

17 PISTES TECHNIQUES POUR FAIRE DES ÉCONOMIES

AGROALIMENTAIRE Afin de réaliser des économies d'énergie dans l'industrie agroalimentaire, Paul Rivet (AF Consulting) a recensé 17 points d'intervention possibles en froid positif ou négatif.

Améliorer la performance énergétique et réduire la consommation électrique des équipements frigorifiques est devenu une priorité. En France, cette consommation est estimée par l'AFCE à 32 TWh dans les industries agroalimentaires (IAA). Elles seraient ainsi responsables de 2 % des émissions de gaz à effet de serre, selon le Cemagref. Les solutions techniques pour faire du froid moins énergivore existent déjà. Le cabinet AF consulting dirigé par Paul Rivet les répertorie en agroalimentaire.

1. La HP flottante (Tableau 1)

Il s'agit d'adapter la pression de condensation en fonction de l'évolution des températures du médium de refroidissement. C'est le plus souvent l'air dans les IAA. Cette évolution se fait dans le même sens mais si possible d'une manière non linéaire. L'énergie de ventilation doit varier en fonction de l'écart $\Delta t/T^\circ$ air et inversement. Il est important de noter que la réduction du taux de compression entraîne une réduction très sensible de la puissance absorbée. Ainsi, à

une température de condensation comprise entre +45 et +20 °C, le COP double. La gestion fine de cette condensation assure une stabilisation de la pression.

La variation de la HP doit suivre des lois de régulation et nécessite des instruments spécifiques. À savoir : une sonde de pression, une sonde de température extérieure et de température de liquide HP, et un régulateur. Au-delà du contrôle du débit du détendeur, il peut être aussi nécessaire d'isoler le liquide HP.

En matière de bénéfice, on peut retenir différents repères :

- 1 °C gagné sur la condensation permet d'économiser 2,5% de kWh.
- Le gain varie de 15 à 35 % selon la variation d'amplitude de la température d'air.
- Un gain de 30% sur le compresseur se traduit par 20% d'économie sur l'installation.
- Pour de l'air à +12 °C, le gain est d'environ 14%. Il peut monter à 20% pour un air à 11 °C et chuter à 4% à 25 °C.
- Le retour sur investissement peut être inférieur à 2 ans (mais se situe généralement entre 2 et 4 ans).

	Centrale positive (R 404A)	Centrale négative (R 404A)	En région parisienne, une centrale de froid positif (4 x 40 ch) avec variation de HP de +40 °C à +20 °C fait ressortir un gain annuel de 130 MWh (28,2%) soit 5 200 euros. Pour une centrale négative (3 x 27 ch) le gain a été estimé à 50 MWh (29,9%) soit 2 000 euros (sur la base d'1 kWh à 0,04 euros).
Régime de fonctionnement	-15 °C/+40 °C	-38 °C/+40 °C	
Durée fonctionnement/an	4 380 h	6 000 h	
COP*	2 soit 0,5 kW(e)/kW(f)	1 soit 1 kW(e)/kW(f)	
Gain moyen avec la HP flottante	0,137 kW(e)/kW(f)	0,275 kW(e)/kW(f)	
Gain annuel	600 kWh/kW(f)	1 650 kWh/kW(f)	
* coefficient de performance (EER) = kW de froid produit par kW électrique absorbé.			

Tableau 1 - HP Flottante : exemple de gain

	Centrale positive (R 404A)	Centrale négative (R 404A)	Ces valeurs ont été proposées dans l'établissement de Certificats d'économie d'énergie pour le tertiaire (super et hypermarchés). Elles sont à adapter en fonction des cas (nombre d'heures de fonctionnement, Cop aux conditions nominales...). Elles conservent néanmoins une valeur indicative.
Régime de fonctionnement	-15 °C/+40 °C	-38 °C/+40 °C	
Durée fonctionnement/an	4 380 h	6 000 h	
T° Evaporation	-11 °C	-36 °C	
Remontée de T° à...	-7 °C (pendant 50 % du temps : nuit, week-end, période froide...)	-34 °C	
Gain annuel	180 kWh(e)/kW(f)	130 kWh(e)/kW(f)	
Soit un gain d'environ 3 % par degré de remontée de température d'évaporation.			

Tableau 2 - BP flottante : exemple de gain

2. La BP flottante (Tableau 2)

La mise en place d'une BP flottante permet une remontée de la température d'évaporation pour réduire le taux de compression et améliorer le COP de l'installation. De fait, 1 °C gagné en évaporation induit de 2,5 % (en froid positif) à 4 % (froid négatif) de gain de consommation. Elle nécessite des remontées d'informations depuis les postes de froid et doit prendre en compte les postes les plus sensibles sur un système centralisé. À l'exception de certaines applications, l'amplitude de variation de température est limitée de 2 à 4 °C maximum. Une BP stabilisée entraîne moins de démarrages des compresseurs et de moindres écarts entre enclenchement et déclenchement.

La variation de vitesse permet d'optimiser le rendement de l'installation.



3. La variation de vitesse

Cette technologie est synonyme d'une grande flexibilité de régulation, d'une réduction du nombre de démarrages, d'un investissement machines moindre et de gains de consommation électrique. Pour un coût d'environ 200 euros par kW électrique, le gain énergétique varie, selon les spécialistes, de 10 à 25 %. Dans le cas des compresseurs à vis, avec tiroir interne de régulation, le COP à charge partielle est divisé par 2 à 4 selon le taux de compression. De fait, l'installation d'au moins une machine avec variation de vitesse s'impose. De plus, le variateur de vitesse assure un démarrage progressif (intensité de démarrage réduite). En outre, les ●●●

KIMO®
INSTRUMENTS

Tél. : 05 53 80 85 00

Email : kimo@kimo.fr

NOUVEAU

ENREGISTREURS Autonomes Sans Fil

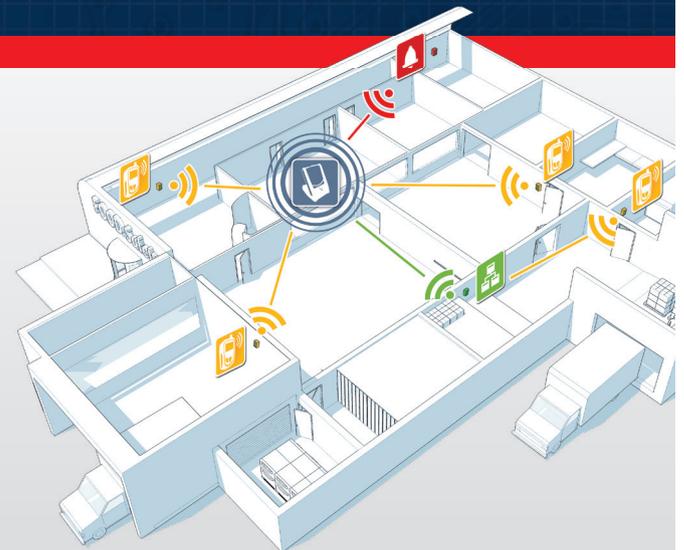
Température / Humidité
Pression / Courant / Tension / Impulsion

- 20 000 points de mesure
- Jusqu'à 100 KISTOCK en réseau
- Mode surveillance temps réel



**21CFR
Part11**

Logiciel d'exploitation
KILOG RF



 Base de communication

 Kistock RF

 Module alarme

 Prolongateur de réseau

www.kimo.fr
FABRICANT FRANÇAIS

Paris - Bordeaux - Lyon - Toulouse - Lille
Rennes - Aix en Provence - Strasbourg

●●● régimes transitoires et vibrations sont éliminés au maximum. Pour de nombreuses machines, la variation de vitesse par variation de fréquence permet d'améliorer les performances en charge thermique partielle, ce qui est le cas de toutes les installations.

D'après une étude du Ceren*, 60% des nouveaux ventilateurs et pompes sont équipés de variateur de vitesse, alors que cela est marginal pour les compresseurs, hors climatisation domestique. Pourtant, l'installation d'un variateur de puissance sur certains compresseurs permet également d'augmenter leur puissance de 75 à 100%.

(*) Centre d'études et de recherches d'économies sur l'énergie

4. Les moteurs à commutations électroniques EC

À la différence des moteurs conventionnels, dans lesquels un courant alternatif dans le stator induit le champ magnétique dans le rotor, les moteurs EC utilisent à cette fin des aimants permanents. Ainsi, comme l'explique le fabricant Searle, le courant électrique du stator est utilisé exclusivement pour générer le couple rotatif, et non pour induire des champs magnétiques secondaires. Par conséquent, de par son principe de fonctionnement minimisant les pertes, le moteur EC est plus efficace que le moteur à courant alternatif. En outre, d'après le fabricant, dans les moteurs à courant continu conventionnels les charbons assurant l'alimentation électrique s'usent au cours du temps. La nouvelle génération de moteurs EC met en œuvre un circuit électronique de commutation localisant la position du rotor et régulant son alimentation. La commutation étant réalisée électroniquement, sans contact physique ni frottement, il n'y a pas d'usure.

On estime qu'un moteur à commutation électronique affiche un rendement de 80% contre 30 à 50% pour un moteur à courant continu. De fait, un supermarché américain de 4 000 m² dont les vitrines et chambres froides sont équipées de 350 petits moteurs annonce un gain annuel de 32 000 dollars.

Les moteurs à aimants permanents de 1 à 2 kW ont un rendement de 92%, selon Denis Clodic, de l'École des mines à Paris.

5. Les compresseurs performants

Dans les machines standard semi-hermétiques ou ouvertes, des écarts de performances existent, y compris pour différentes séries d'un

même constructeur. Les compresseurs à refroidissement externe permettent des gains de quelques pour cent par rapport au refroidissement par les gaz aspirés. Associés à un variateur de vitesse, les nouveaux compresseurs à paliers magnétiques (rotatifs), supprimant les frictions et l'huile, conduisent à des performances très élevées, en particulier à charge partielle. Récemment, on assiste aussi au développement de petits compresseurs secs sans huile.

6. Les moteurs performants

Outre les moteurs EC pour les ventilateurs, 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%. Il est de 20 à 10% environ pour les moteurs de 15 à 90 kW. Dans ce domaine, il faut aussi se reporter au site de la commission européenne www.motor.challenge.fr relayé par l'Ademe.

7. Les systèmes économiseurs

Ce dispositif d'injection intermédiaire, compatible avec tout compresseur rotatif, permet d'augmenter la puissance frigorifique de 10 à 50% selon le fluide et le taux de compression. Il limite dans le même temps les puissances absorbées et le gain de COP s'échelonne de 8 à 35% tandis que la machine installée est de taille inférieure. On l'utilise souvent en régime basse température, mais le gain énergétique mérite une installation systématique.

Ces systèmes peuvent être de type à détente partielle (s'il y a besoin de liquide en HP) ou à détente totale pour des systèmes compacts (gain maximal).

8. Les groupes de refroidissement

Les compresseurs performants et les moteurs performants évoqués dans les points précédents sont nécessaires mais pas suffisants. Il faut leur adjoindre :

- des échangeurs adaptés et si besoin surdimensionnés. Une prise en compte de la plage d'utilisation et surtout du fonctionnement à charge partielle (lire le point suivant) ;
- des systèmes de détente flexibles selon la charge thermique et les conditions de température extérieure ;
- une régulation prenant en compte les performances à charge partielle, les variations de HP et du point de consigne BP tout en assurant un diagnostic minimum.



9. La marche à charge partielle

La marche à charge partielle des compresseurs diminue leurs performances. Sur les compresseurs à pistons, la dégradation du COP est légère et acceptable. Avec les compresseurs à vis, la dégradation importante du rendement à charge partielle l'est d'autant plus que le taux de compression est élevé. Il convient donc :

- de privilégier l'installation de plusieurs machines et de ne pas analyser uniquement les besoins maximaux ;
- d'installer sur une machine, au moins, un variateur de vitesse. Le gain peut atteindre 5 à 15%.

De plus le variateur de vitesse peut être utilisé comme démarreur progressif, ce qui permet de réduire l'intensité au démarrage. Enfin, le variateur de vitesse maintient le cosinus phi (facteur de puissance) vers 93 % et supprime ainsi les pénalisations d'énergie réactive et éventuellement l'installation de condensateurs. L'intérêt de l'accumulation peut être évalué dans le cas de frigoporteurs. À noter que, jusqu'en 2006, les normes européennes se référaient au coefficient de performance nominal à pleine puissance (EER traduction du COP). Depuis, Eurovent a créé le ESEER ou coefficient saisonnier européen, inspiré du SEER américain de l'ARI, pour les refroidisseurs de liquide.

10. La récupération d'énergie

La chaleur qui ne va pas au condenseur contribue à un abaissement de la température de condensation, donc à une réduction de la puissance absorbée. Une désurchauffe des gaz de refoulement peut servir à produire de l'eau chaude sanitaire. Si cette chaleur est limitée en quantité (de 10 à 15%), elle possède

cependant un niveau élevé + 50 à 70 °C. Cette désurchauffe s'avère indispensable sur les systèmes cascade, en particulier avec l'utilisation du CO₂ dont la température des gaz est d'environ + 65 °C au régime - 35 °C / - 5 °C. Tout en diminuant le rejet sur le circuit primaire, on peut idéalement valoriser la chaleur récupérée. Sur les systèmes à vis, notamment à l'ammoniac, la chaleur de refroidissement est importante et à un niveau élevé (+ 70 °C / 90 °C). Elle peut représenter 30 % du rejet total de chaleur.

Il est aussi judicieux de récupérer la chaleur des circuits hydrauliques (rejets, eau de condensation, eau de lavage...) pour servir de source chaude à une pompe à chaleur. Idéalement, dans certains cas, on peut même combiner les besoins de froid et de chaud.

La récupération de froid est aussi intéressante, par exemple dans le prérefroidissement de liquide ou d'air de process ou dans une patinoire. La récupération d'énergie intervient lors de la fusion de la glace de surfaçage pour sous-refroidir le liquide condensé. Le gain de puissance atteint 20 à 25 %.

11. Sous-refroidissement de liquide haute pression

La chaleur disponible, comprise entre + 45 et + 20 °C, s'avère intéressante à plusieurs titres (chauffage de sols et planchers, réchauffage d'air après déshumidification, ou encore la fusion de la neige de surfaçage en patinoire...).

L'impact du sous-refroidissement sur la puissance du compresseur est important. Il convient d'utiliser au maximum un médium disponible (eau, air...) pour sous-refroidir le liquide condensé, même pour une période limitée lorsque la ●●●

Cfia
Carrefour des fournisseurs
de l'industrie agroalimentaire

2^e ÉDITION
2011

METZ
Parc Expo
Metz Métropole
18-19-20 Octobre

incOmitO RCS TOULOUSE B 387 397 811 / Crédits photos : Franck Monégier - Fotolia



300 exposants
au service des IAA !

**Un concentré d'idées
performantes !**

- INGRÉDIENTS & PAI
- ÉQUIPEMENTS & PROCÉDÉS
- EMBALLAGES & CONDITIONNEMENTS

→ Commandez votre badge
GRATUITEMENT
sur www.cfiaexpo.com



Renseignements : David Luche
cfia@gl-events.com - tél. 05 53 36 78 78

●●● condensation est élevée. La diminution de l'enthalpie du liquide augmente la différence d'enthalpie au compresseur donc la puissance frigorifique, ce qui réduit le temps de fonctionnement, donc l'énergie consommée. En outre, la réduction du temps de fonctionnement augmente la longévité. À noter également que le liquide HP sous-refroidi améliore la qualité de la détente. Il est enfin astucieux de penser à sous-refroidir le liquide de centrales frigorifiques par d'autres centrales fonctionnant à plus haute température d'évaporation. Il peut s'agir dans ce cas d'un liquide d'une centrale à $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ refroidi par une centrale à $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ et/ou une centrale à $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

12. Système de gestion centralisé et d'aide à la maintenance

Pour remédier au manque d'informations et à la nécessité de prendre en compte des paramètres divers (flux de production, tarification horaire, conditions extérieures, type de compresseurs, pressions, températures...), il est nécessaire d'installer un système de gestion centralisée. Celui-ci comprend l'enregistrement des paramètres de fonctionnement (température, pression, heures de marche, puissances absorbées, séquences de marche/arrêt, de dégivrage...) et l'extension à d'autres paramètres du système tels qu'ouverture de portes, éclairage... Ce système qui enregistre et gère les dérives apporte une aide à la maintenance préventive ou prédictive. Il faut veiller à ajuster la programmation de l'installation après une période d'observation, car le programme d'origine ne peut être optimal. Chaque installation est en effet spécifique. Des études comme celle du Cemagref montrent



La récupération de chaleur sur la centrale est de plus en plus pratiquée.

des gains de 5 à 15 %. Ils peuvent atteindre 50 % dans les supermarchés, selon des sources américaines qui évoquent aussi un gain de 25 % en climatisation avec centralisation des productions. Ainsi, le système Econéo de Johnson Controls pour la gestion en supermarchés (froid, vitrines, éclairage...) fixe comme objectif une économie de 35 %.

13. Accumulation de froid et de chaleur

Cette accumulation offre la possibilité d'installer un équipement de taille inférieure entraînant un gain en investissement froid et en souscription électrique. Utilisable uniquement en systèmes frigoporteur, l'accumulation permet :

- de fonctionner au maximum à pleine puissance, donc d'éviter les marches à charge partielle ;
- de fonctionner de préférence la nuit, donc pendant la période où la condensation est basse et le COP meilleur ;
- d'utiliser des tarifs d'énergie plus faibles.

La possibilité d'employer des frigoporteurs biphasiques (liquide/solides), tels que les coulis de glace, devrait permettre d'évaporer plus haut (lire la partie sur la basse pression) et de diminuer les débits de

frigoporteurs par 3 à 5, donc de réduire l'énergie de pompage. L'accumulation nécessite un réservoir qui introduit un coût complémentaire mais, en système liquide monophasique (habituel), le potentiel de cette réserve est faible :

- un bac de 10 m^3 sur un système eau glycolée classique = 40 kW/h environ ;
- un bac de 10 m^3 avec coulis de glace à 30 % = 280 kW/h environ.

Il convient de se rappeler que, dans un système frigoporteur, on paie deux fois le pompage : une fois en raison de l'électricité consommée par la pompe et une deuxième fois par la chaleur transmise au fluide par la pompe. Ce qui se traduit par un besoin complémentaire de puissance au niveau du compresseur.

Dans ce domaine, l'utilisation de matériaux à changement de phase (PCM) pour l'accumulation de froid ou de chaleur semble être une piste intéressante tant pour le bâtiment que pour les équipements.

14. Les échangeurs surdimensionnés

Sur une installation, si l'on augmente la surface des échangeurs, et en particulier celle des condenseurs et des évaporateurs, l'impact sur la condensation et l'évaporation conduit à une amélioration

du COP (lire les parties sur la HP et la BP). Le gain est d'autant plus appréciable que le prix des échangeurs sur le total de l'installation est limité. L'augmentation des surfaces des évaporateurs refroidisseurs d'air réduit l'épaisseur de givre et a donc un impact favorable sur la fréquence et le temps de dégivrage. Le givrage a, en effet, non seulement un impact négatif sur le rendement de la batterie (par réduction du coefficient d'échange, donc un abaissement de la BP), mais nécessite ensuite une dépense d'énergie de compression pour la remise en froid.

À noter que, si les échangeurs à micro-canaux peuvent être intéressants, il faut être vigilant quant à la présence d'huile.

15. La 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 (lire aussi les parties HP et BP).

Cette perte doit être limitée entre $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ au refoulement, et $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ à l'aspiration selon les distances et les diamètres, surtout pour la BP. Il convient de prendre en compte les vannes, surtout les vannes automatiques et les électrovannes.

Une perte de charge importante dans les condenseurs (surtout à air avec tubes de petit diamètre) ainsi que dans les évaporateurs conduit aussi à des augmentations de la puissance électrique absorbée. L'accumulation d'huile dans les tuyauteries et les évaporateurs a le même effet.

16. Les rideaux d'air et déshumidificateurs d'ambiance

Dans le processus de refroidissement de l'air, la chaleur latente de l'eau peut représenter de 20 à 60 % de la chaleur totale. Lorsqu'il s'agit de locaux à températures négatives, cette eau se transforme en givre ou en glace sur la batterie. L'humidité, en provenance des locaux de fabrication et/ou des sas, ne se dépose pas uniquement sur la batterie mais aussi autour des portes, sur le sol, au plafond, sur les premières palettes. Il s'agit d'une contrainte d'exploitation importante (risques pour les caristes, fonctionnement

des portes et autres automatismes, nettoyage...) surtout pour les entrepôts à fort trafic. Les solutions existent :

- sas refroidis et/ou de rideaux d'air climatiques ;
- double porte, dont une rapide ;
- systèmes de déshumidification par adsorption chimique.

L'adoption de ces solutions entraînerait un gain de 13 %. La déshumidification de l'air des zones de travail permet en effet de réduire la consommation électrique. Des expériences menées en Allemagne sur des locaux de transformation de viande font ressortir des gains de 43 %. En outre, ce gain énergétique s'accompagne d'une amélioration des conditions de travail et de la résistance des matériels.

17. Choix du bon fluide et du bon système

À la conception, mais aussi lors des reconversions, l'application des fluides n'est pas universelle. Les compresseurs à pistons et à vis ne sont pas également performants selon le fluide, les températures de condensation et d'évaporation... Il convient d'évaluer dans certains cas le système à deux étages ou booster, tout comme l'intérêt d'une cascade CO₂, surtout par rapport à un système direct au R 404A en basse température (l'effet de serre direct est réduit de 75 %). Il est aussi important d'évaluer l'intérêt du R 410A au lieu du R 404A. La

charge de frigorigène est réduite de 40 % environ et le GWP du R 410A est environ la moitié de celui du R 404A pour des performances énergétiques améliorées de 10 % environ. Toutefois, le R 410A ne convient pas pour un retrofit à cause de pressions plus élevées. Il faut aussi tenir compte de ses limites de température de refoulement.

Le R 134a avec son GWP de 1 300 et ses faibles pressions, peut s'avérer intéressant en refroidissement de liquide (eau ou eau glycolée). Sur le plan énergétique, il permet un gain de 10 % environ par rapport au R404A et des températures de condensation plus élevées. Il n'est pas souhaitable en détente de frigorigène distribué car les canalisations d'aspiration sont plus importantes. ●



Une nouvelle façon d'appréhender le froid



DIGITEL SAS
rue Georges Latapie
60490 Ressons-sur-Matz
Tél. : 09 60 16 58 29
Port. : 06 42 57 08 74
Fax : 03 44 20 60 53
info@digitel-web.com
www.digitel-web.com

Simplicité

Un seul régulateur pour toutes les applications. Télégestion avec interface graphique, très conviviale permettant de créer et modifier facilement les synoptiques, les protocoles HACCP, les statistiques...

Économie d'énergie

Fonction Interact. HP et BP flottante. Détente électrique à charge variable. Commande des rideaux et de l'éclairage. Délestage, comptage et gestion de l'énergie souscrite. Puissance des cordons chauffants en fonction du point de rosé. Statistiques mettant en évidence les postes à la consommation excessive.

Performances inégalées

Télégestion indépendante du PC sur site, permet la gestion centralisée des alarmes. Communication par modem, Lan, Internet. Vérification automatique des connexions...

