



tesla

Transferring
Energy Save
Laid on Agroindustry

MANUEL

*d'Efficacité Énergétique des
usines de transformation de
Fruits et Légumes*

IEE/12/758/SI2.644752

***Rédacteur principal:** ENEA (Agenzia
Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia
e lo Sviluppo Economico Sostenibile)*



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

Dernière version:

Mai 2014

Auteurs:

Arianna Latini, Corinna Viola, Matteo Scoccianti
et Carlo Alberto Campiotti.

ENEA, Agence Italienne pour les Nouvelles
Technologies, L'Energie et le Développement
durable.

UTEA-AGR, Unité Technique de l'Efficacité
Énergétique en Agriculture.

Co-auteurs:

Ce document a été réalisé conjointement avec
CIRCE, UÉvora, Tecaliman et UPM et contient
des informations provenant de Spanish Co-ops,
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 (∞) that is partially overlapping the top of the letter 'a'.

Transferring
Energy Save
Laid on Agroindustry

0. Tables des matières

1. Introduction

1.1. Analyse du secteur des Fruits et Légumes	4
1.1.1. Production	5
1.2. Point de vue socio-économique	6
1.2.1. Chiffre d'affaires	8
1.2.2. Nombre total d'usines de transformation de fruits et légumes et Nombre de coopératives	8
1.2.3. Nombre de salariés	10

2. Description des procedes

2.1. Réception	12
2.2. Lavage et séchage	13
2.3. Tri et calibrage	13
2.4. Conditionnement	15
2.5. Conservation au froid	15

3. Analyse énergétique du secteur des Fruits et legumes

3.1. Consommation électrique	17
3.2. Consommation thermique	20
3.3. Balance énergétique (diagramme de Sankey)	20
3.4. Coût de l'énergie	22

4. Mesures d'economies d'energie

4.1. Efficacité énergétique des systèmes de refroidissement	23
4.2. Amélioration de l'isolation des chambres froides	24
4.3. Moteurs performants	25
4.4. Système d'air comprimé (SAC)	27
4.5. Entraînement à vitesse variable	28
4.6. Isolation	29
4.7. Récupération de chaleur	30
4.8. Batteries de condensateur pour diminuer l'énergie réactive	32
4.9. Eclairage	32
4.10. Transformateurs de puissance haute performance	33
4.11. Outils de management	33

5. Conclusions

6. References et sources

1. INTRODUCTION

L'objectif principal du projet TESLA est de partager les Meilleures Techniques Disponibles (MTD) pour l'évaluation de la situation énergétique et la mise en place de mesures d'amélioration parmi les petites et moyennes entreprises européennes (PME) du secteur agro-alimentaire.

L'ensemble du système agro-alimentaire englobe trois composantes étroitement liées: l'agriculture, l'industrie agro-alimentaire et de la distribution (commerce de détail). Plus particulièrement, le projet TESLA met l'accent sur l'élément central caractérisant les entreprises de transformation, qui utilisent des produits agricoles (production primaire) pour approvisionner l'industrie alimentaire qui, elle, produit des aliments et des boissons (industrie de transformation).

Ce manuel est dédié aux usines de transformation des fruits et légumes, représentées par les PME qui traitent les produits primaires frais, de la réception du produit après la récolte jusqu'à leur stockage, et avant le lancement sur le marché.

1.1. Analyse du secteur des Fruits et Légumes

Ainsi, ce manuel se concentre sur les produits frais (1ère gamme). De plus, les procédés liés aux produits frais traités hygiéniquement de la 4e gamme sont aussi brièvement développés. Les 2e et 3e gammes ne sont mentionnées que pour souligner certaines questions intéressantes relatives à l'efficacité énergétique.

- **La 1ère gamme:** les fruits et légumes pour la vente directe sur le marché.

- **La 2e gamme:** conserves de fruits et légumes stérilisés par des procédés thermiques, séchés ou transformés par un ensemble de procédés.

- **La 3e gamme:** les produits réfrigérés.

- **La 4e gamme:** les produits frais traités hygiéniquement et prêts à la consommation, ils peuvent être conservés pendant une courte période en atmosphère protectrice.

- **La 5e gamme:** les produits doucement cuits et prêts à la consommation, ils peuvent être conservés pendant plusieurs semaines dans des conditions contrôlées.

Comme schéma général de ce secteur, la production de fruits et légumes, après la récolte, doit être transportée dès

que possible dans les zones de stockage. À la réception, des contrôles simples et une évaluation de l'état sanitaire sont effectués. Ces contrôles sont généralement faits dans des laboratoires internes à l'entreprise avec des équipements spécifiques afin d'analyser les différents produits (fruits et légumes) (par exemple : indice réfractométrique (tomate, fruits, etc), poids spécifique (pommes de terre, petits pois, etc), la consistance, tests d'ébullition, etc. La matière première est ensuite lavée avec de l'eau contenant des détergents et autres désinfectants pour enlever la terre, les micro-organismes, les fongicides, les insecticides et autres pesticides. Ensuite, les matières premières sont triées pour éliminer les fruits et légumes non standards et sélectionnées en fonction de leur qualité (variété, dimensions, maturité, etc.). Ensuite, les produits frais peuvent être conditionnés dans des boîtes et / ou sous films, pour être vendus en vrac ou dans des emballages plus petits pour les familles. Après le conditionnement, l'étape la plus importante avant la livraison et la commercialisation est le stockage du produit.

1.1.1. Production

Dans l'UE, il existe de grandes variétés régionales de fruits et légumes cultivés. Cette production de l'UE est caractérisée par des fluctuations rapides et importantes de l'offre et de la demande des produits qui sont, dans l'ensemble, rapidement périssables. La politique de l'UE encourage les producteurs à améliorer aussi bien la qualité de leur produit que le marketing. Environ 15% de la valeur de production de l'agriculture primaire de l'UE proviennent des fruits et légumes, qui fournissent alors une gamme de produits frais transformés en terme de qualité et de variété (Commission européenne, Direction générale de l'agriculture).

EN ITALIE En 2012, la production italienne de fruits et légumes frais atteint plus de 19 M tonnes, avec une baisse moyenne de 11% par rapport à 2011 (ISTAT). Selon les CSO (Central Statistical Organisation), en 2012, la récolte totale correspond à 6,3 M tonnes de fruits frais (plus de 3,6 M tonnes d'agrumes), à 7,5 M tonnes de légumes frais (à l'exception des 4,7 M tonnes de tomates pour l'industrie, ne faisant pas partie des 19 M tonnes), à 973 000 tonnes de salades (laitue, endives et radis), à 312 000 tonnes de choux (choux, choux frisés, choux de Bruxelles et autres), et ainsi de suite.

EN ESPAGNE Les données du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement (MAGRAMA) montrent qu'en 2013, la production espagnole de fruits et légumes a atteint 18 M tonnes, dont environ deux tiers sont exportés et le tiers restant est pour la consommation espagnole. Plus de 800.000 hectares sont consacrés aux produits frais (151 000 pour les légumes, 56 000 pour les pommes de terre, 312 000 pour les agrumes et 280 000 pour les fruits (sauf les agrumes).

EN FRANCE Avec près de 530 000 hectares dédiés aux fruits et légumes (y compris les pommes de terre), la France est le 3ème producteur d'Europe, le premier producteur de fruits et légumes, avec 5,4 M tonnes de légumes frais et 3 M tonnes de fruits frais toute l'année (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013). En outre, il est le premier fabricant européen de conserves et la deuxième de légumes surgelés (FranceAgriMer).

AU PORTUGAL La production de fruits et légumes a augmenté au cours des dernières années, occupant une superficie de 33 370 ha (+8,5% par rapport à 2011). La production de tomates fraîches a eu la plus forte augmentation avec 96 M tonnes, suivie par les carottes avec 76 M tonnes et les choux avec 75 M tonnes. La production en serre représente 16,9% de la production totale de légumes (INE, 2013).

1.2. Point de vue socio-économique

La transformation de Fruits et Légumes est un secteur important de l'industrie agro-alimentaire en termes de chiffre d'affaires, de valeur ajoutée, d'emploi et du nombre d'entreprises (FoodDrinkEurope industrie agro-alimentaire européenne 2012 - données et tendances, suivant le lien www.federalimentare.it/m_banche_dati.asp).

En 2011, le chiffre d'affaires du secteur des fruits et légumes était d'environ 61 milliards d'€ (6 % du chiffre d'affaires total de l'industrie agro-alimentaire, celui-ci étant d'environ 1 017 milliard d'€) et employait près de 255 000 personnes (6 % de l'ensemble 4,25 millions de personnes impliquées dans tous les secteurs de l'industrie agro-alimentaire).

Environ 11 320 des 287 000 entreprises alimentaires enregistrées en Europe en 2010 sont des usines de transformation de fruits et légumes et plus de 99% d'entre elles sont des petites et moyennes entreprises (PME). Ces PME génèrent près de la moitié du chiffre d'affaires de l'industrie agro-alimentaire et de l'emploi sur les 61% de main-d'œuvre (Sources: Eurostat, Comtrade des Nations Unies, de l'OCDE).

TABLEAU 1. CARACTERISTIQUES SOCIOECONOMIQUES DES USINES DE TRANSFORMATION DE FRUITS ET LEGUMES DANS LES 4 PAYS CONCERNES PAR TESLA.

USINES DE TRANSFORMATION DE FRUITS ET LEGUMES	ITALIE	ESPAGNE	FRANCE	PORTUGAL
Production (tonnes/an)	19.000.000	18.000.000	8.400.000	807.938
Nombre total d'usines de transformation de fruits et légumes	1.856	3.407	1.802	247
Nombre de coopératives	1.273	1.034	300	60
Chiffre d'affaires (M€)	7.800	6.300	7.583	655
Nombre de salariés	28.658	53.152	35.000	3.818

Sources: Osservatorio sulla Cooperazione Agricola Italiana 2011/Prometeia 2011 for Italy; Feria Internacional del Sector de Frutas y hortalizas 2013/Observatorio Socioeconómico del Cooperativismo Español 2013 (datos 2012) (Cooperativas Agro-alimentarias)/FIAB 2008/MARM 2009 for Spain; Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt 2013/CoopdeFrance 2009 for France; GPP 2013/Confagri 2013 for Portugal.

Récemment, en Europe, une augmentation des exportations (11%) ainsi que des importations (14%) a été enregistrée pour les fruits et légumes (données à l'export: de 3 919 M € en 2010 à 4 363 M € en 2011. Données à l'import en 2011 à partir de 6 655 M € en 2010 à 7 565 M € en 2011. Source : base de données COMEXT Eurostat).

Le Tableau 1. illustre certaines données socio-économiques des quatre pays européens impliqués dans le projet TESLA (Italie, Espagne, France et Portugal). Chaque caractéristique sera alors discutée et analysée selon les usines de transformation de fruits et légumes de chaque pays participant.

1.2.1. Chiffre d'affaires

EN ITALIE Les PME italiennes de ce secteur agro-alimentaire produisent un chiffre d'affaires total de 35 052 M €. 22% du chiffre d'affaires, (correspondant à 7 800 M €), proviennent des entreprises opérant dans le secteur des fruits et légumes.

EN ESPAGNE Selon les données FIAB, en 2008, le secteur agro-alimentaire présente un chiffre d'affaires absolu de 7 438 M € en légumes, de 7 209 M € dans les fruits (y compris les agrumes), et de 551 M € dans les pommes de terre. La valeur du chiffre d'affaires des fruits et légumes frais, transformés et commercialisés par l'agro-industrie, était d'environ 6 300 M € / an.

EN FRANCE Le chiffre d'affaires généré par les coopératives était de 4 500 M € (Coop de France, 2009) et le chiffre d'affaires généré par l'ensemble des entreprises en 2010 était de 7 583 M €.

PORTUGAL Le chiffre d'affaires du secteur a augmenté annuellement en moyenne de 3,7% depuis 2000. Selon le GPP (2013), en 2012, le chiffre d'affaires a atteint 655 M €.

1.2.2. Nombre total d'usines de transformation de fruits et légumes et nombre de coopératives

Ce secteur est caractérisé par un grand nombre d'entreprises coopératives. La plupart d'entre elles sont de petites entreprises, les grandes entreprises sont peu nombreuses.

EN ITALIE L'ensemble du territoire national se caractérise par une présence importante des entreprises coopératives (1 273 en 2011). Cependant, il existe une différence économique entre le Nord et le Sud de l'Italie, même si nous devons considérer que l'industrie agro-alimentaire est économiquement plus importante dans le Sud.

80% du chiffre d'affaires sont générés par 42% des coopératives situées au Nord. Dans cette partie du pays, le chiffre d'affaires moyen d'une coopérative est de 11,4 M €, tandis que dans le Centre, il est de 3 M € et dans le sud, il est de 1,7 M € (Source: Osservatorio della Cooperazione Italiana Agricola, 2011). La majorité des coopératives sont petites et le poids économique moyen d'une usine typique de transformation de fruits et légumes est de 6,1 M €.

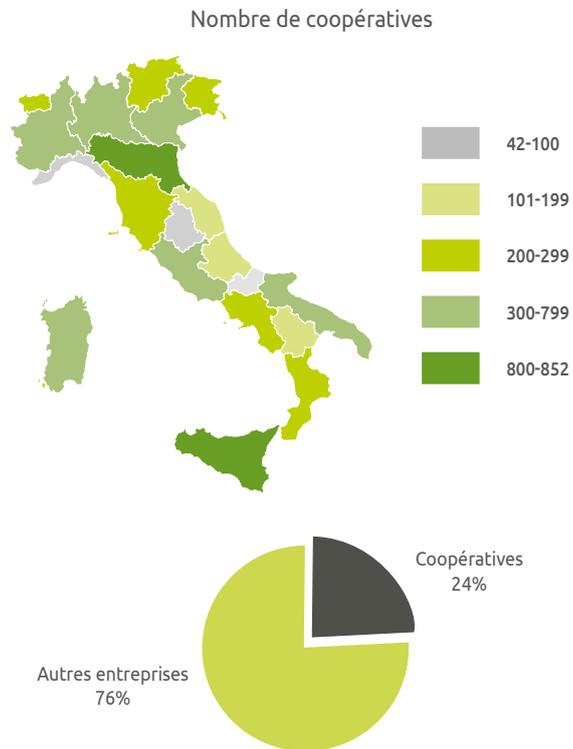


Figure 1. Nombre de coopératives de fruits et légumes en Italie. 24% du chiffre d'affaires total du secteur agro-industriel sont générés par des coopératives (Observatoire de la Coopération Agricole Italienne, 2011).

EN ESPAGNE Selon les données concernant l'industrie agro-alimentaire (FICA), il y avait 4 900 entreprises impliquées dans la transformation des fruits et légumes, en 2009. 85% d'entre elles concernent les produits frais, 12% les usines de conserves et seulement 3% les producteurs de jus.



Figure 2. Répartition territoriale des coopératives de fruits et légumes frais en Espagne (OSCAE, Observatorio Socioeconómico del Cooperativismo Agrario Español, 2009).

EN FRANCE En 2009, un total de 1 082 entreprises de fruits et légumes a été enregistré et 300 d'entre elles étaient des coopératives. (données de Coop de France et FranceAgriMer).

AU PORTUGAL Les industries impliquées dans le secteur des fruits et légumes frais sont environ 247 (données de l'Office de Planification et des politiques, GPP, 2013), et environ 60 entreprises sont des coopératives (Confagri).

1.2.3. *Nombre de salariés*

EN ITALIE Une coopérative représentative a un chiffre d'affaires de 6,1 M € et emploie, en moyenne, 22,5 salariés.

EN ESPAGNE Le secteur des fruits et légumes correspond à la moitié de l'activité de l'ensemble du secteur agro-alimentaire.

EN FRANCE En 2009, le nombre de salariés permanents dans ce secteur était de 10 000, et le nombre de salariés saisonniers était de 27 000 personnes (données de CoopdeFrance).

AU PORTUGAL En 2011, le nombre de salariés dans ce secteur est estimé 3 818 (GPP, 2013).

De nos jours, le marché mondial de l'alimentation est divisé en plusieurs catégories spécifiques de consommateurs, et la tendance est à l'expansion de la grande distribution avec des consommateurs, de plus en plus attirés par les produits alimentaires qui respectent leur mode de vie ainsi que leurs besoins de santé et de bien-être. Au contraire, par le passé, la plupart des produits agro-alimentaires étaient consommés par les familles et vendus sur des marchés locaux. Maintenant, les produits alimentaires sont fournis par les chaînes de supermarché, produit par l'industrie agro-alimentaire qui a transformé l'offre en demande. Malgré cela, les fruits et les légumes frais ont encore un rôle clé pour la santé humaine et le bien-être.

Cependant, cette transformation a, d'une part, augmenté la disponibilité de produits alimentaires, mais, d'autre part, elle a soulevé des interrogations sur son implication sur la demande croissante en énergie nécessaire à l'industrie alimentaire des pays de l'OCDE. De nos jours, aussi bien les chaînes d'approvisionnement agro-alimentaires que les industries alimentaires, ont besoin de chercher de nouvelles solutions pour faire face à certains de leurs principaux défis: i) l'extrême diversité de l'offre; ii) les grands déséquilibres

dans la répartition de la valeur le long de la chaîne d'approvisionnement; iii) le peu d'innovation technologique; et iv) les nombreux points logistiques critiques. Ainsi, dans un environnement de plus en plus mondialisé, l'industrie alimentaire de l'UE a besoin d'améliorer son efficacité énergétique et de mieux utiliser l'énergie et, dans le même temps, de mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles au niveau du management de la chaîne d'approvisionnement en se concentrant sur les nouveaux besoins des consommateurs et sur le développement de pratiques environnementales durables de production et de transformation.

Ce rapport s'intéresse plus particulièrement aux aspects techniques de la consommation énergétique des usines de transformation de fruits et légumes frais, en cherchant à identifier les économies d'énergie de chaque procédé de fabrication et de transformation des fruits et légumes.

2. DESCRIPTION DES PROCÉDES

Après la récolte, les produits vont à l'usine de la coopérative, et ils subissent des traitements spécifiques avant d'être vendus. Dans tous les cas, la première phase correspond au processus d'acceptation de la marchandise, de réception et de déchargement. Pour les produits frais (1ère gamme), un stockage préliminaire est toujours nécessaire et, selon la spécificité de la coopérative, les traitements de nettoyage, de triage et de calibrage peuvent aussi être faits. D'autres traitements particuliers liés aux produits frais peuvent parfois inclure le lavage, le remplissage aseptique, et le conditionnement en atmosphère protectrice. La désinfection des usines et l'utilisation d'équipements pour la réfrigération sont d'autres procédés qui doivent souvent être pris en considération. Tous ces traitements caractérisent aussi bien la chaîne de transformation des aliments que les produits de 4e gamme.



Figure 3. Déchargement des camions à l'aide de chariot élévateur.

La répartition des procédés (comme dans les audits), réalisée dans des coopératives représentatives de transformation des fruits et légumes, et la durée approximative de chaque étape, sont énumérées ci-dessous et décrites par la suite:

- *Réception (~ 2 h)*
- *Lavage et séchage (~ 2 h)*
- *Tri et calibrage (~ 2 h)*
- *Conditionnement (~ 2 h)*
- *Conservation au froid (~ 1 jour)*

2.1. Réception

Les matières premières sont livrées au quai de réception par camion ou par tout autre véhicule. Une première vérification de la livraison des fruits / légumes est effectuée : codes de traçabilité, taille du lot, la qualité du produit, l'état du véhicule, etc. Toutes les informations sont généralement enregistrées dans la base de données de la coopérative. Des chariots électriques effectuent le chargement et le déchargement d'un procédé de pré-refroidissement et / ou d'une ligne de traitement. Les producteurs de fruits et légumes agriculteurs

doivent refroidir beaucoup de leurs produits rapidement; l'élimination de la chaleur est importante pour maintenir la qualité et la durée de vie du produit. Le stockage des produits peut être réalisé dans des congélateurs, et / ou dans une zone spécifique conditionnée à cet effet, où les produits doivent être transférés à des lignes de traitement pour la manutention



Figure 4. Refroidisseurs verticaux réduisant le temps de pré-refroidissement, (augmentation de la durée de vie et la qualité les fruits et légumes, économies d'énergie).

et l'emballage. La palettisation et / ou le déversement varient en fonction du type de produit et du type de conteneur de décharge utilisé. Par exemple, si le produit est collecté dans des bennes en plastique, le déverseur sera adapté à ces dernières. De plus en plus d'entreprises utilisent des palettiseurs.



Figure 5. Palettiseur.

2.2. *Lavage et séchage*

Les étapes de lavage et de séchage ne sont pas fixées dans le processus de manutention et de conditionnement des fruits et légumes. Elles dépendent de la morphologie et des caractéristiques du produit.



Figure 6. Déversement d'eau sur des pommes (à gauche) et un tunnel utilisé pour le séchage (à droite).

2.3. *Tri et calibrage*

Le processus de tri est commun à de nombreux produits dans le secteur des fruits et légumes frais. Le tri peut être effectué par la couleur, la taille ou d'autres propriétés physiques. Les entreprises commercialisent actuellement un grand nombre de produits: les machines de tri doivent couvrir les campagnes d'hiver et

d'été, avec un équipement capable de classer la plus large gamme de produits possibles. Beaucoup d'autres traitements peuvent être utilisés: déverdisage, trempage, décapage, cirage, etc.



Figure 7. Machines de lavage et de tri.

DÉVERDISAGE. Les principales causes de verdissement sont les conditions climatiques avant la récolte. Par exemple, les citrons ont souvent atteint la maturité commerciale avec des traces de couleur verte sur l'épiderme (flavedo). Bien qu'ils ne soient pas différents des citrons sans traces, les consommateurs pensent qu'ils ne sont pas assez mûrs et n'ont pas le meilleur goût qu'ils pourraient avoir. Le déverdisage consiste à dégrader la chlorophylle pour permettre aux pigments naturels masqués par la couleur verte de s'exprimer. Dans les chambres froides dimensionnées correctement, les agrumes sont exposés pendant

24 à 72 heures (selon le degré de verdissement) à une atmosphère contenant de l'éthylène (5-10 ppm) sous atmosphère contrôlée à une humidité relative de 90-95%. Les conditions de déverdisage sont spécifiques à la zone de production.

TREMPAGE. Différents traitements sont effectués pour éviter et contrôler les maladies post-récolte. Parmi eux, le trempage dans des solutions chimiques est très utile pour inhiber l'échaudage ou d'autres problèmes lors du stockage.

CIRAGE. Certains fruits comme les pommes, les concombres, les agrumes, les pêches, les nectarines et d'autres, sont cirés pour les raisons suivantes: pour réduire la déshydratation, pour améliorer leur vie post-récolte en remplaçant les cires naturelles enlevées lors du lavage, et pour sceller les petites blessures faites lors de la manutention. Les cires sont également utilisées comme porteurs de certains fongicides ou tout simplement pour augmenter la brillance et pour améliorer l'apparence. Différents types et formules de cires sont disponibles. Ceux-ci peuvent être appliqués sous forme de pulvérisations ou de mousses, ou par immersion et égouttage ou par d'autres moyens. La répartition uniforme est importante. Les brosses douces, les rouleaux ou d'autres méthodes sont utilisés pour faire en sorte que la répartition sur la surface des fruits soit complète et que la texture soit lisse. Les applications

lourdes peuvent bloquer les échanges gazeux avec le fruit et produire des tissus morts, provoquant des assombrissements à l'intérieure et l'apparition d'un mauvais goût et de mauvaises odeurs. Il est très important que les cires soient comestibles par l'homme.

2.4. Conditionnement

Enfin, des machines spécifiques sont utilisées pour l'emballage et la livraison. Un contrôle adapté de qualité, en fonction du type de produit, est réalisé dans cette dernière phase.



Figure 8. Zone de tri des produits et de préparation des colis.



Figure 9. Machines de conditionnement.

2.5. Conservation au froid

Les producteurs de fruits et légumes agriculteurs doivent refroidir beaucoup de leurs produits rapidement; l'élimination de la chaleur est importante pour maintenir la qualité et la durée de vie du produit. Le stockage réfrigéré est l'étape la plus énergivore du process.

3. ANALYSE ÉNERGÉTIQUE DU SECTEUR DES FRUITS ET LEGUMES

De manière générale, l'industrie alimentaire utilise de l'énergie pour la transformation et la conservation des aliments, pour un conditionnement sûr et pratique et également pour le stockage. Un conditionnement sûr et pratique est extrêmement important dans la fabrication des aliments et il est également consommateur d'énergie. Les techniques de conditionnement les plus récentes exigent des techniques aseptiques et des changements électrochimiques. Un stockage adéquat est également consommateur d'énergie en particulier à cause des températures extérieures, il devient indispensable pour éviter le vieillissement accéléré des fruits et légumes récoltés. La congélation et le séchage sont les méthodes les plus essentielles pour la conservation des aliments mais dans ce rapport, ces techniques ne seront pas réellement traitées du fait de leur utilisation plus importante pour les produits de 2e, 3e et 5e gamme.

L'intrant principal dans ces procédés agro-industriels, hors matières premières, est la consommation d'énergie. Le système agro-alimentaire moderne consomme de grandes quantités de combustibles fossiles pour la production de produits alimentaires d'origine végétale et animale afin de satisfaire la demande

alimentaire mondiale. L'énergie utilisée pour le traitement, le transport et la préparation des aliments représente, généralement trois à quatre fois la quantité d'énergie utilisée par la production primaire (Smil, 2008). De plus, l'industrie alimentaire nécessite de l'énergie thermique pour le chauffage, le refroidissement et l'électricité afin de traiter les légumes. En outre, l'énergie est utilisée pour l'emballage (matière plastique et aluminium).

Moins de 10% de l'énergie consommée lors de la fabrication concerne des utilisations hors process (chauffage de l'installation, ventilation, réfrigération, éclairage, installations collectives, transport sur site, et production d'électricité conventionnelle). La chaudière au fioul représente près d'un tiers de la consommation finale. En outre, des données sur la consommation d'énergie sont présentées (en tonnes équivalent pétrole, tep) du secteur en France (Agreste, 2010):

- *Total du secteur des fruits et légumes : 95 442 tep*
- *Transformation et conservation des pommes de terre : 14 386 tep*
- *Préparation de jus de fruits et de légumes: 9 910 tep*
- *Autres procédés et préservation des légumes: 55.780 tep*
- *Procédés et préservation des fruits: 15.367 tep*

3.1. Consommation électrique

En moyenne, la consommation d'énergie est principalement de l'électricité (utilisée par les procédés de refroidissement et de réfrigération (46,4 % dans le tableau 2), et l'énergie thermique requise pour l'hygiénisation des fruits et légumes est considérable. La demande en énergie peut être classée en sept catégories principales, à savoir : i) l'aération (ventilation et de climatisation), ii) la vapeur, iii) les moteurs et les pompes, iv) l'air comprimé, v) le refroidissement et la réfrigération des infrastructures et des bâtiments, et vi) l'énergie utilisée par le transport. Toutefois, il convient de préciser que les données dans ces tableaux ne reflètent pas forcément l'ensemble des entreprises car les technologies de traitement ou les matières premières (fruits et légumes) à traiter peuvent être très différentes entre les entreprises.

Dans les usines de transformation de fruits et légumes frais, les installations sont généralement basées sur les procédés de refroidissement / congélation, de sorte qu'une grande partie de la consommation d'énergie est électrique.

TABLEAU 2. REPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DES USINES ESPAGNOLES BASEE SUR LES PROCEDES DE REFROIDISSEMENT.

ETAPE DU FABRICATION	%
Réception matières premières, lavage tri selon leur calibre	19,5
Coupe, broyage, calibrage, pelage, etc. Opérations de post-traitement, vérification et emballage	12,2
Refroidissement / Stockage à froid	46,4
Transport	2,0
Air conditionné	2,5
Eclairage	7,8
Utilités	9,6
ENERGIE TOTALE	100,0

Source: Données de procédés provenant de l'analyse de 10 usines espagnoles de transformation de fruits et légumes faite par Cooperativas Agro-alimentarias, 2010.

Dans certains cas, la consommation d'énergie est directement proportionnelle aux besoins de refroidissement

(voir également la figure 10 ci-après).

TABLEAU 3. CONSOMMATION D'ENERGIE D'UNE INDUSTRIE PORTUGAISE DE TRANSFORMATION DE FRUITS ET LEGUMES REPRESENTATIVE (10 000 TONNES DE PRODUITS/AN)

PROCESS (PAR ORDRE SÉQUENTIEL)	TECHNOLOGIES COURANTES	CAPACITE (t/h)	Puissance électrique installée (kW)	Consommation électrique (kWh/an)	Puissance thermique installée (kW)	Diesel consumption (kWh/an)
Réception	Balance électronique Machine de lavage (Drencher)	57	184	33.500	-	-
Conservation	Stockage à froid	-	270	536.000	-	-
Emballage	Calibreur, Machine d'emballage	6	39	67.000	-	-
Expédition	Chambre d'expédition	6	19	33.500	-	-
Éclairage et autres utilités électriques	Fluorescents	-	12	56.300	-	-
Autres équipements	Chariots élévateurs	14	-	-	10	14.560
TOTAL	-	-	523	726.300	10	14.560

Source : Données de procédés d'une usine représentative provenant d'une analyse faite par l'Université de Évora.

3.2. Consommation thermique

Dans les usines de transformation de fruits et légumes, la consommation thermique n'est pas très représentative. Une campagne de mesures menée par Cooperativas Agro-alimentarias montre la répartition de la consommation d'énergie dans certaines PME auditées en 2010 : la consommation thermique n'est que de 14 %, tandis que la consommation électrique est de 86 %. Cette faible consommation thermique est due au chauffage de l'eau de nettoyage, au chariot élévateur pour le transport interne des fruits et légumes, aux brûleurs utilisés pour le séchage des produits frais, etc. Lorsque les 2e et 3e gammes sont prises en compte, la consommation thermique augmente considérablement pour répondre à la demande importante en énergie des procédés de pasteurisation et de congélation. Le Tableau 4 présente des données concernant à la fois la consommation électrique et thermique par tonne de produits traités dans une usine italienne de transformation des fruits et légumes représentative avec une consommation d'énergie thermique compatible (en particulier pour des usines dédiées à la 2e gamme de fruits et légumes).

3.3. Balance énergétique (diagramme de Sankey)

La balance énergétique des procédés industriels et associés à la consommation d'énergie dans les coopératives basées sur des procédés de refroidissement, provenant d'une analyse faite par Cooperativas Agro-alimentarias en 2010 de dix usines espagnoles de transformation de fruits et légumes, est représentée par la Figure 10 sous la forme d'un diagramme de Sankey.

TABLEAU 4. PROCÉDES INDUSTRIELS ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE ASSOCIÉE D'UNE USINE ITALIENNE REPRÉSENTATIVE BASE SUR LES PROCÉDES THERMIQUES.

ÉTAPE DU PROCESS	Énergie électrique (kWh/tonne produite)	Énergie thermique (kWh/tonne produite)	Électricité pour pomper l'eau (kWh/tonne produite)
Réception des matières premières	3,4	-	-
Lavage, tri selon leur calibre	2,1	51	-
Coupe, broyage, calibrage, pelage, etc.	3,4	72	3
Blanchiment / séchage	1,5	209	-
Refroidissement et rinçage	3,9	-	3
Opérations de post-traitement, vérification et emballage	3,0	50	-
Traitement thermique de stabilisation	-	229	8
Refroidissement	1,1	-	-
Stockage	1,0	-	-
TOTAL	19,4	611	14

Source : LG MTD Industria Alimentare, 2008.

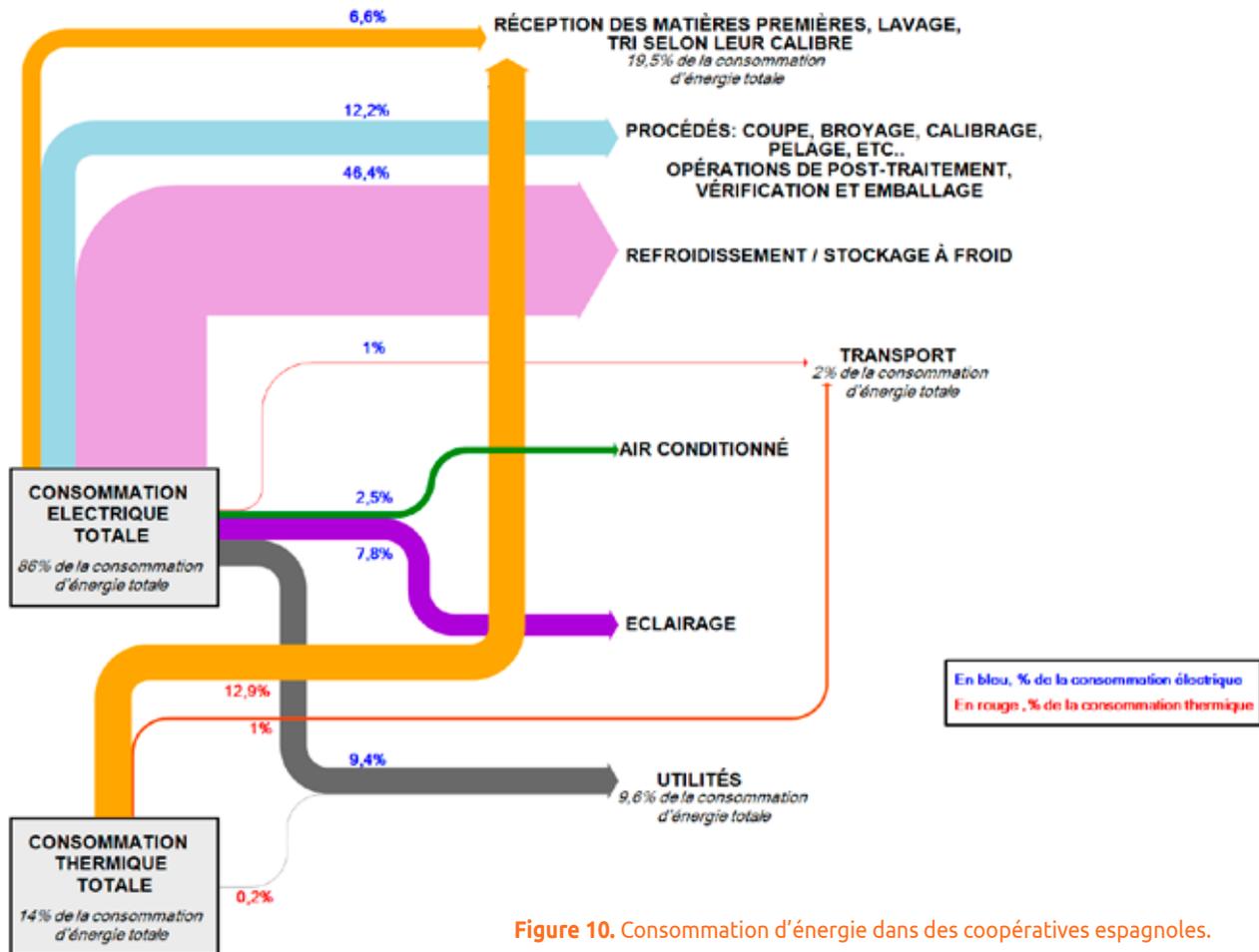


Figure 10. Consommation d'énergie dans des coopératives espagnoles.

3.4. Coût de l'énergie

En Europe, le contexte relatif à l'énergie est très variable. De plus, le coût de l'énergie sera différent selon la politique énergétique nationale et prenant compte des combustibles fossiles qui peuvent être utilisés pour l'énergie thermique. Le Tableau 5 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 5. COÛT DE L'ÉNERGIE.		
PAYS	Coût de l'énergie électrique (€/MWh)	Coût de l'énergie thermique (€/MWh)
Italie	144	37
Espagne	125	60
France	de 60 à 110	de 20 à 80
Portugal	80	70

4. MESURES D'ECONOMIES D'ENERGIE

Après une brève analyse du secteur des fruits et légumes dans les quatre pays concernés par Tesla, le chapitre 4 de ce document met l'accent sur les propositions et les actions possibles pouvant être mises en place pour économiser de l'énergie et / ou améliorer l'efficacité énergétique des installations de transformation et des services engagés dans ce secteur.

Le stockage à froid est le procédé le plus énergivore, car il a généralement lieu durant plusieurs mois par an et dans des conditions de températures extérieures très élevées. La consommation d'électricité de la production de froid peut atteindre jusqu'à 53% de l'électricité totale consommée par l'entreprise. Ainsi, des systèmes efficaces de production de froid et des chambres froides (matériaux utilisés dans la structure et l'organisation de la chambre froide) représentent des mesures d'économies d'énergie importantes.

4.1. Efficacité énergétique des systèmes de refroidissement

Il existe plusieurs voies d'amélioration des systèmes de production de froid, hormis l'achat d'un nouveau système, plus moderne et plus efficace.

DECOUPLAGE DE LA PRODUCTION DE FROID ET DE LA DEMANDE EN FROID, EN UTILISANT UN SYSTEME DE STOCKAGE DE FROID.

Ce système est basé sur l'utilisation de matériaux à changement de phase et il est composé de nodules sphériques à l'intérieur desquels est contenu un liquide à changement de phase. Ces nodules sphériques sont placés à l'intérieur d'un réservoir dans lequel de l'eau froide a été congelée lors d'une période où l'électricité était moins chère. Cette énergie de refroidissement stockée sera utilisée lors d'un pic de demande de froid ou lors d'un arrêt de production de froid lors d'opérations de maintenance. Au moyen de technologies de contrôle, ce système de stockage peut être optimisé simultanément avec le reste des dispositifs de refroidissement.

Les économies potentielles dépendront de la situation actuelle de chaque usine. Cependant, il est très important de remarquer que la puissance demandée en utilisant cette

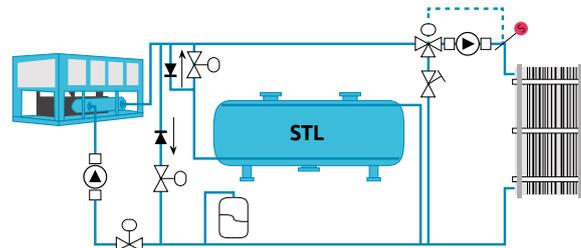


Figure 11. Schéma d'un système de stockage de froid installé en parallèle avec le système de refroidissement (CIAT).

technologie peut être réduite jusqu'à 70%, et également l'énergie électrique contractée peut être échangée par une énergie moins chère, afin de réaliser des économies intéressantes.

COMPOSANTS D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE EFFICACE.

Les fournisseurs d'électricité ont différentes machines selon leurs besoins de puissance qui visent à améliorer l'efficacité énergétique. Ces machines utilisent fréquemment le R134A comme fluide de refroidissement. Elles sont équipées d'un compresseur rotatif à vis à haute fiabilité et efficacité (au lieu d'un compresseur à piston) et d'un nouveau système d'évaporateurs à tubes où les condensateurs sont fabriqués en alliage d'aluminium avec des propriétés thermiques

élevées. De plus, des variateurs de vitesse sont installés sur les ventilateurs et sur le compresseur, ce qui permet de réguler la consommation d'énergie de 25% à 100% à pleine charge. En outre, ces machines sont équipées de démarreurs progressifs qui réduisent les consommations lors des pics de production. Les économies potentielles sont considérables, du fait de l'ancienneté du parc dont la plupart des machines (équipé d'un compresseur alternatif et sans options de



Figure 12. Machine frigorifique.

régulation) ont une valeur d'EER de près de 1,5 alors que ces machines frigorifiques efficaces ont un EER proche de 3. (NOTE: l'EER est le taux de rendement énergétique qui signifie qu'avec 1 kWh d'électricité, 1,5 (ou 3) kWh de froid sont produits).

4.2. Amélioration de l'isolation des chambres froides

La substitution ou l'amélioration des panneaux installés dans les murs / plafonds de panneaux en polyuréthane épais, qui garantissent un coefficient de transmission thermique inférieur, permettra des meilleures conditions d'isolation que d'autres matériaux, et ne nécessitera qu'un investissement moyen. Les économies réelles d'énergie dépendront de la surface de la chambre, du coefficient de transmission thermique (U) des anciens et des nouveaux panneaux d'isolation, et de la température extérieure et intérieure. En considérant le cas d'une chambre froide (dimensions internes: 10m x 10m x 3,5m) qui a initialement un mur et un plafond de panneaux en polystyrène d'une épaisseur de 80 mm et $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{C}$, si les matériaux d'isolation sont changés par des panneaux en polyuréthane d'une épaisseur de 100 mm et $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{C}$, en ayant des températures de 29 °C à l'extérieur de la chambre et de 10 °C à l'intérieur, la demande de puissance peut être réduite jusqu'à 20%.

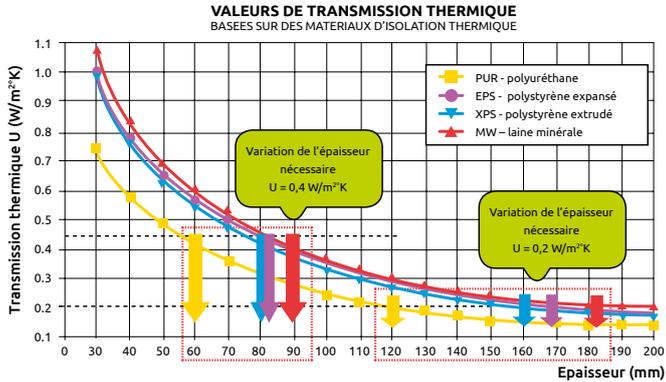


Figure 13. Coefficient de transmission thermique et épaisseur des différents matériaux.

4.3. Moteurs performants

La consommation électrique des moteurs est influencée par plusieurs facteurs. Pour bénéficier des économies potentiellement disponibles, les utilisations doivent optimiser l'ensemble de l'installation dont les moteurs font partie avant de considérer cette sous partie. Les points suivants pourront être pris en compte afin d'améliorer l'efficacité des moteurs.

MOTEURS À RENDEMENT ÉLEVÉ. La classification de l'efficacité énergétique des moteurs électriques est définie par le standard IEC 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 (Energy-using Products - Equipements 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 le niveau IE3. Au 1er janvier 2017 les moteurs de 0,75 à 375 kW devront respecter à minima la norme IE3. La Figure 14 présente les différences entre chaque type de moteur.

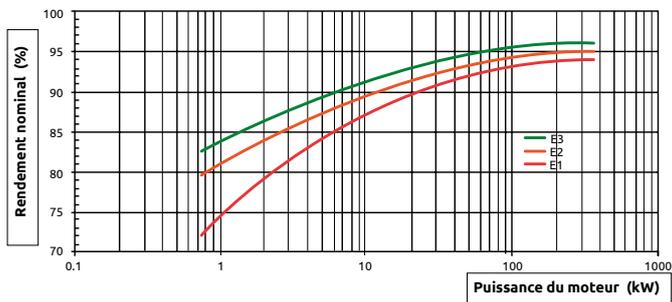


Figure 14. Comparaison des courbes d'efficacité énergétique (CIRCE, 2013).

DIMENSIONNEMENT DES MOTEURS. Le rendement maximal est obtenu 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 constant 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 plus grande puissance 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 15.

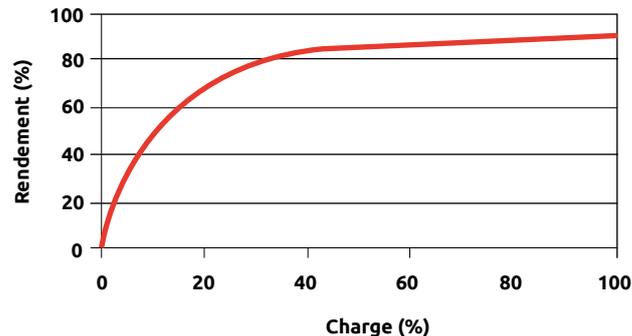


Figure 15. Rendement d'un moteur électrique en fonction de la charge (BREF, 2009).

CONTROLES DU MOTEUR. L'objectif est de limiter au minimum le sous régime des moteurs (charge à vide) par exemple à l'aide de capteurs de présence, d'une minuterie, le contrôle du procédé, etc. Donc, le moyen de contribuer à l'efficacité énergétique est d'arrêter les moteurs quand il n'y en a pas besoin à l'aide d'un interrupteur ou d'un contacteur pour connecter et déconnecter le moteur concerné. L'ajustement de la vitesse du moteur, par l'utilisation d'entraînements à vitesse variable (EVV) peut conduire à des économies d'énergie significatives associées à un meilleur contrôle des procédés, une réduction de la fatigue des équipements mécaniques. Quand la charge varie, les EVV permettent de réduire la consommation

d'énergie électrique, notamment des pompes centrifuges, des compresseurs et des ventilateurs. Les process de transformation de matières, faisant appel à des broyeurs et les machines de manutention comme les convoyeurs peuvent aussi bénéficier, en termes de performance globale et de consommation énergétique, de l'utilisation des EVV.

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 la meilleure option possible (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 : presse à granuler, système de refroidissement, compresseur, convoyeur, etc. L'efficacité énergétique du système d'air comprimé peut être contrôlée 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 se sont souvent traduites par des performances sous-optimales du SAC. La pression est un paramètre fondamental d'un SAC qui doit répondre à 95 % de tous les besoins et d'utiliser un petit dispositif d'augmentation de pression pour le reste. Le dimensionnement des canalisations et l'emplacement des compresseurs constituent un autre paramètre fondamental. Un système correctement conçu doit avoir une perte de pression inférieure à 10 % de la pression de sortie du compresseur au point d'utilisation.

ENTRAINEMENT 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 aideront à réduire l'énergie demandée par le SAC. Les économies peuvent atteindre 30 %, bien que les gains moyens, lorsqu'un compresseur doté d'un EEV dans un SAC est ajouté, soient d'environ 15 %. Un volume de stockage permet d'en réduire les fluctuations et de répondre aux demandes de pointe sur un temps très court. 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.

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 préventive des systèmes d'air comprimé doivent comprendre des mesures de prévention des fuites et des tests périodiques. Une manière supplémentaire de réduire les fuites consiste à abaisser la pression de service du système. Avec une pression différentielle 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 actifs qu'ils disposent à tout moment de suffisamment d'air comprimé. La manière la moins onéreuse d'ajuster la plage de pression d'un compresseur consiste à utiliser des pressostats mécaniques. La plage de pression est réajustée au moyen d'un compresseur à convertisseur de fréquence fonctionnant comme un compresseur à pleine charge et en adaptant sa vitesse aux besoins spécifiques en air comprimé.

4.5. Entraînement à vitesse variable

L'entraînement à vitesse variable peut être installé sur tous les process fonctionnant à charge variable, par exemple : les pompes centrifuges, les ventilateurs, le broyeur, le compresseur du SAC, etc. En l'utilisant, la consommation énergétique des moteurs est abaissée jusqu'à ce que la consommation soit adaptée aux besoins réels du process. Les EEV, appelés aussi variateur

de vitesses, contrôlent la vitesse de rotation des moteurs des pompes, des ventilateurs, des convoyeurs 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 réglée selon des paramètres externes comme par exemple la température, le débit, etc. Le contrôle de la vitesse peut être très important dans l'efficacité énergétique des procédés. Les économies d'énergie dépendent de la puissance du moteur, de la charge, du profil et du temps annuel de fonctionnement du moteur. Un moteur fonctionnant avec ou sans variateur de vitesse peut voir sa consommation énergétique varier de plus de 50%.

4.6. *Isolation*

Dans plusieurs secteurs industriels concernés par TESLA, il est nécessaire de récupérer de la chaleur pour chauffer ou refroidir dans certains process. Par exemple, dans les chaudières où l'eau chaude ou la vapeur part de la chaudière pour aller au consommateur. Dans ce genre d'installation, les conditions d'entretien des matériaux d'isolation sont très importants pour éviter les pertes thermiques et les problèmes de condensation. Ainsi, les matériaux d'isolation doivent

suivre plusieurs recommandations : pour éviter des problèmes de rouille, pour protéger contre les rayons UVA, être sec (attention aux fuites qui affectent la capacité d'isolation des matériaux isolants), d'être flexible et facile à installer, et d'avoir une faible conductivité thermique (0,04 W/m °C ou moins). La gamme de températures de travail commune pour les matériaux isolants est comprise entre -50°C et 110°C.

ISOLATION DES CANALISATIONS. Les économies potentielles réalisées dépendront : du diamètre de la conduite et de la longueur (ou 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. Par 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 à 85%, ce qui signifie qu'une grande quantité d'énergie peut être sauvée simplement en isolant thermiquement les canalisations.

ISOLATION DES VALVES. En outre, les raccords, les vannes et les autres connexions ne sont généralement pas bien isolées. Des plaques isolantes amovibles et réutilisables sont possibles pour ce type de surfaces. Compte tenu de la température de fonctionnement de 150°C, de la température ambiante 20°C, et la taille de la vanne de 150 mm, les économies potentielles d'énergie pour l'installation de couvercles isolants et amovibles des vannes 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.



Figure 16. Bonnes conditions d'isolation des canalisations.

4.7. Récupération de chaleur

L'eau chaude est nécessaire dans toutes les industries pour plusieurs utilisations différentes : de l'eau sanitaire jusqu'à l'eau préchauffée pour la chaudière ou la production de vapeur. Dans ce handbook, 3 techniques de récupération de chaleur sont développées car elles n'impliquent pas une augmentation de la consommation d'énergie.

SOLAIRE THERMIQUE POUR CHAUFFER L'EAU. Les capteurs solaires haute performance sont équipés d'un verre spécial avec un transfert d'énergie supérieur à 92%. L'absorbeur est fabriqué en cuivre avec un traitement sélectif (TINOX) et ils peuvent être utilisés à une température maximale de 250°C, avec un rendement optique de 75% et un coefficient de pertes thermiques de 2,9 W/m² °C. Les économies potentielles dépendront du taux d'ensoleillement. Les économies communes sont autour de 50 - 70% selon les conditions météorologiques et la demande en énergie. Cela signifie que la consommation d'énergie de la chaudière peut être réduite, et donc moins de fioul serait consommé ce qui réduirait les émissions atmosphériques de CO₂.

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

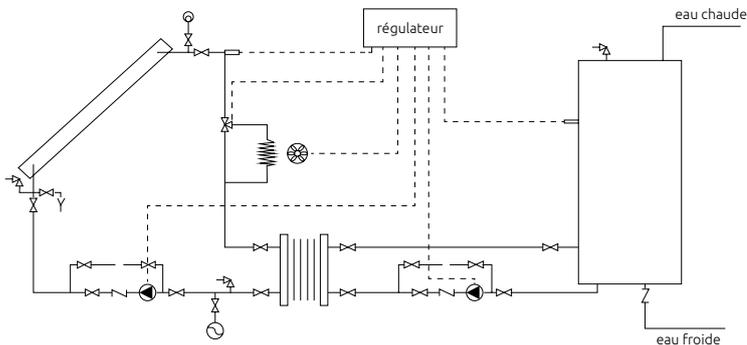


Figure 17. Schéma d'un système solaire thermique IMS (CPC solar).

être évacuée vers l'extérieur. Dans de nombreux cas, une unité de récupération de chaleur correctement conçue 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 plusieurs applications nécessitant de l'air chaud. L'air atmosphérique ambiant traverse les refroidisseurs du compresseur dont il extrait la chaleur. Les seules modifications nécessaires du système sont l'addition de conduits et éventuellement d'un autre ventilateur pour traiter la charge de la canalisation et pour

éliminer toute contre-pression sur le refroidissement du ventilateur du compresseur. Ces systèmes de récupération de chaleur peuvent être modulés avec une commande thermostatique simple d'un événement articulé. L'air chaud peut être utilisé par exemple pour chauffer l'air ambiant.

- Chauffage de l'eau : il est également possible d'utiliser un échangeur de chaleur pour extraire la chaleur perdue des refroidisseurs à huile situés dans les compresseurs monoblocs refroidis par air ou par eau afin de produire de l'eau chaude. 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, le lubrifiant est acheminé au refroidisseur de lubrifiant 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 de 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 des gaz d'échappement. Dans les chaudières, beaucoup de chaleur est perdue par les fumées donc par récupération de la chaleur, une partie de la consommation de combustible pourrait être réduite. Un économiseur est un échangeur de chaleur installé dans le tube de fumées qui transfère la chaleur des fumées à l'eau de la chaudière ou à un autre procédé thermique. L'installation d'un économiseur après la 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 la corrosion des parois de la cheminée). Le condenseur permet la récupération de l'énergie contenue dans les fumées de combustion par condensation d'une partie de la vapeur d'eau. L'économie d'énergie dépend de la diminution de température des fumées de combustion. Dans les cas réels, l'installation de condenseur après la chaudière permet d'atteindre une économie d'énergie d'environ 15%.

4.8. Batteries de condensateur pour diminuer l'énergie réactive

De nombreux appareils différents, tels que des moteurs ou des lampes à décharge, ont besoin d'un champ électromagnétique pour

fonctionner. 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 évitée en utilisant des batteries de condensateur. Les batteries de condensateurs existent pour des puissances différentes, de 7,5 KVAR à 1120 KVAR, et sont installées à côté des transformateurs de puissance des installations. La compensation du facteur de puissance est habituellement employée pour le parc machines 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

Les secteurs industriels concernés par TESLA ont 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 haute pression ou vapeur de mercure) ou halogène. Ces dispositifs sont assez inefficaces et peuvent être facilement remplacés par des nouveaux en utilisant les nouvelles technologies, notamment les LED. Les LED ont une plus longue durée de vie (plus de 50 000 heures), nécessitent moins de maintenance, ont un indice de couleur de 80%, ont une température

TABLEAU 6. ÉCONOMIES D'ÉNERGIES OBTENUES.

CONDITIONS ACTUELLES	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	RÉDUCTION DE PUISSANCE
2x18W tube fluorescent (puissance totale installée 42W avec une ballaste électromagnétique)	LED18S (19W)	54%
2x58W tube fluorescent (puissance totale installée 136W avec une ballaste 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.

de couleur de 4 000 K, et permettent 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 très facile grâce à la conception du système LED. Le Tableau suivant montre les économies d'énergie en considérant 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 sont très vieux, ils utilisent de l'huile et leur efficacité n'est pas aussi élevée que possible. Au contraire, les transformateurs secs réduisent les pertes

du transformateur jusqu'à 70%, sont plus sûrs et nécessitent peu d'entretien, ont une excellente capacité à supporter la surcharge et ont une excellente résistance aux courts-circuits.

4.11. Outils de management

Un outil de gestion de l'énergie permet de trouver la solution durable d'améliorer l'utilisation de l'énergie et réduire ainsi les coûts en énergie, par une meilleure connaissance et un meilleur suivi des flux d'énergie, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre (GES) et, de manière générale, d'améliorer l'image de l'industrie. Un "manager virtuel de l'énergie" est composé d'appareils de mesure, un réseau de communication et d'un logiciel, et une solution de management est la mise en place d'un système de management de l'énergie (ISO 50 001).

5. CONCLUSIONS

Lors de la dernière décennie, il y a eu un intérêt croissant pour l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur agro-alimentaire afin de réduire les coûts énergétiques et les émissions de GES. L'adoption de normes minimales de performance énergétique pour les machines (moteurs, systèmes de refroidissement et des chaudières d'eau), et l'utilisation des énergies renouvelables représentent des solutions efficaces pour diminuer la consommation d'énergie et réduire les impacts environnementaux. L'application de mesures d'efficacité énergétique et des interventions dans les systèmes de vapeur (chaudières, la distribution de la chaleur), d'air comprimé (la mise en bouteille, la déshydratation, le transport, la pulvérisation des revêtements, le nettoyage), les procédés de refroidissement et de réfrigération, de chauffage, et l'éclairage des installations peut certainement permettre d'atteindre une économie totale d'énergie de 15 à 25 % (Kaminski et Leduc, 2010). D'autres actions potentielles d'amélioration sont présentées ci-dessous. Plusieurs mesures pourraient permettre une baisse de la consommation d'électricité. Par exemple, le stockage des aliments peut être amélioré par une meilleure utilisation des systèmes de ventilation ou l'installation de variateurs de vitesse sur des ventilateurs à haut rendement équipés d'onduleurs. Les flux thermiques peuvent être utilisés aussi bien pour le chauffage de l'eau nécessaire pour les traitements de nettoyage que pour le

chauffage des zones de travail en hiver. Il est intéressant d'appliquer les MEPS (normes minimales de rendement énergétique), afin d'encourager l'utilisation de compresseurs plus efficaces et d'améliorer les conceptions d'échangeurs de chaleur, de l'éclairage, des ventilateurs et des contrôles. Les énergies renouvelables représentent un champ d'investigations important qui devrait être pris par les entreprises de l'agro-alimentaire pour réduire leurs coûts énergétiques. La production de chaleur à partir de la biomasse disponible sur place ou à l'élevage et la cogénération vapeur peuvent fournir de l'eau chaude et de l'énergie pour les installations industrielles de séchage de fruits et légumes, améliorant significativement l'efficacité énergétique. L'optimisation de l'efficacité de combustion, la récupération de chaleur des fumées et le dimensionnement optimal des moteurs à haute efficacité électrique peuvent également permettre des économies d'énergie de l'ordre de 20-30 %. Une analyse des factures d'énergie, l'identification de chaque moyen de préservation de la situation actuelle et de ses paramètres de fonctionnement, et une analyse approfondie des procédés de production doivent être faites afin d'avoir une gestion plus rigoureuse des utilisations et des consommations d'énergie dans l'entreprise. En outre, les incitations gouvernementales (selon la norme UNI EN 16.001/ISO normes 50.001) pour soutenir les mesures d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie à des investisseurs privés sont très importantes.

6. REFERENCES ET SOURCES

- Agreste, 2010.
- Circe, *Best Practices Collection*, 2014.
- Cleland D., *Toward a sustainable cold chain. International Institute of Refrigeration. Cambridge. 2010.*
- Confagri, 2013.
- CoopdeFrance, 2009.
- Cooperativas Agro-alimentarias.
- CSO (Centro Servizi Ortofrutticoli). *Tutti i numeri dell'ortofrutta italiana, la panoramica completa 2012.*
- European Commission, *Directorate-General for Agriculture.*
- Eurostat; *Eurostat database COMEXT.*
- FAOSTAT, 2006-2009.
- FCIA. *Fichero Coordinado de Industrias Agroalimentares.*
- *Feria Internacional del Sector de Frutas y Hortalizas 2013.*
- FIAB, 2008.
- FOODDRINKEUROPE *European Food and Drink Industry 2012 – Data & Trends.*
- FranceAgriMer, *Etablissement National des Produits de l'Agriculture et de la Mer.*
- GPP, *Office of Planning and Policies, 2013. Fruícolas, Hortícolas e Flores. Código NC: 06; 07; 08; 20.; Programa de Desenvolvimento Rural do Continente 2014-2020. 1b-Anexo_Diagnostico. 48 pp.*
- INE, 2013. *Estatísticas Agrícolas 2012. Instituto Nacional de Estatística, I.P.. 180 pp.*
- Kaminski J., Leduc G., 2010. *Energy efficiency improvements options for the EU food industry. POLITYKA ENERGETYCZNA. Tom 13, zeszyt 1. PL ISSN 142-6675.*
- ISTAT, 2009-2012. *Italian Institute for Statistics.*
- LG MTD *Industria Alimentare (Linee Guida per l'identificazione delle Migliori Tecniche Disponibili), 2008.*
- MAGRAMA *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.*
- MARM, 2009.
- *Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013.*



Transferring
Energy Save
Laid on Agroindustry



www.teslaproject.org
tesla@agro-alimentarias.coop



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