



tesla

Transferring  
Energy Save  
Laid on Agroindustry

# MANUEL

---

*d'Efficacité Énergétique des Usines  
de Nutrition Animale*

**IEE/12/758/SI2.644752**

**Rédacteur principal:** *TECALIMAN  
(Centre Technique des Aliments pour Animaux)*



Co-financé par le programme Intelligent Energy Europe  
de l'Union Européenne

**Dernière version:**

Mai 2014

**Auteurs:**

Loïc Perrin, François Lucas et Fabrice Putier.  
TECALIMAN (Centre Technique des Aliments  
pour Animaux.

**Co-auteurs:**

Ce document a été réalisé conjointement  
avec CIRCE, UÉvora, ENEA and UPM (plus  
particulièrement la partie 4 concernant les  
mesures d'économies d'énergie), et contient  
des informations provenant de Cooperativas  
Agro-alimentarias, Coop de France, CONFAGRI  
et Legacoop Agro.

**À propos de ce rapport:**

Ce rapport a été rédigé selon la trame  
du projet TESLA (Intelligent Energy Europe) et  
a été financé par la Commission Européenne.

**Copyright:**

Ce rapport peut être copié et distribué tant que  
le copyright est toujours respecté. Enseignants,  
formateurs et tout autre utilisateur doivent  
toujours citer les auteurs, le projet TESLA et le  
programme Intelligent Energy Europe.

*"Le contenu de cette publication relève entièrement de la responsabilité de ses auteurs. Il ne reflète pas nécessairement l'opinion de l'Union Européenne. Ni l'EACI, ni la Commission de l'Union Européenne ne peuvent être tenues responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues".*

The logo for the TESLA project, featuring the word "tesla" in a bold, lowercase, sans-serif font. To the right of the text is a stylized yellow infinity symbol (∞).

Transferring  
Energy Save  
Laid on Agroindustry

# 0. Table des matières

## 1. Introduction

1.1 Analyse de la production du secteur de la nutrition animale	6
1.2. Point de vue socio-économique	8

## 2. Description des procedes

2.1. Broyage	12
2.2. Granulation	14
2.3. Procédés auxiliaires	15
2.3.1. Système d'air comprimé	15
2.3.2. Chaudière	16
2.3.3. Moteurs électriques	17
2.3.4. Éclairage	17

## 3. Analyse energetique du secteur de La nutrition animale

3.1. Consommation électrique	18
3.2. Consommation thermique	21
3.3. Balance énergétique	23
3.4. Coût de l'énergie	25
3.5. Particularités du secteur	25

## 4. Mesures d'economies d'energie

4.1. Système de vapeur	26
4.2. Ventilation	28
4.3. Moteurs performants	28
4.4. Système d'air comprimé (SAC)	30
4.5. Entraînement à vitesse variable (EVV)	32
4.6. Isolation	32
4.7. Récupération de chaleur	33
4.8. Batteries de condensateur pur diminuer l'énergie réactive	35
4.9. Eclairage	35
4.10. Transformateurs de puissance haute performance	37
4.11. Outils de management	37

## 5. Conclusions

## 6. References

39

39

## 1. INTRODUCTION

Le but de la fabrication d'un aliment du bétail est de mélanger, de la façon la plus homogène, diverses matières premières et composants pour apporter l'équilibre nutritionnel et la meilleure performance de conversion par les animaux. La complexité porte sur l'usage de matières premières et de composants aux caractéristiques technologiques et aux présentations variées. La plupart d'entre-elles nécessitent un broyage et cette nécessité conditionne, par le positionnement de cette opération dans le process, la typologie des usines. Ainsi, elles se déclinent en 2 grands types de diagramme de gestions des flux et d'enchaînement des opérations unitaires:

- Diagramme en prébroyage (voir Figure 1). Dans ce cas, les matières sont préalablement broyées individuellement et stockées avant dosage de la formule. Le prébroyage a réputation d'assurer de bonnes performances de productivité du broyeur, mais nécessite pour une même matière première plusieurs silos de stockage pour répondre aux différentes moutures.
- Diagramme en prédosage : dans ce cas toutes les matières premières composant une formule sont dosées, grossièrement mélangées, avant d'être broyées ensemble formule par formule. Le prédosage permet des usines plus simples, avec moins de silos de dosage, pour des usines multi-espèces et une bonne adéquation de mouture et de formulation. L'inconvénient sera le fractionnement d'une opération de broyage batch par batch, plus énergivore, ainsi que tous les asservissements de pilotage induits.

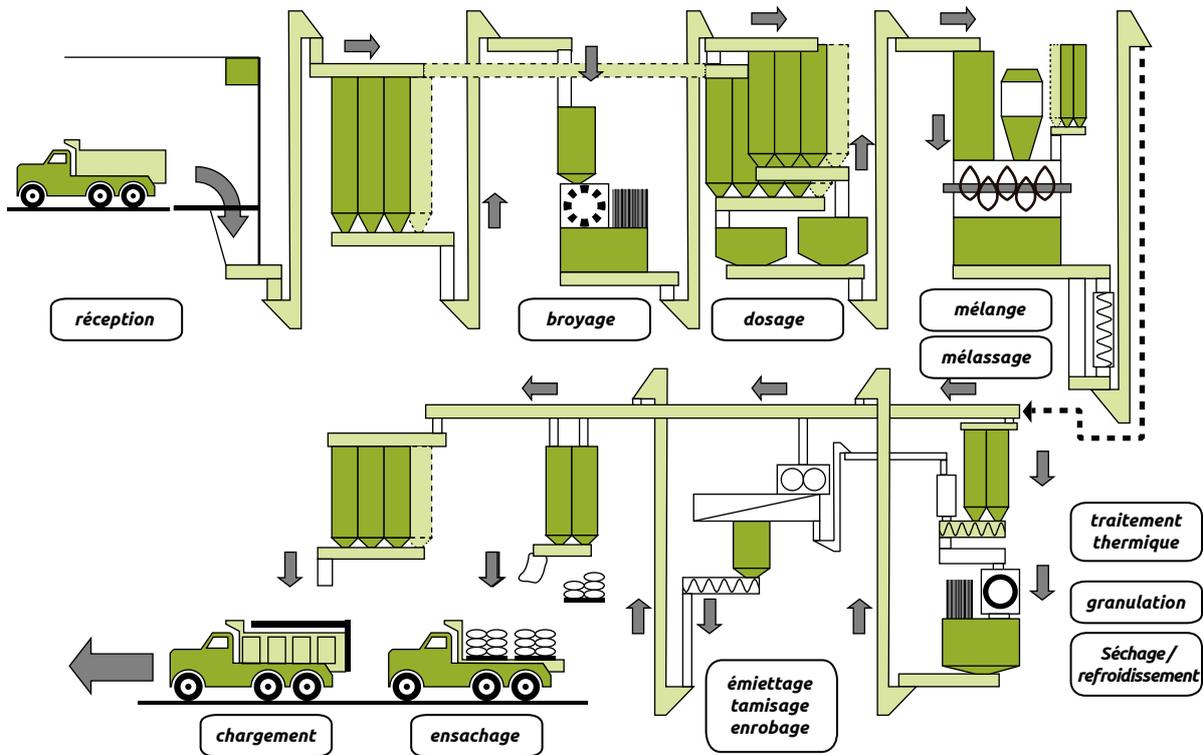


Figure 1. Diagramme prébroyage (TECALIMAN).

Il existe différents types de présentation de l'aliment final:

- *Soit en l'état : aliments dit « farines »*
- *Soit sous forme compactée en granulés ou miettes, avec traitement thermique par injection de vapeur et compression dans des filières de fromage.*

Les aliments pour animaux peuvent être livrés en sacs ou en vrac. D'une manière générale, en Europe, une usine dispose de peu de stocks de matières premières (environ 3 jours en moyenne sur dosage). La gestion de la production est en flux tendu. Ce sont les commandes des aliments par les éleveurs, avec des délais de livraison très courts, 2 à 3 jours maximum, qui déclencheront les ordres de fabrication. Les achats de matières premières, dont les prix sont fluctuants, seront dépendants de la formulation d'aliments et du prévisionnel de consommation. La traçabilité des approvisionnements et des livraisons est assurée par des logiciels de production performants. La gestion de la qualité des aliments tient une place importante dans la profession de la nutrition animale. Elle doit répondre aux exigences des organismes certificateurs et de la certification professionnelle gérée par les bonnes pratiques de fabrication. Par exemple en France,

des agréments spécifiques sont attribués par les pouvoirs publics aux usines selon leurs types de productions (usage de certains additifs, fabrication d'aliments médicamenteux, fabrication d'aliments exempts de salmonelles).

### *1.1 Analyse de la production du secteur de la nutrition animale*

En Europe, depuis 25 ans, la production d'aliments composés a connu trois grandes phases. La première est une augmentation significative des volumes de production de 1988 à 1993, puis une phase de stabilisation avec une légère augmentation de 1993 à 2008 et pour finir une légère diminution des volumes produits depuis 2008. En 2011, la production européenne d'aliments composés était de 150 Mtonnes pour l'Europe des 27 ou 130 Mtonnes pour l'Europe des 15. Dans le projet Tesla, nous nous intéressons plus particulièrement à quatre pays : France, Italie, Espagne et Portugal. En 2011, la production française d'aliments composés était d'environ de 21,3 Mtonnes. Pour l'Espagne, elle était d'environ 20,1 Mtonnes. L'Italie produisait 14,5 Mtonnes et le Portugal environ 3,3 Mtonnes. (données FEFAC). L'évolution de la production d'aliments composés par catégorie en France, en Italie, en Espagne et au Portugal est montrée par la Figure 2.

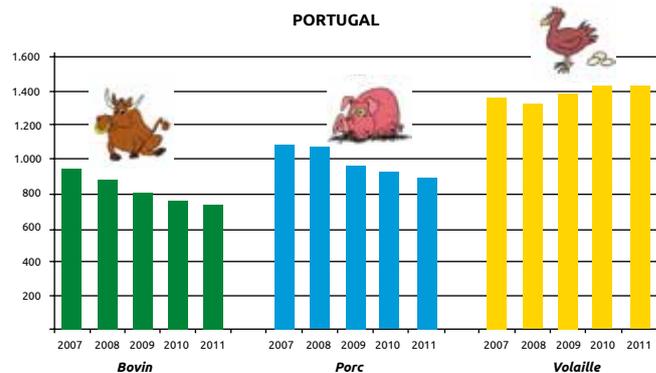
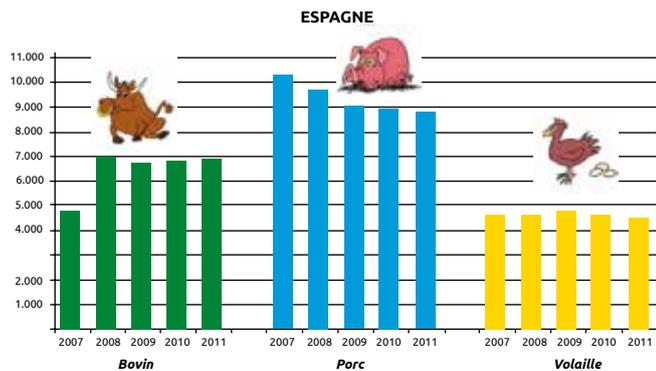
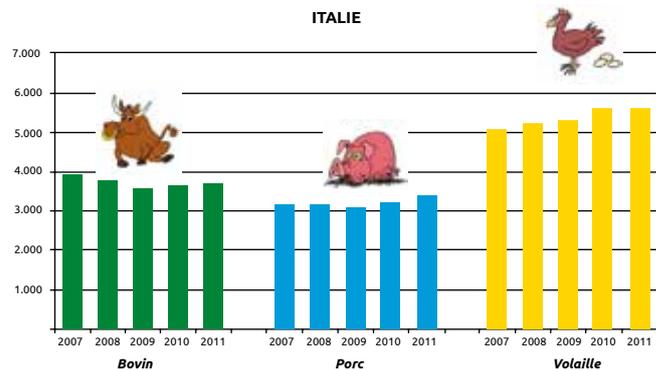
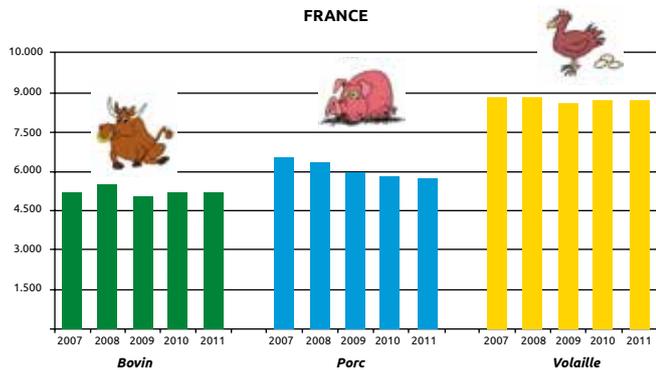
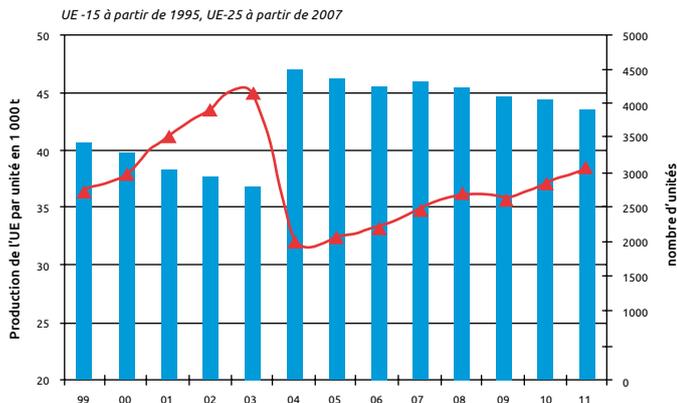


Figure 2. Evolution de la production d'aliments composés par catégorie (données FEVAC).

## 1.2. Point de vue socio-économique

Le point de vue socio-économique européen a évolué selon le nombre de pays ayant intégré l'UE. La Figure 3 montre l'évolution du nombre (en bleu) et de la taille moyenne des usines d'aliments (en rouge) dans l'UE.



**Figure 3.** Nombre et tailles moyennes des usines d'aliments dans l'UE (données FEFAC).

En 2004, la baisse de la taille moyenne des unités de production est due à l'expansion de l'UE (UE -15 à UE -27) parce que le nombre d'usines d'aliments de références a augmenté avec cette expansion. Dans le cas de:

**LA FRANCE** En 2008, le nombre d'usines d'aliments composés était de 301 pour une production moyenne annuelle par site de 75,3 ktonnes mais en 2010, ce nombre était seulement de 292 pour une production moyenne annuelle par site de 80,0 ktonnes. (SNIA-CoopdeFrance, 2011).

**L'ITALIE** 600 usines d'aliments sont réparties sur le territoire italien pour une production moyenne annuelle par site de 23,8 ktonnes. (ISTAT-Assalzo, 2011).

**L'ESPAGNE** Le nombre d'usines espagnoles d'aliments composés est d'environ 854 en 2011 pour une production moyenne annuelle par site de 23,5 ktonnes (FEFAC, 2011).

**LE PORTUGAL** Le nombre d'usines d'aliments au Portugal est de 124 pour une production moyenne annuelle par site de 26,6 ktonnes (DGAV, 2013).

Le chiffre d'affaires moyen de l'industrie de l'aliment composé (sans le Luxembourg, la Grèce et Malte) est de 44 510 M€ (FEFAC, 2011). Dans le cas de:

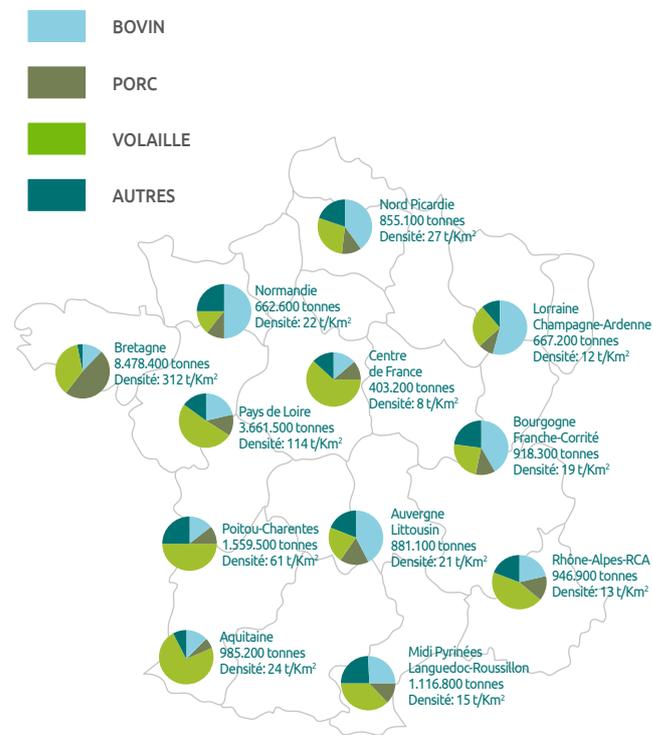
**LA FRANCE** la profession compte environ 12 000 postes sur le territoire français pour un chiffre d'affaires de 7,14 milliards d'euros (FEFAC, 2011). Sur ces 12 000 postes, 6 000 proviennent de 45 entreprises coopératives (CoopdeFrance) et les 6 000 autres proviennent de 203 entreprises privées (données SNIA, 2009).

**L'ITALIE** en 2011, le chiffre d'affaires total était de 6,65 milliards d'euros. Le nombre d'opérateurs directs était de 8 500. (ISTAT, 2011).

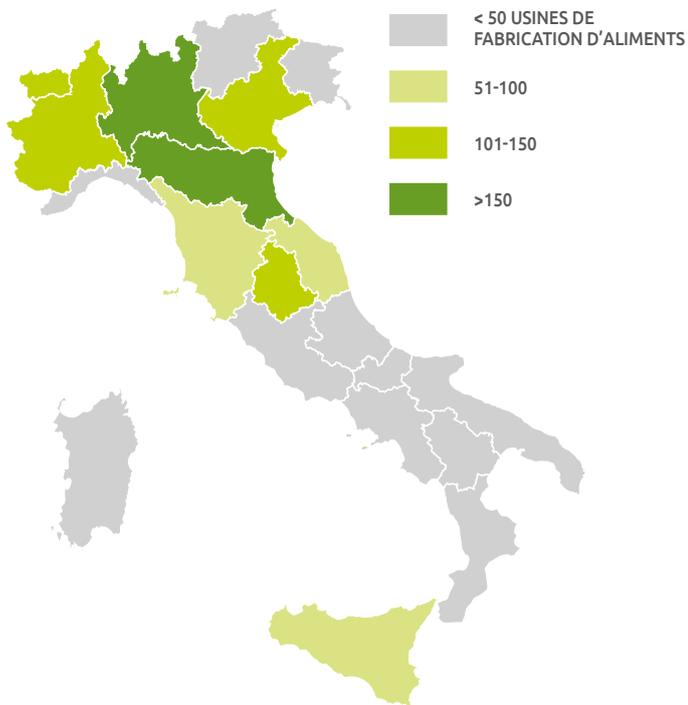
**L'ESPAGNE** Le chiffre d'affaires de ce secteur en Espagne est d'environ 5,75 milliards d'euros en 2010 (FEFAC, 2011). En 2011, 12 757 postes proviennent de l'industrie espagnole de l'aliment composé (CESFAC 2011 (INE 2011)).

**LE PORTUGAL** en 2010, le chiffre d'affaires du secteur était d'environ 1,002 milliards d'euros (IACA, 2012). 3 551 postes proviennent de 6 entreprises coopératives (INE (EA, 2011)).

Les régions de production en France et en Italie sont illustrées par les Figures 4 et 5, respectivement.



**Figure 4.** Régions de production en France (Bovin en bleu, Porc en brun, Volaille en vert et Autres en turquoise) (SNIA - CoopdeFrance).



**Figure 5.** Nombre d'usines de fabrication d'aliments en Italie (ISTA-Assalzo 2011).

Les usines françaises d'aliments pour animaux sont en majorité des coopératives agro- industrielles. La production d'aliments est principalement réalisée dans le Grand Ouest. En effet, la Bretagne, les Pays de la Loire et le Poitou-Charentes représentent environ 65% de la production française métropolitaine.

La Figure 5 montre la répartition des usines italiennes d'aliments.

Il est possible d'observer que la majorité d'entre-elles est concentrée au nord de ce pays.



## 2. DESCRIPTION DES PROCÉDES

Différentes étapes de production sont nécessaires pour produire des aliments pour animaux. Une présentation rapide sera faite sur les procédés les moins énergivores et une description plus complète des procédés les plus énergivores sera faite. Les différentes étapes de production dans une usine d'aliments sont:

**RECEPTION.** Toutes les matières premières arrivent par camions ou, plus rarement, par trains, et sont déversées dans des trémies de réception et transférées par voies mécaniques ou transférées pneumatiquement dans les unités de stockage: grains, granulés, pulvérulents, liquides, etc. Leur conditionnement change selon leurs aspects physiques (vrac, Big bags, etc). A l'arrivée du camion, elles sont pesées et un premier contrôle qualité est réalisé.

**BROYAGE.** Une description complète est faite ci-après (partie 2.1).

**DOSAGE.** Le dosage est l'opération qui gère l'alimentation et la distribution d'un flux produits en fonction des informations des capteurs de mesure géant le pesage. Il a pour but d'obtenir les justes quantités nécessaires de chaque matière première pour approcher au plus près de la formule prévue par le formulateur.

Le nombre de bennes de pesage peut varier d'un site à l'autre.

**MELANGE.** Le mélange est l'opération ayant pour but de répartir, de manière homogène, les éléments de la formule dosés. Le mélangeur le plus utilisé est le mélangeur à deux spires ou rubans inversés sur un même arbre. Les deux paramètres principaux de la conduite d'un mélangeur sont la durée de mélange et le taux de remplissage. Ils ont des conséquences directes sur le niveau de production de l'usine qui ne dispose souvent que d'un seul mélangeur.

**GRANULATION.** Une description complète est faite ci-après (partie 2.2).

**TRAITEMENT THERMIQUE.** Cette opération est généralement liée au besoin d'hygiénisation de l'aliment afin de décontaminer de manière préventive les bactéries pathogènes thermosensibles éventuellement présentes. Cela consiste à porter l'aliment sous agitation à une température voisine de 85°C pendant plusieurs minutes sous l'action de la vapeur. L'aliment soumis à des traitements thermiques est souvent sous forme de farine, et ces derniers peuvent être appliqués en continu ou en batch.

**SECHAGE - REFROIDISSEMENT.** Cette opération consiste à sécher et refroidir les granulés au sein d'un même appareil. En alimentation animale, les opérations de séchage et de refroidissements sont combinées. Elles sont assurées par le passage d'un flux d'air ambiant à l'intérieur de la masse d'aliment. Le séchage sera assuré par la chaleur apportée par le produit et le refroidissement par le flux de l'air entrant. Il résulte d'échanges couplés de chaleur (enthalpie) et de matière (eau) entre l'air et le produit. Cette opération est réalisée dans des refroidisseurs verticaux à contre-courant ou des refroidisseurs horizontaux à bande et à courant croisé.

**EMIETTAGE/TAMISAGE/ENROBAGE.** L'émiettage a pour objectif de générer de petites particules agglomérées, destinées aux petits animaux (Poussin, cailles, ...) à partir des granulés fabriqués. Généralement, l'émietteuse fonctionne avec 2 cylindres face à face situés sous la sortie du sécheur/refroidisseur. Le problème principal est celui de la fin du lot avec arrêt du cycle de recyclage des fines. La séparation des fines est opérée par un tamisage. Après tamisage, des liquides peuvent être incorporés à l'aliment au niveau d'une étape appelée enrobage par pulvérisation à l'extérieur des granulés. Il s'agit de la dernière opération de dosage et la formule n'est considérée définitivement terminée qu'à ce stade.

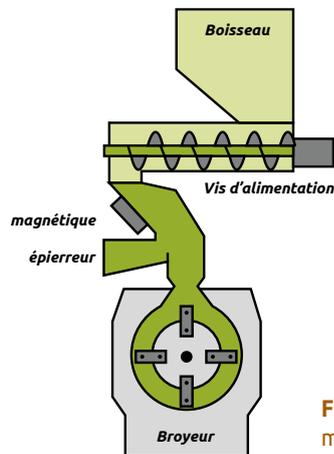
**CONDITIONNEMENT/CHARGEMENT/LIVRAISON.** Une ligne de conditionnement en sacs comprend des trémies de stockage, une ligne d'ensachage et un système de palettisation. Les éléments principaux de la ligne d'ensachage seront le dosage/pesage. Dans la majorité des cas, les sacs sont livrés à des distributeurs concessionnaires alors que le vrac est livré directement à des éleveurs. La majorité de la production est livrée en vrac. À l'usine, le chargement peut être effectué directement dans le camion sur un pont bascule ou par un outil de pré-pesage installé entre les cellules de stockage des produits finis et le chargement. Le camion est divisé en cases afin de séparer les différents lots de livraisons. À l'arrivée dans les élevages, le déchargement dépend du type de camions (système pneumatique ou mécanique).

**PROCEDES AUXILIAIRES.** Une description complète est faite ci-après (partie 2.3).

### *2.1. Broyage*

L'objectif du broyage est d'amener toutes les particules composant une formule à une granulométrie voisine, en consommant le moins d'énergie possible. La proximité granulométrique favorise par la suite, l'obtention de mélanges homogènes et stables. La finesse de la mouture favorise la cohésion des granulés et le rendement électrique de la presse à granuler. Sauf contraintes de

conception de l'usine, seules les matières premières sous forme de grains ou de granulés de granulométries supérieures à celles désirées sont broyées. Les matières premières déjà sous forme pulvérulente, les rejoindront au niveau du mélange. Le broyeur le plus employé en alimentation animale est le broyeur à marteaux (Figure 6).



**Figure 6.** Broyeur à marteaux (Tecaliman).

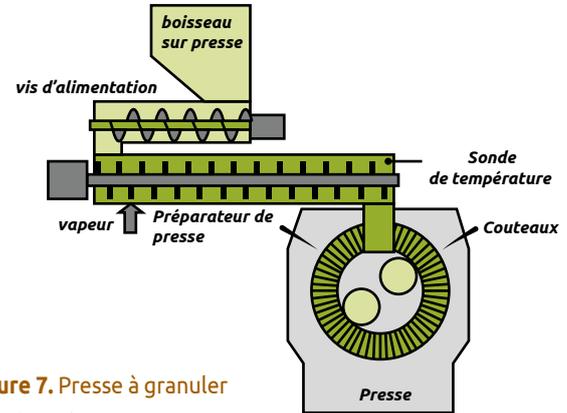
Dans chaque usine, un ou plusieurs broyeurs peuvent être utilisés pour cette opération. L'alimentation de chaque broyeur comprend un boisseau avec à sa base une vis d'extraction qui assure l'alimentation du broyeur. Sa vitesse de rotation définit le débit du broyeur. À l'entrée de la chambre de

broyage, les produits sont expurgés de tous les corps étrangers : les particules métalliques par un aimant (appelé magnétique) et les particules les plus denses (pierres) par un épierreur fonctionnant à l'aide d'un flux d'air. Cette chambre de broyage est délimitée par une grille percée de trous cylindriques (voire en maille carrée), calibrant la taille granulométrique finale souhaitée. Les particules sont pulvérisées par des marteaux mobiles réversibles fixés sur des disques solidaires d'un axe mis en rotation généralement de 800 à 3000 tr/mn. Dans cette chambre des contre marteaux fixes peuvent être présents. Une forte dépression, assurée par un flux d'air important et générée par une aspiration dans la trémie sous broyeur contribue à l'extraction des particules de la chambre de broyage au travers de la grille lorsqu'elles ont atteint la bonne taille. Cette dépression contribue aussi au fonctionnement de l'épierreur. L'air, entraîné avec le produit est ensuite séparé du broyat le plus souvent par filtration dans une batterie de manches installées au plafond de la trémie sous broyeur. Le décolmatage des manches est assuré par un système d'injection séquentiel d'air comprimé à 6-8 bars. Dans sa partie basse, la trémie sous broyeur est pourvue d'un système de transfert (généralement une vis) assurant l'évacuation des produits broyés. Cette évacuation est parachevée par un système d'écluse, qui empêche que l'air capté par le ventilateur ne provienne du circuit aval du broyeur.

## 2.2. Granulation

Le processus de granulation consiste à transformer l'aliment sous forme de farine grossière en aliment sous forme granulaire. Cette transformation physique de l'aliment à de nombreux avantages, comme la densification de l'aliment (d'environ 40%) qui engendre l'augmentation de la capacité de stockage ou la réduction des coûts de transport, la réduction de l'émission de poussières ou la meilleure conservation de l'aliment. L'opération de granulation se caractérise par une ligne comprenant différentes étapes successives (Figure 7):

- *Un stockage dans des « boisseaux » en nombre variable.*
- *Une vis d'extraction pour chaque boisseau qui est également la vis d'alimentation qui gère le débit de granulation.*
- *Un préparateur appelé également malaxeur ou conditionneur, au sein duquel l'aliment est mélangé à la vapeur.*
- *La presse à granuler.*



**Figure 7.** Presse à granuler (Tecaliman).

Elle a cependant quelques inconvénients, comme des investissements lourds (silos, presse, chaudière, sécheur/refroidisseur, ...), des charges énergétiques supplémentaires (électricité et vapeur), ou la variation de la teneur en eau avec incorporation d'eau « libre ». L'alimentation du préparateur, où l'extraction du boisseau, est le plus souvent effectuée par l'intermédiaire d'une vis pilotée par une variation de vitesse. Le débit d'alimentation du préparateur et de la presse à granuler est régulé sur la base d'une consigne d'intensité du moteur de la presse à granuler.

Le préparateur permet le conditionnement de la farine par incorporation en continu de la vapeur. L'injection de la vapeur proche de l'entrée est régulée par une sonde de température placée en sortie, permettant le traitement des aliments entre 40 et 95°C. La quantité de vapeur injectée dans le préparateur influe sur le débit de production et la consommation électrique de la presse à granuler. La granulation est le premier poste consommateur d'énergie d'une unité de production d'aliments du bétail:

- *50 à 60% de l'énergie électrique*
- *80 à 90 % de la consommation de vapeur.*

La farine préparée est amenée après passage sur un magnétique, à l'intérieur d'une couronne métallique perforée de canaux radiants : la filière. Elle est orientée vers la filière à l'aide de déflecteurs et après avoir été comprimé par des rouleaux et extrudé dans les canaux de la filière, le produit ressort à l'extérieur sous forme de cylindres. À la sortie des canaux de la filière, des couteaux fixes assurent le tranchage de ces cylindres, afin de constituer la longueur des granulés. Après la granulation, l'aliment passe gravitairement dans un sécheur/refroidisseur, puis éventuellement un émetteur et un tamiseur. Les fines extraites de l'aliment reviennent sur la presse.

## *2.3. Procédés auxiliaires*

### *2.3.1. Système d'air comprimé*

Cet air est principalement produit à partir de compresseurs mono-étage à vis lubrifiée. Les compresseurs rotatifs à palettes sont aussi utilisés. L'installation de variateur de vitesse sur les compresseurs a tendance à augmenter fortement ces dernières années. Les compresseurs sont le plus souvent installés dans un local spécifique ou à l'intérieur de l'usine. Habituellement, un seul compresseur est suffisant pour répondre aux besoins de l'usine. Typiquement, la gamme de compresseurs utilisés varie de 18 à 75 kW pour des pressions maximales de 7,5 à 10 bars. Le système de séchage de l'air est souvent situé dans le local du compresseur. La technologie la plus commune d'un système de séchage est le sécheur frigorifique. Une autre technologie peut être utilisée: le séchage à adsorption sans chaleur. Dans cette technique, une partie de l'air comprimé séché (provenant de la colonne en service du sécheur) est utilisée pour sécher le déshydratant de la colonne en cours de régénération. Cette consommation représente un prélèvement d'air comprimé séché compris entre 17 à 20 %. Parfois, un sécheur à adsorption par chaleur externe est installé sur les grandes unités de production. En pratique, les usines d'alimentation animale utilisent souvent

un seul sécheur d'air pour alimenter la totalité du réseau de distribution. La plupart des usines ont tendance à avoir une réserve d'air entre le compresseur et le sécheur. Le plus gros consommateur d'air est les fuites d'air dans le réseau d'air comprimé. La consommation électrique spécifique du système d'air comprimé représente une moyenne de 6 à 7 % de la consommation d'électricité d'une usine d'aliments. Cette utilisation ne comprend pas la puissance de la consommation de sécheurs réfrigérés et de sécheurs à chaleur d'adsorption externe. Habituellement, les compresseurs d'air sont arrêtés le week-end (quand l'usine est à l'arrêt).

### 2.3.2. Chaudière

La vapeur est produite dans la majorité des usines par une chaudière à tubes de fumée. Les chaudières sont installées dans une chaufferie incluant, notamment, un système de traitement d'eau, une bache d'alimentation, etc. Généralement, une seule chaudière est nécessaire pour alimenter toute une usine d'aliments. La vapeur est souvent produite à une pression effective de 6 à 10 bars. Le combustible le plus utilisé est le gaz naturel et le GPL (butane ou propane). Pour les plus petites installations, le fioul domestique continue d'être utilisé comme combustible. L'utilisation de fioul lourd et de l'électricité reste

marginale. Les combustibles alternatifs du type biomasse et gaz naturel liquéfié tendent à se développer en nutrition animale. La capacité de la chaudière varie en fonction des besoins en vapeur. Très peu de chaudières utilisées ont une capacité supérieure à 5 tonnes/heure. Dans certaines usines, la chaudière reste sous pression quand la production est à l'arrêt (pour le réchauffage de liquides, etc.). Le taux de purge d'une chaudière varie fortement d'une usine à une autre. Ce taux de purge peut aussi varier dans le temps pour une même chaudière. Les paramètres, influençant le taux de purge, peuvent être:

- *Les caractéristiques de l'eau d'alimentation (qui peut évoluer selon sa provenance)*
- *Le traitement de l'eau,*
- *Le mode de réglage des vannes de purges (manuel, automatique, etc.).*

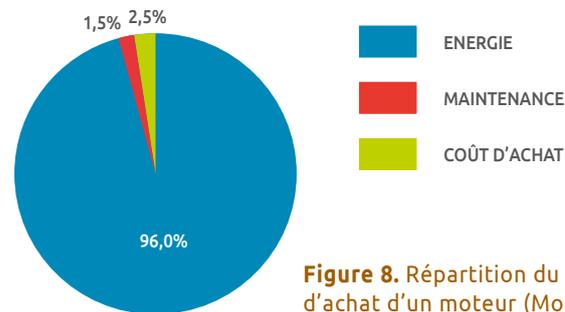
Le taux de retour de condensats vers la bache d'alimentation varie essentiellement selon la nature des utilisateurs de vapeur sur le site et la structure du réseau des condensats. Il est commun de trouver des condensats à basse pression allant directement aux égouts. Si l'utilisation de la vapeur dans l'usine se limite à son injection dans les conditionneurs des presses,

le taux de retour de condensats dans la bache d'alimentation est typiquement compris entre 5 et 20 %. Dans ce cas, la température de l'eau d'alimentation dépassera difficilement les 50 à 60°C. Le taux de retour pourra augmenter si l'usine:

- *réchauffe les liquides par l'intermédiaire d'un échangeur vapeur/eau,*
- *effectue un traitement thermique des farines.*

### 2.3.3. Moteurs électriques

Dans une usine d'aliments, la consommation électrique des moteurs représente plus de 90 % de la consommation électrique globale. La puissance des moteurs varie de quelques kW à plusieurs centaines de kW. À titre indicatif, seulement 5 % de tous les moteurs dans une usine d'aliments consomment plus de 70 % de la consommation électrique globale. Ces 5% correspondent aux moteurs utilisés lors du broyage, de la granulation, du mélange, dans le système de ventilation et dans le système d'air comprimé. Les moteurs exploités sont à induction et certains d'entre eux utilisent un variateur de vitesse. La Figure 8 montre une vision économique de l'achat d'un moteur. La Figure 8 montre que le coût principal provient de la consommation électrique alors que le coût d'achat représente seulement 2,5 %.



**Figure 8.** Répartition du coût d'achat d'un moteur (Motor challenge).

### 2.3.4. Éclairage

Il est très commun d'utiliser des lampes à décharge de gaz, comme le tube fluorescent, celle à vapeur de sodium ou de mercure haute pression, et parfois des lampes halogènes pour éclairer par exemple l'extérieur des bâtiments de production et la fosse de réception des matières premières. Ces appareils peuvent atteindre des puissances unitaires d'environ 400 W dans certains des cas. Certains ont besoin d'équipements auxiliaires (ballasts) qui augmentent leur consommation d'énergie finale. Le développement de nouvelles technologies comme les lampes à LED, peut inciter à étudier le changement des anciens systèmes par des nouveaux utilisant la technologie LED. Cette étude doit évaluer le coût d'investissement et la rentabilité en raison des gains annoncés pouvant atteindre jusqu'à 65%.

### **3. ANALYSE ENERGETIQUE DU SECTEUR DE**

#### **LA NUTRITION ANIMALE**

Dans ce secteur, les sources d'énergies primaires utilisées sont l'électricité et des combustibles (gaz naturel, propane, butane, fioul lourd et fioul domestique). Le gaz naturel est le combustible le plus utilisé pour la production de vapeur.

#### *3.1. Consommation électrique*

En usine, l'électricité est toujours utilisée pour les moteurs des machines (cela concerne approximativement 90 % de la consommation électrique), pour la production d'air comprimé et pour l'éclairage des bâtiments. Dans certaines usines, l'électricité peut être utilisée pour chauffer des liquides contenus dans des cuves de stockage de liquide, et dans de rares cas, pour produire de la vapeur.

**TABLEAU 1. CONSOMMATIONS ELECTRIQUES (FRANCE/ITALIE/ESPAGNE/PORTUGAL)**

	Capacité de production de l'usine considérée	Ratio entre consommation de l'énergie électrique/production	Puissance électrique installée
<b>France</b>	80 kt/an	de 18 à 60 kWh/t d'aliments	Dépend du type d'aliments
<b>Italie</b>	130 kt/an	20 kWh/t d'aliments	450kW
<b>Espagne</b>	44 kt/an	16 kWh/t d'aliments	725 kW
<b>Portugal</b>	81 kt/an	13,8 kWh/t d'aliments	430 kW

Sources: Tecaliman/Company Valmori SR/Projet CO2OP de Cooperativas Agro-alimentarias/Institut National des Statistiques de Portugal.

Le mode de gestion des procédés peut être la cause de périodes de fonctionnement à vide ou des périodes de fonctionnement à charge partielle pour différents moteurs. Ces durées peuvent être plus ou moins longues. Le Tableau 1 indique des valeurs moyennes de consommations électriques en France, en Italie, en Espagne et au Portugal.

En prenant comme exemple 3 usines françaises d'aliments, qui produisent différents aliments (80 kt en moyenne), les valeurs suivantes de consommations électriques peuvent être trouvées (Tableau 2).

<b>TABLEAU 2. EXEMPLES DE DONNEES TYPQUES D'USINES FRANÇAISES SUR LEUR CONSOMMATIONS D'ENERGIE ELECTRIQUE.</b>			
	<b>Usine spécialisée en bovins</b>	<b>Usine spécialisée en volailles</b>	<b>Usines multi-espèces (bovins, volailles et porcs)</b>
<b>Consommations électriques annuelles</b>	3,4 GWh	2,8 GWh	2,3 GWh
<b>Consommation spécifique d'énergie électrique (kWh par tonne dosée)</b>	43 kWh par tonne dosée	37 kWh par tonne dosée	31 kWh par tonne dosée

Sources: Tecaliman

De plus, il est possible de trouver ces distributions typiques de consommation d'énergie électrique par procédé en Italie,

en Espagne et au Portugal (Tableau 3).

<b>TABLEAU 3. DISTRIBUTIONS TYPIQUES DE CONSOMMATIONS D'ENERGIE ELECTRIQUE (ITALIE, ESPAGNE ET PORTUGAL).</b>					
<b>PROCESS (PAR ORDRE SEQUENTIEL)</b>	<b>TECHNOLOGIES COURANTES</b>	<b>Puissance électrique installée (kW)</b>		<b>Consommation électrique (kWh/an)</b>	
		<b>Italie/Espagne</b>	<b>Portugal</b>	<b>Italie/Espagne</b>	<b>Portugal</b>
<b>Réception de matières premières</b>	Trémie de matières premières, convoyeurs, moteurs électriques	55	96	13.000	270.435
<b>Broyage</b>	Broyeur à marteaux horizontal, moteurs électriques	230	113	146.000	397.567
<b>Mélange</b>	Mélangeuse à ruban horizontale, moteurs électriques	240	40	82.000	121.928
<b>Addition de mélasses et de graisses</b>	Mélangeuse horizontale, mélassesur, moteurs électriques	35	3	9.000	10.236
<b>Granulation</b>	Presse à granuler, chaudière vapeur, sécheur / refroidisseur, moteurs électriques	260	180	108.000	276.668
<b>Ensachage</b>	moteurs électriques	40	3	21.000	19.864
<b>Éclairage et autres utilités électriques</b>	Fluorescents	140	5	51.000	16.637
<b>TOTAL</b>		<b>1.000</b>	<b>440</b>	<b>430.000</b>	<b>1.113.427</b>

Sources: Company Valmori SR/Projet CO2OP de Cooperativas Agro-alimentarias/UÉvora

### 3.2. Consommation thermique

La consommation thermique vient principalement de l'étape de granulation et du traitement thermique des farines (par exemple aliment volaille). Le plus gros consommateur d'énergie thermique est la chaudière afin de produire de

la vapeur. Le Tableau 4 indique des valeurs moyennes de consommations thermiques en France, en Italie, en Espagne et au Portugal.

**TABLEAU 4. CONSOMMATIONS THERMIQUES (FRANCE/ITALIE/ESPAGNE/PORTUGAL).**

	Capacité de production de l'usine considérée	Consommation spécifique thermique	Puissance thermique installée
France	80 kt/an	de 20 à 50 kWh/ t d'aliments	de 1. 400 à 2. 050 kW
Italie	130 kt/an	55 kWh/ t d'aliments	de 813 à 1.744 kW
Espagne	44 kt/an	11 kWh/ t d'aliments	de 1. 400 à 2. 000 kW
Portugal	81 kt/an	10,4 kWh/ t d'aliments	220 kW

Sources: Tecaliman/Company Valmori SR/Projet CO2OP de Cooperativas Agro-alimentarias/Institut National des Statistiques de Portugal.

En prenant comme exemple 3 usines françaises d'aliments, qui produisent différents aliments (80 kt en moyenne), les

valeurs suivantes de consommations thermiques peuvent être trouvées (Tableau 5).

**TABLEAU 5. EXEMPLES DE DONNEES TYPQUES D'USINES FRANÇAISES SUR LEUR CONSOMMATIONS D'ENERGIE THERMIQUE.**

	Usine spécialisée en bovins	Usine spécialisée en volailles	Usines multi-espèces (bovins, volailles et porcs)
<b>Consommations électriques annuelles</b>	1,9 GWh PCI	2,4 GWh PCI	1,1 GWh PCI
<b>Consommation spécifique d'énergie thermique (kWh pci* par tonne granulée)</b>	26	41	26

Source: Tecaliman

\* Pouvoir calorifique inférieur

De plus, il est possible de trouver ces distributions typiques de consommation d'énergie thermique par procédé en Italie, en Espagne et au Portugal (Tableau 6).

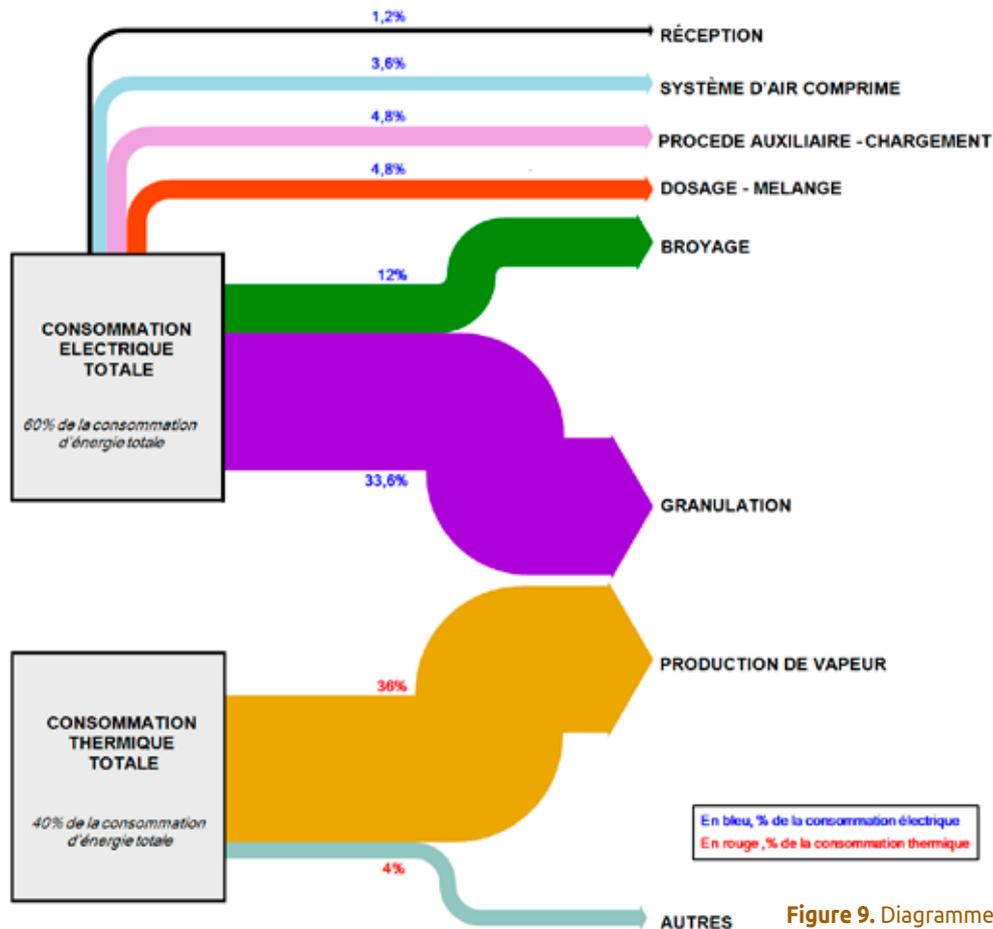
**TABLEAU 6. DISTRIBUTIONS TYPIQUES DE CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE THERMIQUE (ITALIE, ESPAGNE ET PORTUGAL).**

PROCESS (PAR ORDRE SÉQUENTIEL)	TECHNOLOGIES COURANTES	Puissance thermique installée (kw)		Consommation thermique (kWh/year)	
		Italie/Espagne	Portugal	Italie/Espagne	Portugal
<b>Addition de mélasses et de graisses</b>	Mélangeuse horizontale, mélasseur, moteurs électriques	80		20.000	
<b>Granulation</b>	Presse à granuler, chaudière vapeur, sécheur / refroidisseur, moteurs électriques	420		170.000	
<b>Utilités thermiques</b>	chaudière, transport	300	220	110.000	794.640
<b>Équipements auxiliaires</b>	Chariots élévateur				49.659
<b>TOTAL</b>		800	220	300.000	844.299

Sources: Company Valmori SR/Projet CO2OP de Cooperativas Agro-alimentarias/UÉvora.

### 3.3. Balance énergétique

La Figure 9 représente la balance énergétique de la nutrition animale sous forme de diagramme de Sankey.



**Figure 9.** Diagramme de Sankey de la répartition de l'utilisation de l'énergie dans les usines d'aliments françaises.

### 3.4. Coût de l'énergie

Le contexte européen de l'énergie varie selon le pays considéré. De plus, le coût de l'énergie sera différent selon la politique énergétique nationale. Le Tableau 7 indique quelques exemples de coûts dans l'industrie de l'énergie électrique et thermique pour la France, pour l'Italie, pour l'Espagne et pour le Portugal.

**TABLEAU 7. COÛT DE L'ÉNERGIE  
(FRANCE/ITALIE/ESPAGNE/PORTUGAL).**

	Coût de l'énergie électrique (€/MWh)	Coût de l'énergie thermique (€/MWh)
<b>France</b>	de 60 à 110	de 20 à 80
<b>Italie</b>	environ 144	environ 37
<b>Espagne</b>	125	60
<b>Portugal</b>	80	70

Sources: Tecaliman/Company Valmori SR/Projet CO2OP de Cooperativas Agro-alimentarias/Institut National des Statistiques de Portugal.

### 3.5. Particularités du secteur

Les usines du secteur doivent produire des aliments toute l'année afin de nourrir les animaux. Pour les usines spécialisées en aliments ruminants, il est notable que les consommations électrique et thermique sont plus importantes en automne et en hiver. En effet, durant ces périodes les animaux consomment plus d'aliments industriels.

## **4. MESURES D'ECONOMIES D'ENERGIE**

Cette partie a été développée avec l'aide du document de référence des meilleures techniques disponibles (BREF) en efficacité énergétique rédigé par la Commission européenne, et validé en 2009. Une sélection d'actions d'amélioration a été faite afin d'identifier les actions potentielles qui pourraient être utilisées dans le secteur de l'alimentation animale. Les solutions d'améliorations pour économiser de l'énergie sur les procédés de production et les utilités dans les usines d'aliments pour animaux sont nombreuses. L'intérêt de ces solutions doit être évalué au cas par cas pour chaque usine d'aliments. Chaque usine doit être considérée comme un cas spécifique, ce qui signifie qu'il est impossible de généraliser un cas pour toutes les usines d'aliments. Le temps de retour sur investissement peut varier considérablement en fonction des coûts d'investissement, du temps d'exploitation de la machine, de la taille de la machine, du coût de l'énergie, etc.

### *4.1. Système de vapeur*

Plusieurs améliorations peuvent être faites en ce qui concerne la production de vapeur.

### **REDUIRE LE DEBIT MASSIQUE DES GAZ DE COMBUSTION EN REDUISANT L'EXCES D'AIR.**

L'excès d'air peut être minimisé en ajustant le débit d'air au débit de combustible. Pour les grosses chaudières, cette opération est fortement facilitée par la mesure automatisée de la teneur en oxygène des gaz de combustion. L'excès d'air minimum qu'il est possible d'atteindre pour maintenir les émissions à certains seuils dépend du brûleur et de la chaudière. Il doit être vérifié périodiquement pour optimiser la combustion et, le cas échéant, ajuster le brûleur.

**PRÉCHAUFFAGE DE L'EAU D'ALIMENTATION.** L'eau de la bûche d'alimentation, envoyée dans la chaudière, a souvent une température inférieure à 60°C. Il est possible de récupérer de la chaleur perdue afin de préchauffer l'eau d'alimentation, ce qui réduit ainsi les apports en combustibles requis par la chaudière à vapeur. Le préchauffage peut être effectué en utilisant la chaleur perdue comme par exemple celle de la purge des chaudières, celle des retours de condensats, celle de refroidissement des compresseurs d'air comprimé, etc., ou en utilisant des économiseurs et/ou des condenseurs qui sont des échangeurs de chaleur qui réduisent les apports en combustible nécessaires à la chaudière à vapeur en transférant la chaleur émanant des gaz de combustion vers l'eau d'alimentation de la chaudière.

### **MINIMISER LE TAUX DE PURGE DE LA CHAUDIERE.**

Cela peut substantiellement réduire les pertes d'énergie car la température de la purge est directement liée à celle de la vapeur générée dans la chaudière. Cela peut être réalisé en contrôlant régulièrement la qualité de l'eau dans la chaudière afin de réduire le taux total de matières solides dissoutes et en suspension à des limites acceptables ou en améliorant le système de contrôle de purge automatique de l'installation, par exemple par une surveillance de la conductivité de l'eau.

### **MINIMISER LES PERTES DUES AUX CYCLES COURTS DES CHAUDIERES..**

Les pertes pendant les cycles courts se produisent chaque fois qu'une chaudière est coupée pendant une courte période de temps. Les pertes pendant les cycles courts peuvent être amplifiées si les chaudières produisent la quantité de vapeur requise dans une très courte période de temps. C'est ce qui se produit lorsque la capacité installée de la chaudière est nettement supérieure aux besoins réels de l'installation. Il est utile d'examiner la possibilité de remplacer la chaudière ou d'adapter le brûleur de la chaudière.

### **OPTIMISATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION DE VAPEUR.**

Une performance correcte du système de

distribution nécessite une conception soignée et une maintenance efficace. Les canalisations doivent être correctement dimensionnées, fixées, isolées et configurées avec la souplesse adéquate. Le système de distribution doit être configuré pour permettre une purge efficace des condensats, ce qui nécessite un collecteur de condensats correctement conçu et un choix de purgeur de vapeur approprié.

### **MISE EN PLACE D'UN PROGRAMME DE CONTROLE ET DE REPARATION POUR LES PURGEURS DE VAPEUR.**

Les purgeurs de vapeur présentant une fuite perdent des quantités importantes de vapeur, ce qui se traduit par de grosses pertes d'énergie. Une maintenance correcte permet de réduire efficacement ces dernières. La fréquence de vérification des purgeurs de vapeur dépend de la taille du site, du débit vapeur, des pressions de service, du nombre et de la taille des purgeurs, ainsi que de l'âge et de l'état du système et des purgeurs, mais aussi de l'existence d'une maintenance planifiée.

### **COLLECTE ET RETOUR DU CONDENSAT A LA CHAUDIERE POUR REEMPLOI.**

Les condensats sont collectés et renvoyés dans la bache d'alimentation. Cela se traduit par: le réemploi de l'énergie contenue dans le condensat chaud ; des économies

sur le coût de l'eau d'appoint (à l'état brut), des économies sur le coût du traitement de l'eau de la chaudière et la réduction de la quantité d'eau utilisée.

#### *4.2. Ventilation*

La ventilation est principalement utilisée par les broyeurs et les refroidisseurs. Pour avoir un système de ventilation efficace, certains points sont nécessaires:

**VENTILATEURS.** Lors de la conception ou de la modification d'une installation, il est capital de bien dimensionner le ventilateur pour l'installation, de manière à ce qu'il soit le plus efficace possible lors de son fonctionnement.

**RESEAU D'AIR.** La conception d'un réseau d'air doit être conforme à certaines conditions afin d'être performant au plan énergétique. Il est par exemple utile de vérifier l'étanchéité du réseau, notamment au niveau des joints.

**MOTEURS ELECTRIQUES.** (et accouplement avec des ventilateurs): choisir le bon type d'accouplement et la bonne taille du moteur.

**GESTION DU DEBIT D'AIR.** La gestion du débit d'air est un paramètre fondamental lorsqu'il s'agit de la consommation

d'énergie des systèmes de ventilation. Certaines des installations de ventilation ne fonctionnent pas en permanence à leur régime maximal. Il peut donc être important de pouvoir régler la vitesse de fonctionnement du ventilateur.

**ENTRAINEMENTS A VITESSE VARIABLE ELECTRONIQUES.** Ils permettent d'adapter la vitesse de fonctionnement des ventilateurs tout en optimisant la consommation d'énergie du moteur, ce qui engendre des économies importantes d'énergie. Par exemple, pour une réduction du débit de 20 %, la réduction de la consommation électrique du ventilateur est d'environ 50 %.

#### *4.3. Moteurs performants*

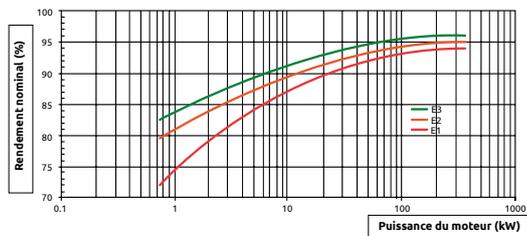
La consommation électrique des moteurs est influencée par plusieurs facteurs. Les points suivants pourront être pris en compte afin d'améliorer l'efficacité des moteurs.

**MOTEURS A RENDEMENT ELEVE.** Les améliorations des moteurs sont particulièrement recommandées dans les usines d'aliments où certains moteurs électriques utilisés ont une puissance installée supérieure à 100 kW (notamment au broyage et à la granulation) et fonctionnent plus de 2000 heures par an. La classification de l'efficacité énergétique des moteurs

électriques est définie par le standard CEI 60034-30. Selon cette classification, 5 niveaux d'efficacité sont possibles:

- IE1: *rendement standard*
- IE2: *haut rendement*
- IE3: *rendement très élevé*
- IE4: *rendement extrêmement élevé*
- IE5: *rendement Ultra Premium (récemment disponible sur le marché)*

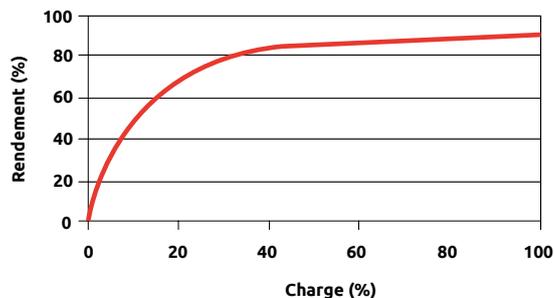
La directive européenne concernant les EuP (Équipements consommateurs d'énergie) a établi des contraintes relatives au design des moteurs, en accord avec les exigences de haute efficacité énergétique du standard IEC 60034-30. Elle établit également que les moteurs mis sur le marché avant le 16 juin 2011 devront au minimum respecter le niveau d'efficacité IE2. Au 1er janvier 2015 les moteurs de 7,5 à 375 kW devront à minima respecter



**Figure 10.** Comparaison des courbes d'efficacité énergétique (CIRCE, 2013).

le niveau IE3. Au 1er janvier 2017 les moteurs de 0,75 à 375 kW devront respecter à minima la norme IE3.

**DIMENSIONNEMENT DES MOTEURS.** Le rendement maximal est obtenu le plus souvent entre 60 et 100 % de la pleine charge. Le rendement des moteurs à induction est habituellement à son maximum vers 75% de la pleine charge et il reste relativement plat jusqu'à 50% de charge. À moins de 40 % de la pleine charge, un moteur électrique ne fonctionne pas dans des conditions optimisées et le rendement chute très rapidement. Les moteurs de grandes puissances peuvent fonctionner avec un rendement « raisonnablement » élevé à des charges de moins de 30% de la puissance nominale. Le rendement d'un moteur électrique selon sa charge est présenté par la Figure 11.



**Figure 11:** Rendement d'un moteur électrique en fonction de la charge.

**CONTROLES DU MOTEUR.** L'objectif est de limiter au minimum le fonctionnement des moteurs en sous régime (charge à vide) par exemple à l'aide de capteurs de présence matière, d'une temporisation, etc. Donc, le moyen de contribuer à l'efficacité énergétique est d'envoyer un ordre d'arrêt des moteurs quand il n'y en a plus besoin. L'ajustement de la vitesse du moteur, par l'utilisation d'entraînements à vitesse variable (EVV) peut potentiellement conduire à des économies d'énergie significatives ainsi qu'à un meilleur contrôle des procédés, une conduite plus souple des équipements mécaniques. Quand la charge varie, les EVV peuvent contribuer à la réduction de la consommation d'énergie électrique, notamment pour les pompes centrifuges, les compresseurs et les ventilateurs. L'utilisation des EVV sur les applications de transformation des matières, comme les broyeurs, et éventuellement les machines de manutention, comme les convoyeurs, peut contribuer également à l'amélioration de leurs performances globale et de leurs consommations énergétiques. Les équipements de transmission, notamment les arbres, les courroies, les chaînes et les engrenages doivent être installés et entretenus correctement. Le système de transmission entre le moteur et la charge est une source de pertes. Ces pertes peuvent varier considérablement, de 0 à 45 %. Un accouplement direct est toujours une option intéressante (lorsque cela est réalisable techniquement).

#### *4.4. Système d'air comprimé (SAC)*

Presque tous les secteurs industriels utilisent de l'air comprimé avec des objectifs différents d'utilisation. L'efficacité énergétique du système d'air comprimé peut être potentiellement améliorée par les mesures suivantes.

**CONCEPTION DU SYSTEME.** De nos jours, de nombreux systèmes d'air comprimé existants auraient besoin d'une mise à jour de leur conception globale. L'installation de compresseurs supplémentaires et la mise en œuvre de diverses applications à différents stades de la durée de vie de l'installation, sans que soit repensé parallèlement le système d'origine dans son ensemble, se traduit souvent par des performances dégradés du SAC. La pression est un paramètre fondamental d'un SAC qui doit répondre, approximativement, à 95 % de tous les besoins. Il est alors souhaitable d'installer un petit dispositif d'augmentation de pression pour le reste des utilisateurs. Un système correctement conçu devrait avoir au point d'utilisation une perte de pression inférieure à 10 % de la pression de sortie du compresseur. Le dimensionnement des canalisations et l'emplacement des compresseurs constituent un autre paramètre important.

**ENTRAÎNEMENT A VITESSE VARIABLE (EEV) ET VOLUME DE STOCKAGE.** Lorsque les besoins en air du procédé fluctuent, selon les heures de la journée et selon les jours de la semaine, l'EEV et le volume de stockage peuvent contribuer à réduire l'énergie demandée par le SAC. Les économies peuvent atteindre 30 %, bien que les gains moyens, lorsqu'un compresseur d'air équipé d'un EEV est installé, soient d'environ 15 %. Les EEV sur les compresseurs, apportent également quelques avantages supplémentaires : une pression stable, des facteurs de puissance beaucoup plus élevés par rapport à des entraînements classiques, ce qui donne une puissance réactive faible; un démarrage progressif à faible vitesse prolongeant la durée de vie du compresseur. Un volume de stockage permet de réduire les fluctuations et de répondre aux demandes de pointe sur un temps très court.

**REDUCTION DES FUITES DES SYSTEMES D'AIR COMPRIME.** La réduction des fuites des systèmes d'air comprimé (SAC) est de loin le plus grand gisement d'économies d'énergie. Une fuite est directement proportionnelle à la pression du système. Les fuites sont présentes dans tous les systèmes d'air comprimé, 24 heures sur 24, et non pas seulement pendant la production. Le pourcentage de perte de capacité du compresseur dû aux fuites peut être inférieur à 15 % pour

une installation bien entretenue et supérieur à 25 % pour une installation mal entretenue. Les programmes de maintenance des systèmes d'air comprimé doivent comprendre des mesures périodiques de détection et d'évaluation du taux de fuites. Une manière supplémentaire de réduire des fuites consiste à abaisser la pression de service du système. Avec une pression plus faible sur une fuite, le débit de la fuite est réduit.

**ALIMENTATION DES COMPRESSEURS AVEC DE L'AIR FRAIS EXTERIEUR.** Pour des raisons thermodynamiques, la compression de l'air chaud nécessite davantage d'énergie que la compression de l'air froid. Cette énergie peut tout simplement être économisée en alimentant la station d'air comprimé avec de l'air extérieur. Il est possible d'installer un conduit raccordant l'extérieur à l'entrée du compresseur, ou à toute la station d'air comprimé. L'admission extérieure doit être placée du côté nord, ou du moins être à l'ombre la plupart du temps.

**OPTIMISATION DU NIVEAU DE PRESSION.** Plus le niveau de pression de l'air comprimé généré est bas, meilleur est le rapport coût-efficacité de la production. Toutefois, il est nécessaire de garantir à tous les consommateurs qu'ils disposent à tout moment d'une pression suffisante d'air comprimé. Il est possible d'ajuster la plage de pression d'un compresseur à l'aide de pressostats mécani-

ques. Cette plage de pression peut être également ajustée au moyen d'un compresseur à convertisseur de fréquence fonctionnant comme un compresseur à pleine charge et en adaptant sa vitesse (donc son débit) aux besoins spécifiques en air comprimé.

#### *4.5. Entraînement à vitesse variable (EVV)*

L'entraînement à vitesse variable peut être installé sur des applications fonctionnant à charge variable ou à vitesse variable, par exemple en alimentation animale : les ventilateurs, le broyeur à marteaux, le compresseur du SAC, etc. En l'utilisant, la consommation énergétique des moteurs peut-être abaissée en adaptant au plus juste leur charge ou leur vitesse aux besoins réels de l'application. Dans ce cas, les EEV, appelés aussi variateur de vitesses, contrôlent la vitesse de rotation des moteurs des pompes, des ventilateurs, des broyeurs ou d'autres machines. Ces variateurs fonctionnent en convertissant des paramètres d'entrée de constantes électriques (volt, fréquence) en valeurs variables. Ce changement de fréquence provoque un changement dans la vitesse du moteur et aussi dans le couple. Cela signifie que la vitesse du moteur peut-être régulée selon des paramètres externes comme par exemple une température, un débit, etc. Le contrôle de la vitesse peut être très important dans l'efficacité énergétique de certaines applications. Les économies d'énergie dépendent de la puissance du moteur, de la nature de la charge,

du profil et du temps annuel de fonctionnement du moteur. Par exemple, dans certains cas, le fonctionnement des ventilateurs avec ou sans variateur de vitesse peut engendrer une différence de consommation énergétique de plus de 30 %.

#### *4.6. Isolation*

Dans plusieurs secteurs industriels concernés par le programme TESLA, il est possible de récupérer de la chaleur au niveau des process ou des utilités, par exemple, au niveau des chaufferies. Les caractéristiques et les conditions d'entretien des matériaux d'isolation sont très importantes pour éviter les pertes thermiques et les problèmes de condensation. Ainsi, les matériaux d'isolation doivent suivre plusieurs recommandations comme par exemple : être protégé contre les rayons UVA, être sec (attention aux fuites qui affectent la capacité d'isolation des matériaux isolants), être flexible et facile à installer, et avoir une faible conductivité thermique (0,04 W/m °C ou moins). La gamme de températures de travail commun pour les matériaux isolants est comprise entre -50°C et 110°C.

**ISOLATION DES CANALISATIONS.** Les économies potentielles réalisées dépendent notamment : du diamètre de la conduite et de la longueur (donc de la taille de la surface isolée), de la différence de température, de la résistance thermique

matériau isolant et de l'épaisseur du matériau isolant. Prenons comme exemple deux canalisations qui transportent un fluide chaud, l'une isolée et l'autre non isolée. Dans les deux cas, la température du fluide est de 60°C, la température de l'air est de 15°C, la longueur du tuyau est de 100 m, le diamètre de la conduite est de 150 mm, et le matériau d'isolation est en polyuréthane de 31 mm d'épaisseur et une conductivité thermique de 0,04 W/m °C. La comparaison entre les pertes de chaleur de ces deux canalisations montre que les pertes d'énergie de la canalisation isolée seront réduites de 85%. Cela signifie qu'une grande quantité d'énergie peut être économisée simplement en isolant thermiquement les canalisations.

**ISOLATION DES POINTS SINGULIERS.** Les brides, les vannes et les autres accessoires ne sont généralement pas bien isolés. Il est possible d'installer pour ce type de surface à isoler des matelas isolants amovibles et réutilisables. Prenons comme exemple, une température de fonctionnement de 150°C, une température ambiante de 20°C, et une taille de vanne de 150 mm, les économies approximatives d'énergie par l'installation de matelas isolants et amovibles peuvent aller jusqu'à 970W (BREF 2009). En règle générale, toute surface qui atteint des températures de plus de 50°C, pour laquelle il existe un risque de contact humain, doit être isolée afin de protéger le personnel.

#### 4.7. Récupération de chaleur

Dans ce guide, 3 techniques de récupération de chaleur sont développées.

**SOLAIRE THERMIQUE POUR CHAUFFER L'EAU.** Les capteurs solaires hautes performances sont équipés d'un verre spécial avec un transfert d'énergie supérieur à 92%. L'absorbeur peut être fabriqué en cuivre avec un traitement sélectif (par exemple, le TINOX). Pour exemple, certains de ces capteurs solaires présentent les caractéristiques techniques suivantes : résistance thermique de 250°C, rendement optique de 75% et coefficient de pertes thermiques de 2,9 W/m<sup>2</sup> °C. Les économies potentielles dépendront du taux

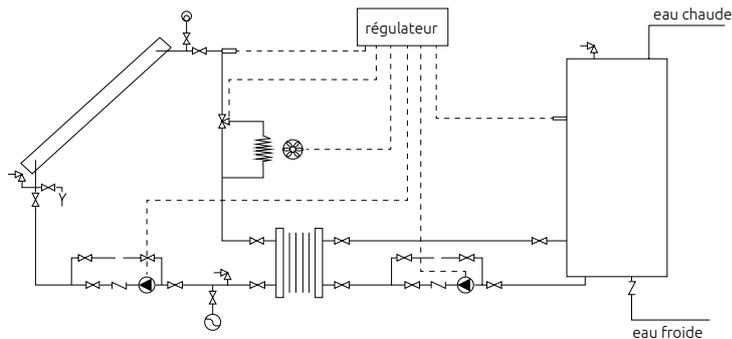


Figure 12. Schéma d'un système solaire thermique IMS (CPC solar).

d'ensoleillement. Les économies attendues sont autour de 50 à 70% selon les conditions météorologiques et la demande en énergie. Dans le cas des chaudières, cela signifie que cette technique pourrait permettre des gains d'énergie pour chauffer l'eau, et donc moins de combustible serait consommé ce qui induirait une baisse du CO<sub>2</sub> émis. Le solaire thermique devrait être plus applicable dans les pays du Sud (Espagne, Italie et Portugal).

### **RECUPERATION DE CHALEUR DES COMPRESSEURS**

**D'AIR.** La majeure partie de l'énergie électrique utilisée par un compresseur d'air industriel est convertie en chaleur et doit être évacuée vers l'extérieur. Dans de nombreux cas, un module de récupération de chaleur correctement conçu récupère un pourcentage élevé de cette énergie thermique disponible et permet d'en faire bon usage en chauffant de l'air ou de l'eau lorsqu'il existe une demande. Il existe deux systèmes de récupération différents:

- Chauffage de l'air : la récupération de chaleur peut être utilisée pour différentes applications nécessitant de l'air chaud. L'air atmosphérique ambiant se réchauffe en traversant le compresseur afin de le refroidir. Les seules modifications nécessaires au système sont l'addition de gaines en aval du compresseur et éventuellement un ventilateur destiné à vaincre la perte de charge dans la gaine et éliminer toute

contre-pression sur le ventilateur de refroidissement du compresseur. Ce système de récupération de chaleur peut être modulé avec une commande thermostatique simple pilotant l'ouverture d'un volet. L'air chaud peut être utilisé par exemple pour chauffer l'air ambiant d'un local.

- Chauffage de l'eau : dans les compresseurs refroidis par air ou par eau, il est possible de produire de l'eau chaude en installant un échangeur de chaleur sur le circuit d'huile du compresseur pour récupérer la chaleur disponible. En fonction du modèle, les échangeurs de chaleur peuvent produire de l'eau potable ou non potable. Lorsqu'il n'existe pas de demande d'eau chaude, l'huile du compresseur est refroidie par l'intermédiaire du système de refroidissement standard. L'eau chaude peut être utilisée dans l'industrie des aliments pour animaux pour la production de vapeur ou pour n'importe quelle autre application où l'eau chaude est requise.

Pour la plupart des compresseurs sur le marché, il existe en option des systèmes de récupération de chaleur, soit intégrés dans le bloc compresseur, soit sous forme de solution externe. Une unité de récupération de chaleur correctement conçue récupère approximativement 50 à 90 % de cette énergie thermique disponible.

## **RECUPERATION DE CHALEUR PAR DES ECONOMISEURS OU DES CONDENSEURS.**

L'installation d'un système de récupération de chaleur dans les chaudières permet la récupération de la chaleur disponible au niveau des fumées de combustion. Dans les chaudières, beaucoup de chaleur est perdue par les fumées donc par récupération de cette chaleur, une partie de la consommation de combustion pourrait être réduite. Un économiseur est un échangeur de chaleur, installé dans le conduit d'évacuation des fumées, qui permet de transférer une partie de la chaleur contenue dans les fumées à l'eau d'alimentation de la chaudière ou à un autre besoin thermique. L'installation d'un économiseur en sortie de chaudière permet de faire une économie d'énergie pouvant aller jusqu'à environ 5% (la diminution de la température des fumées ne peut pas dépasser une limite, car elle entraînerait des risques de corrosion dans l'échangeur de chaleur et dans le conduit d'évacuation des fumées). Le condenseur permet la récupération de l'énergie contenue dans les fumées de combustion par condensation d'une partie de la vapeur d'eau. La quantité d'énergie récupérable dépend notamment de la diminution de la température des fumées de combustion. Dans les cas réels, l'installation de condenseur en sortie de chaudière permet d'atteindre une économie d'énergie d'environ 5 à 10%.

## *4.8. Batteries de condensateur pour diminuer l'énergie réactive*

De nombreux appareils différents, tels que des moteurs ou des lampes à décharge, nécessitant un champ électromagnétique pour fonctionner génèrent de l'énergie réactive. Comme tous les moteurs ne fonctionnent pas à charge nominale, il provoque une consommation d'énergie réactive qui doit être payée dans la facture d'électricité. Cette consommation d'énergie réactive peut être limitée en utilisant des batteries de condensateur. Les batteries de condensateurs existent pour différentes puissances (gamme pouvant aller par exemple de 7,5 kVAr à 1 120 kVAr, et sont souvent implantées à côté des transformateurs des installations. La compensation du facteur de puissance s'applique essentiellement aux parcs de moteurs de l'installation. Ceci est plus une mesure d'économie financière qu'une mesure d'économie d'énergie, même si cet équipement profite au réseau électrique grâce à l'augmentation de la capacité de transmission d'énergie obtenue pour le réseau électrique.

## *4.9. Eclairage*

Certains secteurs industriels concernés par le programme TESLA peuvent avoir besoin d'une grande quantité d'éclairages à l'intérieur de leurs bâtiments. Actuellement, il existe une grande variété de lampes, principalement à décharge de gaz (fluorescents, sodium

**TABLEAU 8. ÉCONOMIES D'ÉNERGIES OBTENUES.**

CONDITIONS ACTUELLES	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	RÉDUCTION DE PUISSANCE
2x18W tube fluorescent (puissance totale installée 42W avec un ballast électromagnétique)	LED18S (19W)	54%
2x58W tube fluorescent (puissance totale installée 136W avec un ballast électromagnétique)	LED60S (57W)	58%
250W Lampe à vapeur de mercure (puissance totale installée 268 W avec des appareils auxiliaires)	BY120P (110 W)	58%
400W Lampe à vapeur de mercure (puissance totale installée 428 W avec des appareils auxiliaires)	BY121P (210 W)	51%

Source: Philips.

haute pression ou vapeur de mercure) ou halogène. Il peut être étudié le remplacement de certains de ces dispositifs par des nouveaux utilisant les nouvelles technologies de LED. Les LED ont une longue durée de vie (plus de 50 000 heures), nécessitent moins de maintenance, ont un indice de couleur de 80%, ont une température de couleur de 4 000 K, et permettent potentiellement d'économiser jusqu'à 75% d'énergie (par rapport aux lampes à décharge de gaz ou halogène). Le flux lumineux est de 10 000 lm (pour 110 W) et 20 000 lm (pour 210 W). En outre, le remplacement des lampes est facilité grâce à la conception de LED. Le tableau 8 montre les économies d'énergie en considérant notamment la substitution des lampes fluorescentes par des diodes électroluminescentes.

#### 4.10. Transformateurs de puissance haute performance

Toutes les installations industrielles ont un transformateur de puissance pour convertir l'électricité qui vient du réseau. Cependant, dans les anciennes installations, les transformateurs peuvent être relativement âgés. Le plus souvent ils utilisent de l'huile et leur efficacité n'est pas aussi élevée que possible. Plus le transformateur est ancien, plus ses pertes énergétiques pourront être élevées. La mise en place de transformateurs haute performance présente des avantages essentiellement dans les usines ayant beaucoup d'heures annuelles de fonctionnement, comme les usines d'aliments pour animaux ou les usines de transformation de fruits et légumes. L'étude de la mise en

place d'un transformateur haute performance est judicieuse principalement lors d'un remplacement (suite à une panne par exemple). Les transformateurs secs pourraient selon les modèles réduire les pertes du transformateur jusqu'à 70%, seraient plus sûrs et limités en entretien, avec une excellente capacité à supporter la surcharge et une excellente résistance aux courts-circuits. Son coût reste plus élevé qu'un transformateur à huile.

#### 4.11. Outils de management

Certaines voies d'amélioration peuvent être considérées pour économiser de l'énergie. Ces voies ne sont pas seulement d'ordre technique au sens premier du terme, mais elles concernent certaines méthodes de gestion: la gestion de la qualité des produits, la gestion de l'énergie, la gestion de la production et le dimensionnement des appareils. Pour la qualité du produit, les facteurs affectant la qualité, peuvent inclure des températures de conditionnement, des flux de vapeur, des temps de séchage, la dureté et la durabilité des granulés, la distribution de la taille des particules de la farine. Une meilleure compréhension des besoins et des exigences des clients pourrait permettre d'améliorer l'efficacité énergétique sans altérer la satisfaction des clients. Une solution de management est la mise en place, par exemple, d'un système de management de l'énergie (ISO 50 001). Ce secteur pourrait améliorer ses méthodes de supervision et d'analyse

et de l'information sur l'efficacité énergétique afin de mieux identifier les pertes évitables en matière d'énergie. Une autre solution managériale est l'ordonnancement de la production. Notamment grâce à un diagramme des temps, il est possible d'optimiser le temps de production. En fait, si le temps de marche à vide (fonctionnement sans produit) est le plus faible possible, le rendement de chaque procédé est amélioré. En optimisant le volume de production de l'usine d'aliments pour animaux, des économies d'énergie sont potentiellement réalisables. La maintenance de toutes les usines et de leurs équipements est essentielle. Il est important d'avoir un programme de maintenance et d'enregistrer toutes les inspections et activités de maintenance. Par exemple, la maintenance est importante notamment:

- *Pour s'assurer que les purgeurs fonctionnent correctement,*
- *Que l'isolation est installée et entretenue,*
- *Que les fuites sont détectées et réparées, etc.*



**Figure 14.**  
Panneau de contrôle.

## **5. CONCLUSIONS**

Chaque pays possède des caractéristiques typiques de production. Les mesures d'économie d'énergie peuvent être différentes selon les pays (prix de l'énergie, réglementation, etc.). Par ailleurs, pour un même pays, chaque usine d'aliments doit être considérée comme un cas unique, car les économies d'énergie possibles pour une usine d'aliments pourraient ne pas être possibles pour une autre usine d'aliments. Afin d'améliorer son efficacité énergétique, une usine d'aliments peut mettre en place des techniques décrites dans les BREFs. À l'heure actuelle, il existe plus de 30 BREFs dont un dédié à l'efficacité énergétique. Ce document propose différentes techniques potentiellement applicables en nutrition animale. Ces techniques peuvent être aussi des outils de management (management de l'énergie, etc.). Mais avant de les mettre en place, il est nécessaire d'observer les pratiques et d'avoir un nombre important de données afin d'évaluer le plus précisément possible les potentialités d'économies d'énergie et leur impact sur la gestion de l'efficacité énergétique d'une usine d'aliments. L'efficacité énergétique nécessite ainsi un process bien dimensionné (puissance des moteurs,

design du système d'air comprimé, etc.). Pour conclure, il est nécessaire d'optimiser la consommation d'énergie afin de réduire les coûts énergétiques. En connaissant les paramètres ayant un impact sur le coût énergétique des usines, il est possible de réduire le nombre de points critiques et d'appliquer des actions adéquates d'amélioration. Selon le type d'énergie utilisée (électrique ou thermique), la nature des actions d'amélioration pourra être similaire (régulation adéquate, bon dimensionnement des installations, etc.) ou plus spécifique (par exemple, isolation des procédés thermiques). Pour finir, une maintenance fréquente et adéquate des équipements est un bon moyen d'économiser de l'énergie.

## **6. REFERENCES**

- Tecaliman, Centre technique de l'alimentation animale, <http://www.tecaliman.com/>
- SNIA, Syndicat national des industries agroalimentaires, <http://www.nutritionanimale.org/>
- Coopdefrance, <http://www.coopdefrance.coop/fr/index.html>
- Fefac, European Feed Manufacturers' Federation, <http://www.fefac.eu/>
- Istat, Italian National Institute of Statistics, <http://www.istat.it/en/>
- DGAV. 2013. Lista dos Industriais do Setor dos Alimentos para Animais Registados/AprovadosaoAbrigo do REG(CE) Nº 183/2005. Direcção Geral de Alimentação e Veterinária. Available at <http://www.dgv.min-agricultura.pt>
- IACA. 2012. Anuário 2012. Associação Portuguesa dos Industriais de Alimentos Compostos para Animais. 145 pp. Available at <http://www.iaca.pt/>
- BREF 2009. Energy Efficiency, EUROPEAN COMMISSION, 430pp .2009

**tesla**

Transferring  
Energy Save  
Laid on Agroindustry



[www.teslaproject.org](http://www.teslaproject.org)  
[tesla@agro-alimentarias.coop](mailto:tesla@agro-alimentarias.coop)



Co-financé par le programme Intelligent Energy Europe  
de l'Union Européenne