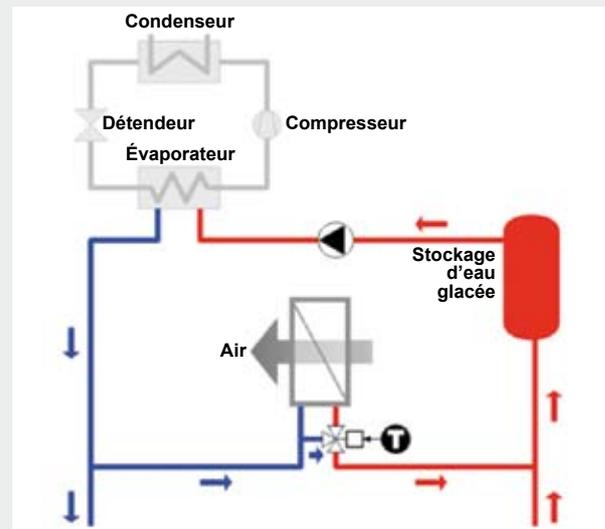
**L'agroalimentaire** : laiteries, abattoirs, cuisines centrales, brasseries, usines de congélation, entrepôts...

**Les autres industries** : la chimie, la pharmacie, la plasturgie, les traitements de surface...

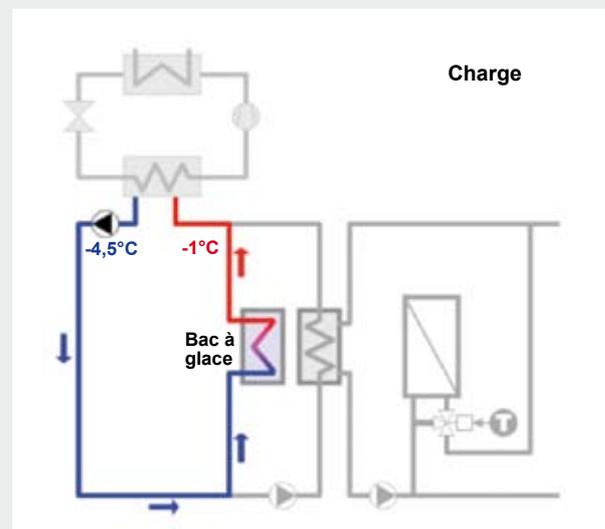
**Le tertiaire** : la climatisation de bureaux, de locaux hospitaliers, le refroidissement de centres informatiques...

## Applications

### 3. Stockage d'eau glacée :



### 4. Stockage de glace dans des bacs à faisceaux tubulaires :



# TOURS DE RÉFRIGÉRATION

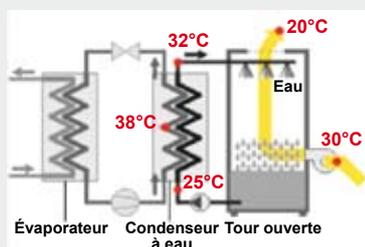
## Conseils

### TECHNOLOGIES

Il existe trois technologies de tours de refroidissement :

#### Le refroidissement atmosphérique ouvert : la «tour ouverte»

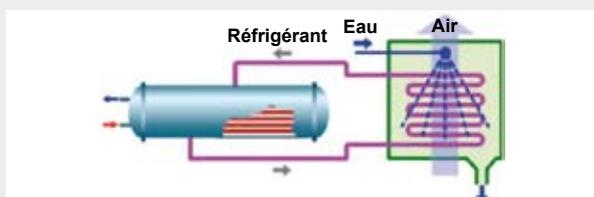
L'eau est pulvérisée dans l'air qu'un ventilateur pulse à travers la tour de refroidissement. Une partie de l'eau s'évapore. Simultanément, elle refroidit le reste de l'eau qui retourne vers le condenseur. L'eau évaporée est continuellement remplacée par de l'eau fraîche spécialement traitée. Cette configuration entraîne donc une consommation d'eau, estimée à 1,5 litre par kWh dissipé. Elle se rencontre généralement dans les installations de plus de 1 000 kW.



- Avantages :
- Coût
  - Rendement (échange direct)
  - Encombrement
  - Poids

#### Le refroidissement atmosphérique fermé : la «tour fermée»

L'échangeur de chaleur eau/air est également aspergé d'eau quand la puissance de réfrigération est élevée. Cette eau d'aspersion constitue toutefois un circuit autonome. Pour cette installation il faut compter environ 20 % d'emplacement supplémentaire au sol et 50 % de budget en plus par rapport à la tour ouverte.



## Comment économiser l'énergie

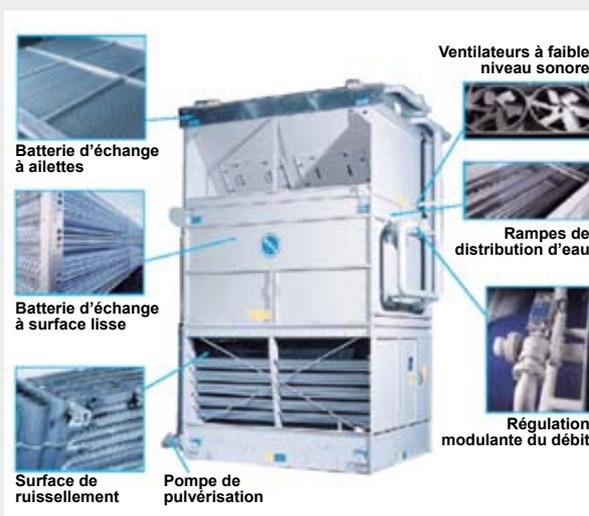
#### Le refroidissement atmosphérique fermé : l'aéro-refroidisseur ou «dry-cooler»

Il n'y a pas d'aspersion d'eau, c'est le ventilateur qui pulse simplement l'air extérieur dans une batterie d'échange. Technologiquement, il s'agit d'un condenseur à air, à la seule différence que c'est de l'eau qui le parcourt et non du fluide frigorigène.



#### La tour de refroidissement à circuit fermé hybride

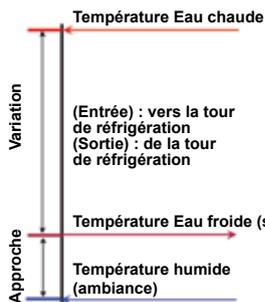
Les systèmes de refroidissement hybrides conjuguent le meilleur des deux systèmes : le refroidissement évaporatif en été, alliant température basse et consommation d'énergie inférieure et le refroidissement sec dans les saisons plus fraîches.



# TOURS DE RÉFRIGÉRATION

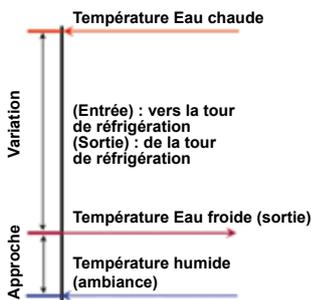
## Applications

### 1. Variation



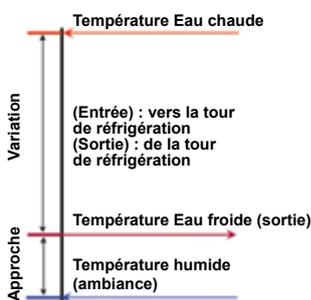
Différence entre T entrée et T sortie eau :  
 Variation (°C) = CW inlettemp – CW outlettemp  
 Grande variation = bonne performance

### 2. Approche



Différence entre T de sortie eau et T ambiante humide :  
 Approche (°C) = Temp. sortie eau – temp. ambiante humide  
 Faible approche = bonne performance

### 3. Efficacité



Efficacité en % = Variation / (Variation + Approche)  
 = 100 x (temp. eau entrée – temp. eau sortie) / (temp. eau sortie – temp. ambiante humide)  
 Grande efficacité = bonne performance

## Paramètres de performance des tours

### 4. Capacité de refroidissement

Chaleur rejetée en kCal/hr ou tonne de réfrigération (TR)  
 = Débit massique eau X Chaleur spécifique X différence de température  
**Grande capacité de refroidissement = bonne performance**

### 5. Pertes par évaporation

Quantité d'eau (m<sup>3</sup>/hr) évaporée = théoriquement, 1.8 m<sup>3</sup> pour chaque 10.000.000kCal de chaleur rejetée  
 = 0.00085 x 1.8 x débit de circulation (m<sup>3</sup>/hr) x (T1-T2)  
 T1-T2 = différence de température d'eau entre l'entrée et la sortie

### 6. Cycles de concentration (COC)

Ratio des solides dissous dans l'eau qui circule sur ceux dans l'eau d'appoint

### 7. Pertes par les purges

Dépend des cycles de concentration et des pertes par évaporation  
**Purge = Pertes évaporation / (C.O.C. – 1)**

### 8. Ratio liquide / gaz

Ratio entre les débits massiques d'eau et d'air  
**La chaleur retirée à l'eau doit être égal à celle rejetée à l'atmosphère**

$$L (T1 - T2) = G (h2 - h1)$$

$$L/G = (h2 - h1) / (T1 - T2)$$

T1 = temp. eau chaude (°C)

T2 = temp. eau froide (°C)

Enthalpie du mélange air vapeur d'eau à T humide entrée (h1) et la sortie (h2)

# TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

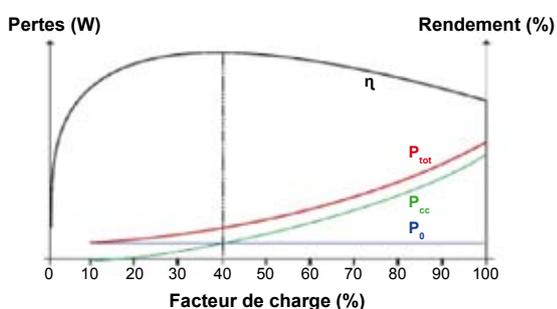
## Notions de base

### Les transformateurs de puissance :

Les transformateurs de distribution sont utilisés dans les réseaux électriques pour modifier et adapter les valeurs de tensions et courants.

Les pertes des transformateurs comprennent principalement deux types de pertes :

- les pertes à vide ( $P_0$ ), appelées aussi pertes fer (les pertes à vide représentant en moyenne de 0,1 à 0,2 % de la puissance assignée).
- les pertes dues à la charge ( $P_k$ ), auxquelles s'ajoutent les pertes supplémentaires générées par les harmoniques de courant. Les pertes dues à la charge représentent en moyenne de 0,7 à 1 % de la puissance nominale assignée (à 100 % de la charge).



$\eta$  : Rendement  
 $P_{cc}$  : Pertes en charge  
 $P_{tot}$  : Pertes totales  
 $P_0$  : Pertes à vide



## Comment économiser l'énergie

Il n'y a pas de moyen externe permettant de modifier les pertes à vide, car elles ne sont pas influencées par les charges. Par contre, deux moyens externes permettent de réduire les pertes supplémentaires dues à la charge.

### 1. Compensation réactive (batterie de condensateurs) :

Cette compensation permet d'optimiser l'utilisation de la puissance du transformateur et de réduire les pertes à 50 Hz.

### 2. Filtrage des courants harmoniques :

Les pertes s'accroissent avec les courants harmoniques.

Il existe plusieurs solutions de réduction des courants harmoniques dans les réseaux pollués : connaissance et réduction du taux d'harmoniques à la source, utilisation d'inductances anti-harmoniques en série avec les condensateurs de compensation du réactif, insertion de filtre passif et/ou actifs, etc.



# TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

## Applications

### 1. Maintenance :

Les actions de maintenance préventives suivantes sont conseillées tous les ans.

Le tableau ci-dessous présente les facteurs de risque d'avarie, leurs effets, ainsi que les actions de maintenance à mettre en place.

Actions conseillées	Effets
Nettoyer les pièces sous tension (traversées, connexions...). Vérification de l'absence de dégradation des câbles et des bornes de raccordement	Éviter les risques d'amorçages
Resserrer les jeux de barre et les raccordements	Éviter les points chauds relatifs à un serrage insuffisant
Mesure par caméra infrarouge (transformateur sous tension et en charge)	Décélérer les points chauds
Vérifier la présence des dispositifs de protection (capot, verrouillage HT, bac de rétention...)	Éviter les risques aux personnes et les atteintes environnementales
Faire les essais sur les relais de protection, avec déclenchement HT/BT	S'assurer du bon fonctionnement des protections
Vérifier si le niveau du liquide est visible et contrôler l'étanchéité des joints	Détecter les fuites éventuelles de diélectrique
Détecter les détériorations éventuelles de peinture	Limiter les risques dus à la corrosion
En cas d'évolution de l'installation, déterminer le profil de charge sur une période de consommation pertinente, en mesurant les courants, les tensions, les puissances et les harmoniques	Détecter les surcharges éventuelles et les distorsions anormales de tension et de courant
Vérifier l'efficacité de la ventilation du transformateur et de son local	Éviter les échauffements préjudiciables

### 2. Réparation :

La réparation peut porter sur :

- la remise à neuf du traitement de surface (peinture et traitement anticorrosion de la cuve) ;
- le remplacement des joints ;
- le remplacement ou le traitement du diélectrique ;
- le rembobinage des enroulements (cas exceptionnel).



## Applications

Le rendement d'un transformateur est maximal pour un facteur de charge de 40%.

Quelle que soit la puissance du transformateur, il existe toujours un maximum, entre le rendement et le facteur de charge, en général aux alentours de 40-50 % de la charge nominale.

Il est souhaitable que le transformateur soit exploité à une charge raisonnable, comprise entre 40 et 60 % de sa charge nominale mais cela dépend aussi d'autres paramètres (cos φ, température ambiante, cycle de charge...)

**Si la charge est supérieure à 75 %**, il faut reconsidérer la puissance du transformateur et envisager une augmentation de sa puissance.

**A l'inverse, si la charge est inférieure à 40 %**, il faut reconsidérer la puissance du transformateur et envisager une réduction de sa puissance.

Les pertes annuelles d'un transformateur peuvent être évaluées selon la formule suivante :

$$W_{\text{Pertes}} = (P_0 + P_k \times K^2) \times 8760$$

... Où :

- $W_{\text{Pertes}}$  : montant des pertes annuelles en kWh ;
- $P_0$  : pertes à vide en kW, paramètre spécifié dans les caractéristiques du transformateur ;
- $P_k$  : pertes en charge en kW, paramètre spécifié dans les caractéristiques du transformateur ;
- $K$  : facteur de charge pondérée sur l'année ;
- 8 760 : nombre d'heures de fonctionnement dans l'année (24/24 h, 365 j /an).

# FOURS ET SÈCHEURS

## Conseils

1. Réglage approprié des brûleurs.
2. Vérification de l'excès d'air et des corps combustibles dans les gaz de combustion.
3. Nettoyage des surfaces des échangeurs de chaleur.
4. Remplacement ou réparation d'isolants manquants ou endommagés.
5. Remise en place des portes et des couvercles.
6. Vérification périodique de la pression du four.
7. Planification de la production pour maintenir le rendement des fours.
8. Installation d'un appareillage de surveillance approprié.
9. Récupération de la chaleur sur les fours pour une utilisation dans les sécheurs.
10. Commande automatique de l'humidité et de la température régnant à l'intérieur du séchoir.
11. Dans les séchoirs, installation de ventilateurs à impulsion répartis dans différentes zones, avec un apport thermique indépendant (réglable par zone) pour obtenir la température nécessaire.
12. Une meilleure étanchéité des fours, notamment grâce à des caissons métalliques et à des joints de sable ou d'eau pour les fours tunnel et les fours intermittents, permettant de réduire les pertes de chaleur.

## Comment économiser l'énergie

1. Une meilleure isolation thermique des fours, notamment grâce à l'utilisation de revêtements réfractaires ou de fibres céramiques (laine minérale), permettant de réduire les pertes de chaleur.
2. De meilleurs revêtements réfractaires des fours et des supports de wagonnets, permettant de réduire le temps d'arrêt pour refroidissement et, donc, les pertes de chaleur associées («pertes à la sortie»).
3. Utilisation de brûleurs à haute impulsion pour améliorer l'efficacité de la combustion et le transfert thermique.
4. Remplacement de fours anciens par des fours tunnels neufs, plus grands et plus larges ou de même capacité ou - si le procédé de fabrication le permet - par des fours à cuisson rapide (p. ex. des fours à rouleaux), permettant de réduire la consommation spécifique en énergie.
5. Optimisation (minimisation) du passage entre le séchoir et le four ainsi que l'utilisation de la zone de préchauffage du four pour finir le procédé de séchage - si le procédé de fabrication le permet - permettant d'éviter de refroidir inutilement les produits séchés avant de procéder à leur cuisson.



# FOURS ET SÈCHEURS

## Applications

### RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE

Un grand fabricant de carrelage possède plusieurs fours et sècheurs qui consomment une importante quantité de gaz. La fabrication de carrelage nécessite tout d'abord de comprimer l'argile en poudre sous les formes attendues. Les carreaux sont ensuite séchés en envoyant de l'air chaud en continu dans un sècheur pour évaporer l'eau contenue dans l'argile. Après séchage les carreaux sont recouverts d'émail et de motifs avant d'entrer dans le four de cuisson. Il est important de maintenir un profil de température adéquat sur l'ensemble du four. Au milieu du four, les carreaux atteignent une température de cuisson de 1.200°C.

**Situation initiale :** Les fours dissipent une grande quantité d'énergie par leurs conduits d'extraction. Une grande quantité de gaz était utilisée pour chauffer l'air de séchage utilisé par les sècheurs situés à 150 mètres du four.

**Solution :** La société a conçu et installé un système de récupération de chaleur en utilisant du fluide thermique pour transférer la chaleur perdue d'un four pour chauffer un sècheur. Cette solution a permis une réduction significative de la consommation de gaz, le système étant conçu pour pouvoir être appliqué aux autres fours et sècheurs.



## Applications

### CONSEILS

- 50% de l'énergie thermique dans la production de produit céramique est utilisée pour sécher.
- Un moyen de réduire la consommation d'énergie au niveau du séchage est de coupler le séchoir au four, et ainsi utiliser les calories perdues dans les fumées du four.
- Aujourd'hui le couplage séchoir / four est très courant, cependant un travail des deux outils en parallèle est important pour ne pas perdre de calories. Ce qui signifie qu'il ne faudrait pas d'arrêt le week-end sur l'ensemble de la chaîne de production pour optimiser le rendement énergétique.
- Un autre moyen d'optimisation est d'ajouter un système de contrôle de ventilation/ chauffage dans l'enceinte de séchage afin de contrôler l'atmosphère de séchage en fonction de la quantité d'eau à évaporer.
- L'utilisation de petites quantités d'air avec une haute température diminue la perte énergétique due au réchauffement de cet air.
- Une bonne circulation de l'air au travers des briques de structure permet un meilleur séchage.
- Le coût énergétique de séchage est un compromis entre le coût de l'énergie de chauffe et celui de la ventilation. Il existe cependant un optimum qu'il faut rechercher.



# POMPES ET VENTILATEURS

## Conseils

### VENTILATEURS

1. Vérifier et régler régulièrement les entrainements par courroie des ventilateurs (poulies bien centrées et courroies bien tendues).
2. Graisser les composants des ventilateurs selon les instructions du constructeur.
3. Nettoyer régulièrement les composants du ventilateur.
4. Réparer les fuites des gaines et de composants pour réduire les coûts énergétiques.
5. Nettoyer ou remplacer périodiquement les filtres pour que la pression différentielle du ventilateur demeure minimale.
6. Mettre en application un programme d'inspection et d'entretien préventif.
7. Réduire la vitesse du ventilateur, pour assurer un débit d'air optimal, avec les registres d'équilibrage ouverts au maximum, pour une distribution équilibrée de l'air.
8. Améliorer le raccord des gaines d'entrée et de sortie du ventilateur.
9. Arrêter les ventilateurs lorsque leur fonctionnement n'est pas nécessaire.
10. Installer un variateur électronique de vitesse lorsque le débit est variable.
11. Remplacer les moteurs surdimensionnés.
12. Diviser les systèmes de ventilation en sous-systèmes.
13. Installer un système de gestion d'énergie à microprocesseur

## Comment économiser l'énergie

### POMPES

1. S'assurer que les joints de presse-étoupes des pompes sont bien ajustés.
2. Maintenir le jeu aux roues et aux joints des pompes.
3. Arrêter les pompes lorsque leur fonctionnement n'est pas nécessaire.
4. Remplacer les joints de presse étoupe de l'arbre par des joints mécaniques.
5. Rogner la roue de la pompe pour qu'elle réponde aux exigences de débit et de hauteur.
6. Installer un variateur électronique de vitesse pour répondre à la demande du débit liquide.
7. Remplacer les moteurs surdimensionnés.
8. Installer un système de gestion d'énergie à microprocesseur.
9. Des économies d'énergie électrique sont réalisables dans le cas d'une pompe à vitesse constante approvisionnant plusieurs points d'utilisation. Les résultats d'études démontrent que des économies d'énergie importantes sont réalisables dans le cas de pompes en série à vitesse constante.
10. Améliorer l'aspiration et le refoulement grâce à une réduction des restrictions au transfert, des turbulences et des pertes de charge par frottement ;
11. Abaisser les pressions de fonctionnement des pompes si possible.



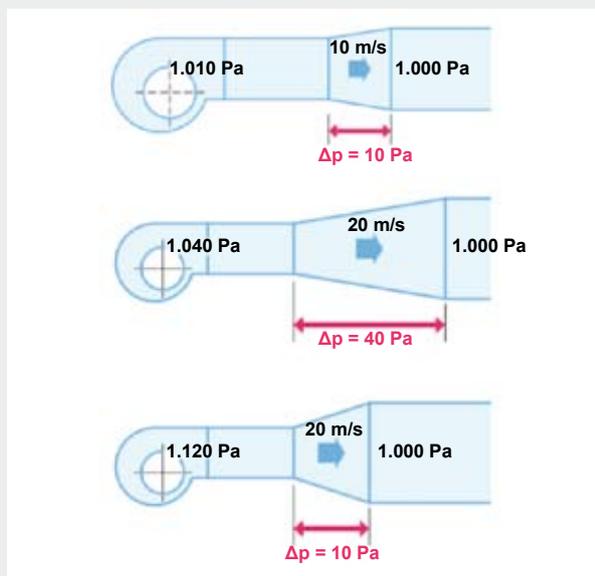
# POMPES ET VENTILATEURS

## Applications

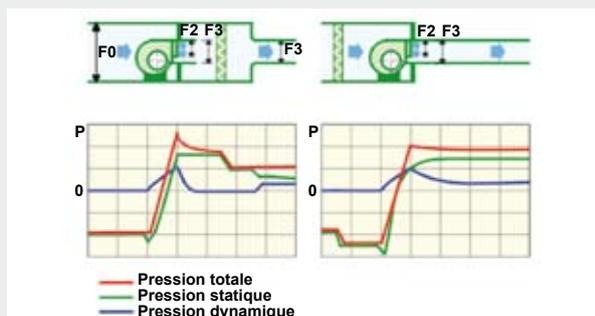
### Intégrer le ventilateur dans le réseau :

Voici trois exemples de ventilateur débitant dans un même circuit. On voit que la hauteur manométrique (image de la puissance absorbée) est nettement trop importante. L'orifice de refoulement du ventilateur est trop étroit par rapport à la section du conduit, même lorsqu'on l'équipe d'un divergent de longueur correcte.

La surconsommation du troisième cas par rapport au premier est de 11 %.



Dans le même ordre d'idées, il est préférable de raccorder le ventilateur directement au gainage de distribution plutôt que de laisser la sortie de ce dernier libre dans le caisson du groupe.



## Applications

### CONSEILS :

#### Installer un moteur à vitesses variables :

Le moteur à vitesses multiples d'une pompe peut réduire la consommation d'énergie électrique lorsque le procédé requiert seulement quelques points de fonctionnement spécifiques. La vitesse du moteur peut être modifiée selon les exigences du procédé. On doit conserver la vanne de régulation et moduler à partir de quelques points spécifiques. Un moteur à double enroulement spécial peut être réglé à deux, trois ou quatre vitesses.

#### Redimensionner les vannes de régulation :

Cette mesure d'économie d'énergie électrique consiste à réduire la chute de pression à travers les vannes de régulation. Dans certains cas, cette perte est associée à un ou plusieurs des facteurs suivants : vannes trop petites ; vannes trop fermées ; type inapproprié de vannes.

#### Réduire les pertes dans le système :

Lors de la conception d'un système de pompage, il faut :

- choisir des raccords à faible perte de charge : coudes à rayon optimal (rayon/diam. = 1,5 à 3), tés à 45°, coudes à 45°, robinets de retenue à frottement minimal, raccords soudés, surfaces lisses, matériaux anticorrosion, etc. ;
- choisir le parcours le plus direct possible ;
- choisir des débitmètres à faible restriction hydraulique (ex. : débitmètres magnétiques et ultrasoniques) ;
- limiter la perte de pression dans les filtres : prévoir des systèmes de purge à rebours automatiques, des filtres en parallèle pour permettre l'entretien sans attendre un arrêt de production, ainsi que des alarmes de haute pression différentielle sur les filtres, étager la filtration et choisir l'efficacité de filtration minimale qui satisfait le procédé et les équipements ;
- limiter la perte de pression dans les échangeurs de chaleur.

# MANUTENTION

## Conseils

### TECHNOLOGIE

#### Les convoyeurs

##### Convoyeurs aériens à chariots et à chaîne

Ces convoyeurs aériens Birail sont destinés à l'acheminement de charges de 1 kg à 5.000 kgs et plus dans diverses industries comme le traitement de surface, l'automobile ou l'agroalimentaire.



##### Convoyeurs pneumatiques

Utilisés pour le transport des poudres, granulés, grains, etc...



##### Convoyeurs à vis

Pour le transport de la matière en vrac.



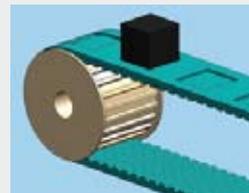
## Comment économiser l'énergie



Convoyeur droit à bande pour le transport des gaines en plastiques



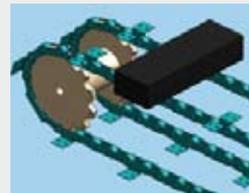
Convoyeur droit à bande blanche à tasseaux



Convoyeur à courroie crantée



Convoyeur à bande



Convoyeur à chaîne



Convoyeur à rouleaux libres



Convoyeur à rouleaux motorisés

# MANUTENTION

## Applications

### LE TRANSPORT DE CHARGES PAR CONVOYEUR À BANDE : APPLICATIONS

Le convoyeur à bande représente le moyen mécanique le plus rentable et le plus souple pour le transport ou le (dé)chargement de matériaux en vrac. L'utilisation du convoyeur à bande est très diversifiée et son domaine d'applications est à peu près illimité.

Les travaux publics, l'industrie minière, les centrales électriques, l'industrie métallurgique, plasturgique ou du recyclage, les cimenteries, l'industrie chimique, les sablières, les salines, l'agriculture, la filière bois, les ports, etc... utilisent le tapis convoyeur, à bande de caoutchouc.



Manutention biomasse



Transport agricole



Transport de sable



Transport de bouteilles et de plastique



## Applications

### MESURES D'ECONOMIE D'ENERGIE

#### Exemples de maintenance

- Bien identifier les allées et les garder libres ;
- Arrêter les moteurs de l'équipement lorsqu'il n'est pas utilisé ;
- Réviser un horaire de réception des marchandises pour éviter une exposition prolongée à l'extérieur par temps chaud ;
- Réviser l'ordonnancement pour évaluer la possibilité de réduire les heures de service de l'équipement.

#### Amélioration de coût modique

- Installer des dispositifs automatiques comme des cellules photo-électriques, des interrupteurs de fin de course, des minuteries et des interrupteurs de proximité sur l'équipement de manutention des matériaux pour arrêter l'équipement lorsqu'il n'est pas utilisé ;
- Ralentir les convoyeurs motorisés pour réduire la puissance d'alimentation ;
- Réparer ou remplacer les joints des rampes, les abris ou les portes à bandes souples endommagés pour réduire l'infiltration et l'exfiltration de l'air ;
- Installer un système de contrôle de monoxyde de carbone dans les aires intérieures d'expédition et de réception pour que les ventilateurs d'extraction ne démarrent que lorsque les concentrations de CO2 atteignent un niveau de sécurité prédéterminé ;
- Remplacer les palans à air comprimé par des palans électriques ou manuels.

# ÉCLAIRAGE

## Conseils

1. Le premier gisement d'économies d'énergie réside dans le comportement éco-citoyen et la prise de conscience de toutes les personnes présentes sur le site de l'entreprise : personnels, clients, sous-traitants, etc.
2. Faire nettoyer régulièrement les vitres, les lampes, etc.
3. Placer les postes de travail de façon à profiter au mieux de la lumière naturelle, faire concorder zones à éclairer et activités afin de gérer au mieux les zones à éclairer.
4. Mettre en place des commandes d'éclairage indépendantes «côté vitrages» afin d'adapter au mieux la luminosité en fonction de l'éclairage naturel.
5. Nettoyer et faire repeindre régulièrement les locaux dans des tons clairs.
6. Eteindre les lumières en quittant les bureaux, ateliers, etc.
7. Les systèmes de gestion : dans les locaux occupés par intermittence, il peut être utile de mettre en place un détecteur de présence tout en veillant à conserver une commande manuelle pour que les occupants puissent intervenir sur l'éclairage.
8. Choisir les lampes en fonction des locaux à éclairer.

## Comment économiser l'énergie

1. Pour les luminaires à DEL, les économies d'énergie peuvent atteindre 80 % et même plus (75 % pour les luminaires à fluo compactes) par rapport aux luminaires avec ampoules à incandescence.
2. Remplacer les lampes blanches industrielles par des lampes fluorescentes T5 à ballast électronique ou T8 (sans changement de culot, mais moins performantes que les T5).
3. Remplacer les lampes au sodium et aux halogénures métalliques par des lampes à décharge de nouvelle génération de 90 lumens par watt.
4. Remplacer les lampes à vapeur de mercure par des lampes à décharge de nouvelle génération de 90 lumens par watt.
5. L'automatisation de l'éclairage (horloge de programmation, cellule crépusculaire, détecteur de présence), tout comme l'utilisation de sources et de dispositifs annexes plus efficaces (ballasts électroniques, luminaires adaptés, LED ...), génèrent des gains énergétiques importants.



# ÉCLAIRAGE

## Applications

### Détecteurs de présence :

Les détecteurs de présence peuvent être installés dans les vestiaires, toilettes, couloirs.



### Cellules crépusculaires :

A installer dans les locaux près des fenêtres et dans les endroits éclairés par la lumière du jour et l'éclairage extérieur.



### Ballasts électroniques :

En remplacement des ballasts électromagnétiques. Attention : il faut s'assurer que la tension est stable car les ballasts électriques sont sensibles aux fluctuations de tension.

Ferromagnétique    Électronique    Électronique compact



## Applications

### Puits de lumière :

Très pratiques dans l'industrie quand il n'y a pas d'accès direct à la terrasse. Un puits de lumière de 30 cm de diamètre peut éclairer jusqu'à 30 m<sup>2</sup> de surface.



### Lampes LED :

Les lampes LED sont de plus en plus utilisées dans l'industrie, que ce soit pour l'éclairage intérieur ou extérieur. Leur prix a considérablement baissé et leur qualité s'est améliorée. Dans les locaux climatisés, ils permettent un gain additionnel en climatisation.



# CLIMATISATION

## Conseils

### NOTIONS DE BASE

Le COP : le coefficient de performance de la pompe à chaleur. En effet, c'est ce COP qui va nous dire combien d'énergie va être restituée sous forme de chaleur pour chaque kWh d'électricité qui aura été nécessaire au fonctionnement d'une climatisation.

$$\text{COP} = \frac{\text{énergie restituée (chaleur)}}{\text{énergie payante absorbée}}$$

Par exemple, Il faut de l'électricité pour faire fonctionner une pompe à chaleur, mais en moyenne la PAC va restituer 4 fois plus de chaleur qu'elle n'aura consommé d'électricité. On dit alors qu'elle a un Coefficient de Performance, un COP, de 4.



Énergie thermique à basse température prélevée dans l'environnement

Production d'eau chaude à basse température envoyée dans le réseau de chauffage

## Comment économiser l'énergie

### ECONOMIES

1. Régler le chauffage des locaux : chaque degré de plus au-dessus de 19°C, c'est 8 à 12% de plus sur la consommation d'énergie. Eviter que les employés ouvrent les fenêtres en hiver ! Il est conseillé de maintenir les bureaux à 19°C, les ateliers et les couloirs à 16°C et les réserves et les archives à 10-12°C.
2. Adapter le chauffage en fonction de l'exposition des locaux. Derrière une baie vitrée exposée plein Sud, on peut encore profiter de la chaleur même en hiver.
3. Eviter d'utiliser la climatisation. Ne pas la mettre pas en marche en-dessous de 26°C. Aérer les locaux aux heures les plus fraîches et fermer les stores, les fenêtres et les portes.
4. Eviter également de mettre trop d'équipements dans la même pièce (imprimantes, ordinateurs...) et rafraîchir les locaux avec des plantes vertes et des points d'eau près des ventilateurs.
5. Eteindre la climatisation et mettre le chauffage au minimum avant de fermer le local pour le week-end.



# CLIMATISATION

## Applications

### Technologie Inverter :

La technologie Inverter permet plus de confort pour moins de dépenses, et constitue une alternative aux splits classiques, qui fonctionnent selon le principe du «tout ou rien».

Les splits classiques tournent à plein régime pour obtenir la température choisie et s'arrêtent quand le thermostat indique qu'elle est atteinte. Tant que la clim est en service, elle alterne ainsi des cycles de marche-arrêt qui génèrent sensation d'inconfort, surconsommation d'électricité et usure prématurée du compresseur.

Avec la technologie Inverter, d'origine japonaise, le compresseur est à vitesse variable (VEV) : il compense automatiquement les variations de température et régule en conséquence son allure.

La température sélectionnée étant atteinte plus rapidement, la dépense énergétique est mieux maîtrisée et le confort total. Au Japon, la clim Inverter représente plus de 80 % du parc résidentiel.



## Applications

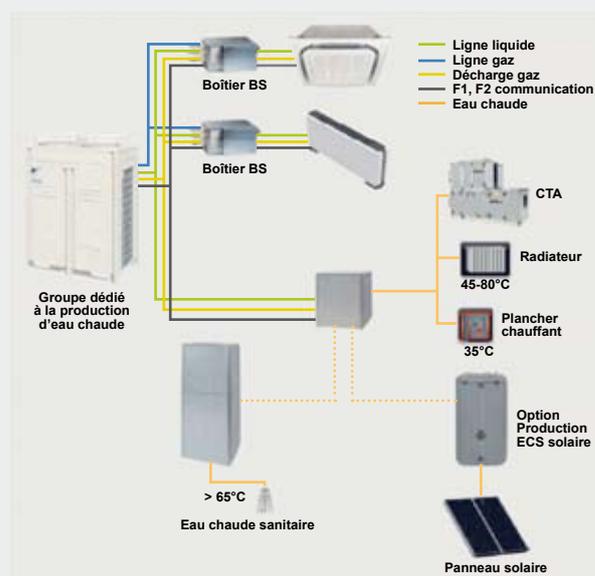
### Système VRV :

Le système VRV (*Variable Refrigerant Volume*) fonctionne selon le principe d'un réfrigérant dont le volume est variable en fonction des besoins des unités intérieures de confort.

Que cela soit pour climatiser ou pour chauffer, le système VRV fonctionne selon le principe thermodynamique de pompe à chaleur en hiver et de groupe frigorifique en été.

Différents concepts thermiques sont possibles selon les besoins en confort :

1. soit pour chauffer et rafraîchir : toutes les pièces sont soit chauffées, soit climatisées ;
2. soit pour chauffer et rafraîchir simultanément des pièces différentes ;
3. soit pour chauffer avec des groupes pouvant produire de l'eau chaude sanitaire pour les besoins en chauffage comme pour la production d'eau chaude sanitaire.



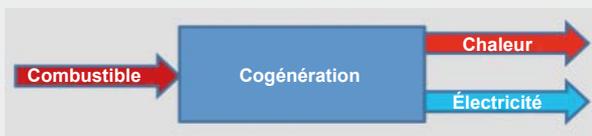
# COGÉNÉRATION

## Conseils

### NOTIONS DE BASE

C'est quoi la cogénération ?

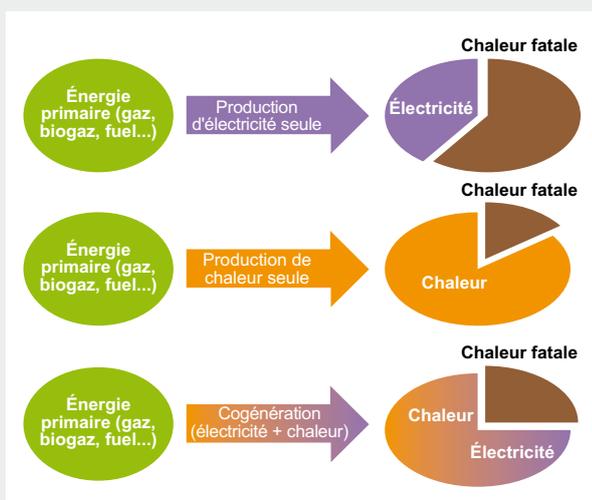
Cogénération = Production simultanée de puissance et de chaleur en vue de les utiliser.



### La cogénération, c'est :

Un moyen de production d'énergie locale...

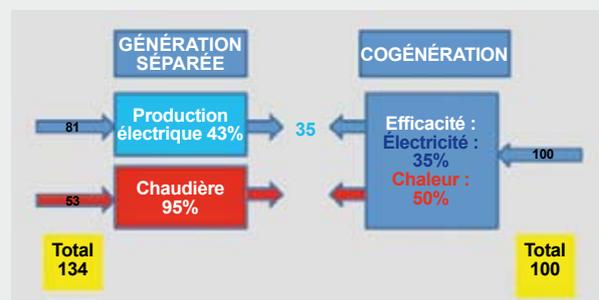
- utilisée à la place de la production séparée de chaleur et de l'électricité.
- la chaleur étant le produit principal, l'électricité un sous-produit ;
- l'utilisation de la chaleur qui serait perdue autrement ;
- un moyen d'utiliser l'énergie plus efficacement ;
- différentes application ;
- différentes technologies.



## Comment économiser l'énergie

### ECONOMIES

La cogénération permet de réduire la consommation d'énergie de 25% par rapport à une génération classique :



### Pourquoi la cogénération ?

- amélioration de l'efficacité énergétique ;
- réduction de l'utilisation des combustibles fossiles ;
- diminution des émissions de CO<sub>2</sub>.

### MAIS AUSSI...

- réduction des coûts de l'énergie ;
- si un besoin en chaleur est requis, le moyen le moins cher de produire de l'électricité ;
- amélioration de la sécurité d'approvisionnement ;
- utilisation de déchets organiques comme combustible ;
- positionnement sur le marché de l'énergie.

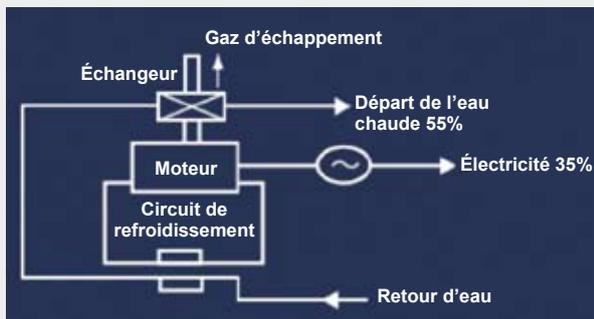


# COGÉNÉRATION

## Applications

### Les moteurs à combustion interne au fuel ou au gaz :

Avec ces moteurs on produit de l'eau chaude et très rarement de la vapeur. Leur puissance unitaire va de quelques dizaines de kW à 4.000 kW.

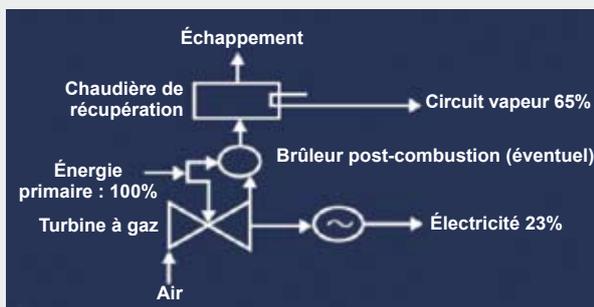


### Les turbines à gaz :

Elles utilisent le même combustible que les moteurs fuel ou gaz.

La température d'échappement des gaz étant de l'ordre de 500 °C, il y a production de vapeur.

Leur puissance unitaire généralement utilisée est comprise entre 7 et 40 MW, même s'il existe des turbines à gaz de faible puissance (de quelques dizaines de kW à 1 MW).



## Applications

### Applications :

- bâtiments individuels ;
- bâtiments commerciaux et industriels ;
- groupes de bâtiments ;
- réseaux énergétiques urbains ;
- procédés industriels.

CHP Kitchener City Hall



Micro turbine at greenhouse

### Coûts des systèmes de cogénération :

#### Coûts d'investissement (très variables) :

- équipement de production d'électricité ;
- équipement de chauffage ;
- équipement de climatisation ;
- lignes électriques ;
- chemins d'accès ;
- tuyauterie du réseau d'énergie.

#### Coûts récurrents :

- combustible ;
- exploitation et entretien ;
- remplacement et réparation des équipements.

# SOLAIRE THERMIQUE

## Conseils

## Comment économiser l'énergie

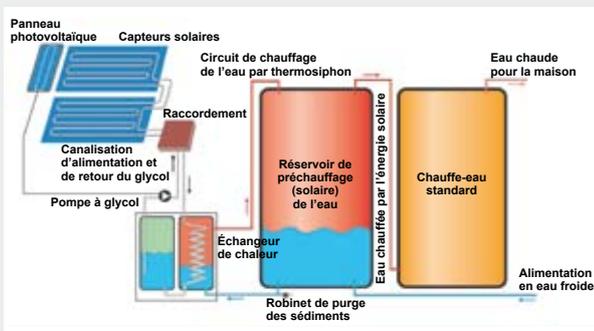
### NOTIONS DE BASE

#### Comment ça fonctionne ?

- Le panneau solaire thermique est constitué d'un capteur de chaleur. Cette chaleur captée sera transmise au fluide caloporteur situé dans des tubes.
- Ces tubes dirigent le fluide vers un système de gestion et de répartition de l'énergie thermique solaire.

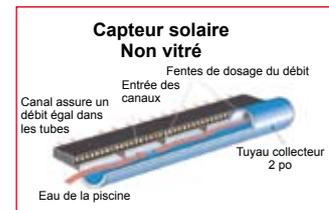


#### Composants d'un système de CSE :



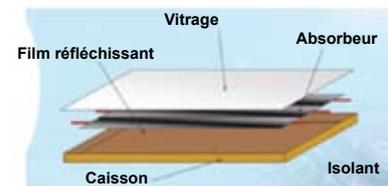
### Capteurs solaires sans vitrage

- Faible coût
- Basse température
- Robuste
- Léger
- Chauffage de la piscine extérieure
- Basse pression
- Pauvre performance dans les climats froids ou venteux



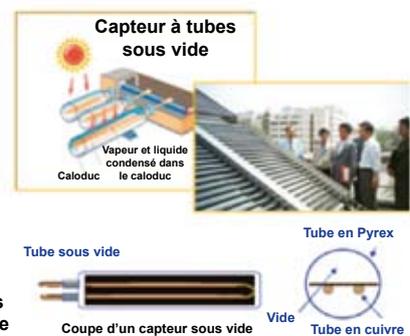
### Capteurs solaires plans avec vitrage

- Coût modéré
- Température d'opération plus modérée
- Peut opérer à la pression d'eau de la ville
- Plus lourd et plus fragile



### Capteurs solaires à tubes sous vide

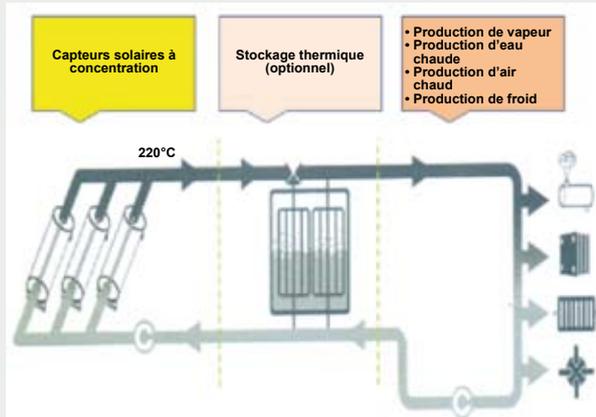
- Coût plus élevé
- Pas de perte par convection
- Température élevée
- Climats froids
- Fragile
- L'installation peut être plus compliquée
- La neige n'est pas un grave problème



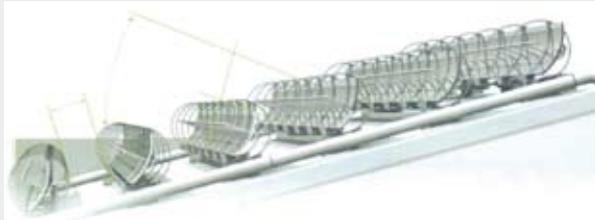
# SOLAIRE THERMIQUE

## Applications

### Solaire thermodynamique :



### Capteurs cylindro-paraboliques :

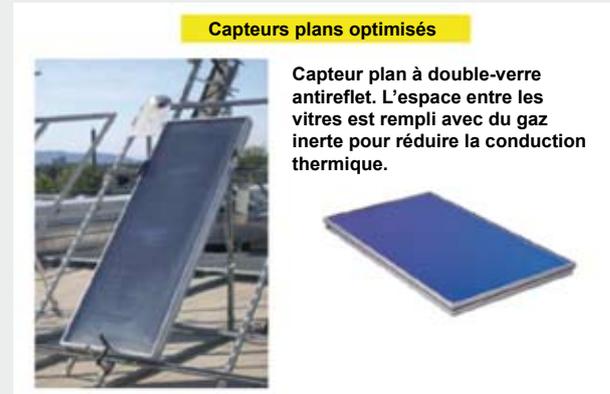


### Capteurs paraboliques :

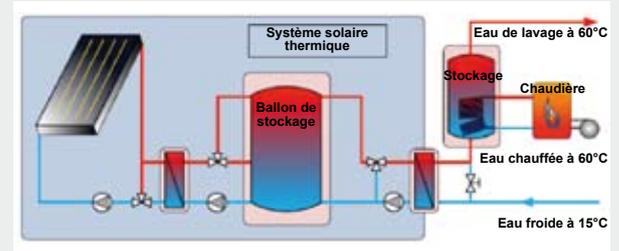


## Applications

### Capteurs plans pour chaleur industrielle :



### Production d'eau chaude pour process :



### Exemple : industrie pharmaceutique (Egypte) :



# SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

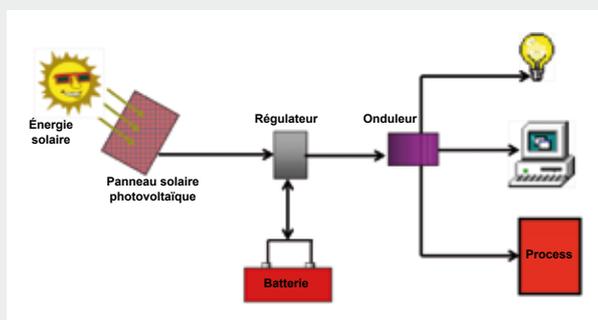
## Conseils

## Comment économiser l'énergie

### NOTIONS DE BASE

#### Comment ça fonctionne ?

Transformation du rayonnement solaire en électricité grâce à la cellule photovoltaïque :



#### Composants d'un système PV :

Dans le cas d'une centrale photovoltaïque raccordée au réseau, on retrouve généralement les divers équipements suivants :

- une structure porteuse ou de fixation ;
- les panneaux photovoltaïques ;
- les composants de distribution en courant continu (DC) ou alternatif (AC) (câbles, connectiques, protections, etc.) ;
- l'onduleur ;
- le système de supervision ;
- le compteur de production.

#### Puissance crête :

La «puissance-crête» est une donnée normative utilisée pour caractériser les cellules et les modules photovoltaïques. Elle correspond à la puissance que peut délivrer une cellule, un module ou un champ sous des conditions optimales et standardisées d'ensoleillement (1000 W/m<sup>2</sup>) et de température (25°C).

### TECHNOLOGIE

#### Technologies des cellules solaires

##### • Cellules monocristallines en silicium

- élaborées à partir d'un même bloc de cristal : long et coûteux (exigeant en énergie !)
- apparence : couleur «bleu uniforme»
- durée de vie : environ 40 ans
- rendement : 12 à 18% (meilleur que les cellules polycristallines)



#### Technologies des cellules solaires

##### • Cellules polycristallines en silicium

- à partir d'un bloc sous forme de cristaux multiples (visibles à l'oeil nu)
- coût de production plus faibles que les cellules monocristallines
- peu de déchets et moins d'énergie (2 à 3 fois moins)
- durée de vie : environ 30 ans
- rendement : 11 à 15%
- meilleur rapport performances/prix



#### Technologies des cellules solaires

##### • Cellules amorphes en silicium

- coût de production le plus faible
- «feuilles» souples de cellules
- grandes surfaces à faible coût
- rendement : 6 à 8%



##### • Autres cellules amorphes

- CIS (cuivre-indium-sélénium) ou CdTe (tellure de cadmium)
- meilleures à faible lumière et en termes de température
- rendement : 12%

# SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

## Applications

### ASPECTS ECONOMIQUES

#### Coût moyen du Watt Crête installé :

Dans le cas du Maroc, 11 Dirhams (env. 1 Euro) en 2015 pour une puissance de 400 kWc (sans stockage).

L'essentiel du coût de l'installation est le coût du module (60 %) et du ou des onduleurs (10 à 15 %).

#### Coût de l'exploitation :

Les dépenses annuelles d'exploitation et de maintenance (y compris les provisions pour changement des onduleurs) sont faibles, de l'ordre de 1 % du coût d'investissement, en comptant par exemple sur 20 ans, quatre visites de contrôles, trois incidents nécessitant une intervention, un défaut module et deux pannes d'onduleur. Cela représente environ 10.000 Dhs/an pour une installation de 10 kWc (100 m<sup>2</sup>).

#### Coût de l'énergie produite :

Un calcul simplifié permet de déterminer le coût de l'énergie produite. Par exemple, pour une installation intégrée de 10 kWc (environ 100 m<sup>2</sup>) : - Investissements : 110.000 Dhs - Maintenance : 10.000 Dhs/an - Production : 12.000 kWh/an - Durée d'observation : 20 ans - Recettes MT : 9.600 Dhs/an.

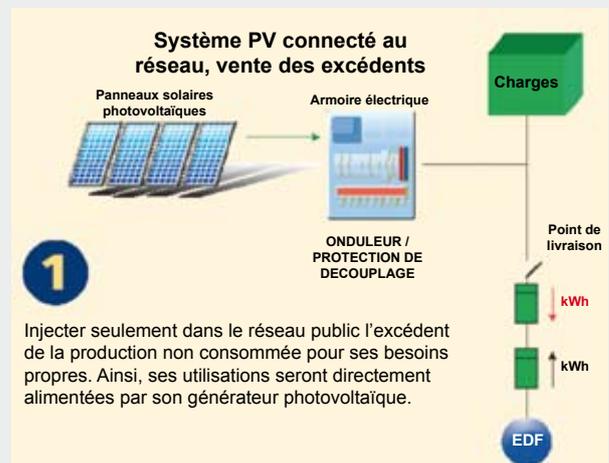
Ces hypothèses permettent de déterminer le coût de production de l'énergie : 0,625 Dhs/kWh.

## Applications

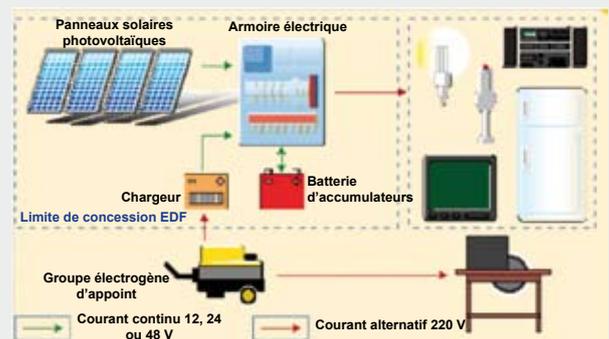
### LES ETAPES POUR REUSSIR SON PROJET DE «TOIT SOLAIRE»

- analyser ses besoins en électricité ;
- concevoir son installation ;
- évaluer le potentiel de son «toit solaire» ;
- associer les éléments ;
- choisir le matériel ;
- localiser les éléments.

#### Système PV raccordé au réseau



#### Système PV isolé



# BIOMASSE

## Conseils

### NOTIONS DE BASE

#### La biomasse, c'est quoi ?

En toute rigueur, c'est l'ensemble de la matière d'origine vivante. Les principales provenances de la biomasse sont :

- l'agriculture ;
- la forêt ;
- les milieux marins et aquatiques ;
- les haies, parcs et jardins (déchets verts) ;
- les industries et les activités humaines ayant traité de la matière d'origine vivante, y compris du bois (industries agro-alimentaire, papetière, de transformation du bois, etc...) et générant des coproduits, des déchets organiques (notamment les boues de stations d'épuration) ou des effluents d'élevages.

#### Que peut-on faire à partir de la biomasse ?

- usages alimentaires ;
- fumure des champs ;
- matière première pour la chimie ;
- carburants ;
- combustible ;
- etc.

#### La biomasse énergie :

Ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie



## Comment économiser l'énergie

#### La biomasse sèche :

Les installations qui gèrent la biomasse sèche – donc surtout du bois et de la paille – sont de grandes chaudières. La biomasse sèche, brûlée, chauffe l'eau qui dégage de la vapeur, utilisée pour faire tourner une turbine, qui produit alors l'électricité.



#### La biomasse humide :

Les installations de biomasse humide sont des usines constituées de silos ou de grandes cuves. Ces installations sont étanches à l'air et permettent le processus de fermentation de la biomasse. Elles servent à la production de biogaz et de biocarburants.



# BIOMASSE

## Applications

**La biomasse comme biomatériau traditionnel ou innovant :** le bois et ses dérivés (papier, carton, panneaux de process), mais aussi le chanvre et autres plantes textiles, sont de plus en plus utilisés comme isolants, y compris dans du béton composite. L'amidon issu de céréales ou de pomme de terre peut être utilisé pour la production de plastiques biodégradables et de nombreux autres polymères.

**La biomasse comme matière première de la chimie :** elle est utilisée pour produire des tensioactifs, solvants, fluxants pour bitumes, encres, peintures, résines, liants, lubrifiants, produits antigel... sans oublier les nombreux principes actifs et huiles essentielles utilisés en pharmacie et en cosmétique.

**La biomasse pour les biocarburants :** Les huiles de colza, tournesol, soja ou palme sont les matières premières de base pour fabriquer du biodiesel. L'utilisation des huiles végétales pures comme carburant est possible, mais rencontre des limites techniques. Le bioéthanol est aujourd'hui produit à partir de la fermentation de blé, maïs, betterave ou canne à sucre. A l'horizon 2020, des biocarburants dits «de seconde génération» pourront être produits à partir des matières cellulosiques que sont, par exemple, la paille et le bois.

## Applications

**La biomasse comme biocombustible pour produire de la chaleur et de l'électricité :**

**Le bois** est exploité sous la forme traditionnelle de bûches, mais aussi de plaquettes forestières (sous-produits de l'exploitation forestière broyés), d'écorces, de bois de récupération. Densifié, le bois peut se présenter sous forme de granulés ou de briquettes.

**La paille**, mais aussi des résidus de la culture et des productions dédiées, peuvent être utilisés comme combustibles.

On peut également brûler à l'échelle industrielle du marc de raisin, des noyaux de fruits, des déchets d'usines papetières (liqueurs noires, boues papetières), des déchets de collectivités, etc. et aussi du biogaz issu de la fermentation de déchets divers mis en décharge ou traités dans des méthaniseurs (déchets verts, effluents d'usines agroalimentaires, déjections animales...).

**Bûches, rondins**



**Plaquettes forestières, PCS ou DIB**



**Granulés** aussi : pellets



**Briquettes** aussi bois densifié



# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. «Guide pratique de l'air comprimé», ATEE, 2013.
2. «Les différents procédés de refroidissement d'eau dans les installations industrielles et tertiaires», CETIAT.
3. Document de référence sur les meilleures technologies disponibles : «Efficacité énergétique», Commission européenne, 2009.
4. «Eclairage industriel», Syndicat de l'Éclairage, 2004.
5. «Compresseurs d'air», ADEME/DABEE, 2006.
6. Programme européen «Motor Challenge Programme», Module : «Systèmes actifs de Réfrigération et de Refroidissement», 2006.
7. Programme européen «Motor Challenge Programme», Module : «Systèmes d'entraînements par moteurs électriques».
8. Programme européen «Motor Challenge Programme», Module : «Réseaux de distribution électrique industrielle».
9. Programme européen «Motor Challenge Programme», Module : «Systèmes de ventilation», 2003.
10. «Exemples de bonnes pratiques énergétiques en entreprise», ADEME, 2011.
11. Guide pratique : «La modulation des débits de ventilation dans le tertiaire», ADEME.
12. «Transformateurs de distribution et économies d'énergie», ADEME, 2012.
13. «Eau chaude sanitaire solaire, individuelle et collective», FFB, ADEME.
14. «Entretien annuel des chaudières, fiches techniques, énergies et avenir», 2010.
15. «Mener à bien un projet d'efficacité énergétique dans l'industrie», guide de bonnes pratiques, Gimélec, 2008.
16. «Efficacité énergétique dans le secteur industriel», IUSES, 2010.
17. «Outils pour économiser l'énergie» – guide et outil de vérification énergétique, Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC).
18. «Economies d'énergie dans l'industrie», cahiers techniques, Wallonie, SPW, 2010.
19. Guide technique : «Systèmes de ventilation», Hydro Québec, 1993.
20. Série «Gestion de l'énergie», Hydro Québec.
21. Audits énergétiques dans le secteur industriel réalisés par l'auteur.



