

# MANUEL

---

## DE FORMATION

- GESTION DE L'ENVIRONNEMENT -

# GESTION DURABLE DE L'ÉNERGIE



La présente publication a été élaborée par le COLEACP dans le cadre de ses programmes Fit For Market, Fit for Market SPS et STDF, financés par l'Union européenne (Fonds européen de développement – FED), l'Agence Française de Développement (AFD) et Le Fonds pour l'application des normes et le développement du commerce (STDF)

Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité du COLEACP et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue officiel de l'Union européenne, de l'AFD et du STDF.

Le COLEACP détient la propriété intellectuelle de l'ensemble du document.

Cette publication fait partie intégrante d'une collection COLEACP, composée d'outils de formation, de supports pédagogiques et de documents techniques. Tous sont adaptés aux différents types de bénéficiaires et niveaux de qualification rencontrés dans les filières de production et de commercialisation agricoles.

Cette collection est disponible en ligne pour les membres du COLEACP.

L'utilisation de tout ou partie de la publication est possible dans le cadre de partenariats ciblés et selon certaines modalités. Pour cela, contacter le Coleacp à [network@coleacp.org](mailto:network@coleacp.org).



# GESTION DURABLE DE L'ÉNERGIE

<b>CHAPITRE 1 : SOURCES D'ÉNERGIE, SYSTÈME DE GESTION DE L'ÉNERGIE ET AUDIT ÉNERGÉTIQUE</b> .....	1
1.1. Introduction .....	2
1.2. Besoins énergétiques et principes fondamentaux de l'économie de l'énergie .....	18
1.3. Systèmes de gestion de l'énergie .....	35
1.4. Audit énergétique .....	46
1.5. Résumé .....	53
1.6. Annexes .....	54
<b>CHAPITRE 2 : UTILISATION EFFICACE DE L'ÉNERGIE, PISTES DE RATIONALISATION, BILAN ÉNERGÉTIQUE</b> ...	59
2.1. Accès à l'énergie .....	60
2.2. Efficacité énergétique .....	63
2.3. Comprendre comment limiter la consommation d'énergie dans une exploitation agricole/entreprise .....	91
<b>CHAPITRE 3 : TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, TECHNIQUES DE GESTION ET DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE</b> .....	117
3.1. Transition énergétique .....	118
3.2. Outils d'évaluation pour aider à la prise de décisions ...	146
3.3. Les énergies renouvelables décentralisées pour le stockage, la transformation, le transport et la distribution après récolte .....	159

<b>CHAPITRE 4: ÉTUDE DE CAS</b> .....	173
4.1. Pourquoi une étude de cas? .....	174
4.2. Contexte général .....	177
4.3. Fournir une analyse de la situation .....	181
4.4. Étapes vers l'établissement d'un bilan énergétique ....	183
4.5. Annexe 1 : Feuilles de calcul du document Excel .....	215
<b>ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES</b> .....	239
<b>GLOSSAIRE</b> .....	247
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	257
<b>SITES WEB UTILES</b> .....	261

# Chapitre 1

## Sources d'énergie, système de gestion de l'énergie et audit énergétique

1.1. Introduction .....	2
1.2. Besoins énergétiques et principes fondamentaux de l'économie de l'énergie .....	18
1.3. Systèmes de gestion de l'énergie .....	35
1.4. Audit énergétique .....	46
1.5. Résumé .....	53
1.6. Annexes .....	54

## OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À la fin de ce chapitre, le lecteur/formateur devrait être capable de :

- comprendre les défis énergétiques liés à la production agricole, et plus généralement au changement climatique ;
- comprendre les enjeux énergétiques dans une PME agricole ;
- déceler les postes de consommation énergétique d'une exploitation agricole et les sources de cette énergie ;
- comprendre les exigences d'un audit énergétique.

### 1.1. INTRODUCTION

Le secteur agricole est confronté à de nombreux défis à différents niveaux, principalement liés aux effets du changement climatique et à la croissance démographique constante. Ces changements **anthropiques** ont affecté la disponibilité de ressources naturelles adéquates et de qualité - l'atmosphère, le sol et l'eau. Jamais auparavant les agriculteurs n'avaient eu à faire preuve d'« innovation » et de « créativité » pour survivre sur les marchés locaux, régionaux, nationaux ou mondiaux. Et, pour faire face à la pression sans précédent qui s'exerce sur les mécanismes régulateurs de la biosphère et aux impacts du changement climatique. Les communautés pauvres tributaires de l'agriculture, les petits producteurs ou transformateurs et les entreprises de la chaîne agroalimentaire de taille moyenne qui n'ont accès ni à la mobilité ni à d'autres moyens de subsistance sont parmi ceux que le changement climatique touche avec le plus de virulence, et avec une force disproportionnée (IAASTD, 2009). En bref, le changement climatique affecte la capacité du secteur agricole à assurer la **sécurité alimentaire** des populations locales.

Les plus touchés semblent actuellement être les agriculteurs et les entreprises agricoles des pays dont le produit intérieur brut (valeur totale des biens et services fournis dans un pays sur une période d'un an) dépend fortement des intrants agricoles. Ainsi, ces pays, qui incluent les pays ACP (signataires de l'Accord de Cotonou, 2000), sont particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique et à la pression supplémentaire exercée par l'explosion démographique, de sorte que les prévisions relatives aux scénarios futurs de sécurité alimentaire vont de catastrophiques à légèrement pessimistes (Alexandratos, N., & Bruinsma, J., 2012).

Ces prévisions suggèrent que d'ici 2050, la population mondiale augmentera d'un tiers et que beaucoup de ces 2 milliards de personnes supplémentaires vivront dans les pays à faible PIB. Pourtant, dans le même temps, de plus en plus de gens vivront dans les villes. Par conséquent, la FAO (2013) estime que la production agricole devra augmenter de 60 % d'ici 2050 pour satisfaire la demande alimentaire attendue, étant donné que les tendances actuelles de croissance des revenus et de la consommation se maintiendront. Par conséquent, le secteur agricole doit vraiment se transformer

pour nourrir une population mondiale en pleine croissance et pour jeter les bases d'une croissance économique continue et d'une réduction de la pauvreté dans les pays à faible PIB. Malheureusement, l'impact du changement climatique rendra cette tâche beaucoup plus difficile dans *un scénario de maintien du statu quo* en raison des effets négatifs sur l'agriculture et de l'escalade des coûts nécessaires pour contrer cet impact.

L'impact cumulé de l'évolution des modes de consommation alimentaire est directement lié à la croissance économique, à l'augmentation des capacités de consommation, à l'émergence de nouvelles technologies, ainsi qu'aux changements démographiques et de mode de vie mentionnés précédemment, qui ont tous exacerbé la hausse des niveaux de CO<sub>2</sub> à l'échelle mondiale et la **vulnérabilité** accrue aux impacts du **changement climatique** (OCDE, 2017). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) indique que l'un des moyens d'**atténuer** les effets du changement climatique consiste à accroître l'efficacité énergétique dans un court laps de temps, ce qui permettra d'atteindre l'objectif d'une augmentation inférieure à 2 °C des températures mondiales (Nations Unies, Accord de Paris, 2015).

Selon la FAO (2011), **le système alimentaire est responsable d'environ 30 % de la consommation totale d'énergie** «utilisateur final» à l'échelle mondiale, dont **plus de 70 % sont consommés au-delà du portail des exploitations agricoles**, tandis que celles-ci produisent environ **un cinquième des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES)**.

Plus alarmant encore, **plus d'un tiers des aliments produits sont soit perdus, soit gaspillés**, ce qui représente environ **38 % de l'énergie consommée** dans la chaîne agroalimentaire (voir Figure 1 ci-dessous).

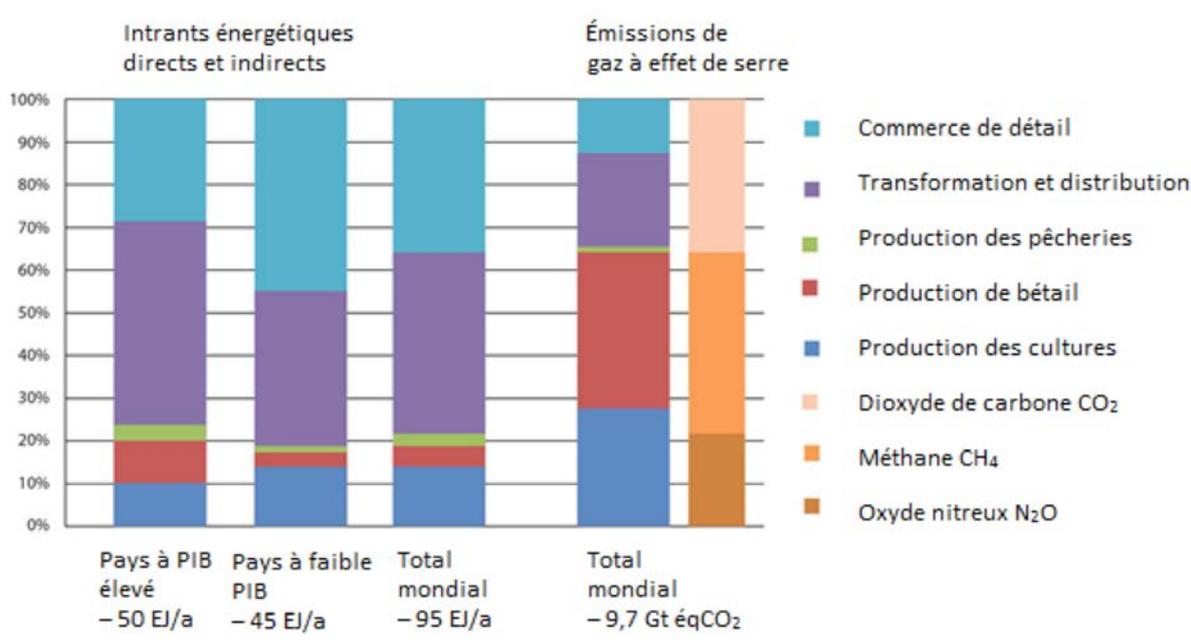


Figure 1 - Répartition mondiale des émissions anthropiques de gaz à effet de serre tout au long de la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire et par gaz, avec ventilation par pays à PIB élevé et faible -

Source FAO 2011

À l'heure actuelle, la majeure partie de l'énergie utilisée provient de **combustibles fossiles** dont il est prouvé qu'ils contribuent le plus aux émissions de GES (voir Figure 1). Il existe donc un besoin urgent et réel que tous les acteurs des filières agro-alimentaires deviennent plus efficaces dans leur utilisation de l'énergie. Alors que l'efficacité énergétique peut constituer un **triple gain** - gain pour l'environnement, gain pour la société et gain pour l'économie (voir la définition complète fournie dans le glossaire) - les propriétaires de grandes, moyennes et petites entreprises doivent également s'adapter à l'efficacité énergétique afin d'assurer la durabilité et la viabilité économique de leurs contributions à la chaîne agroalimentaire. Ce type d'**adaptation** suppose entre autres la sélection judicieuse des technologies énergétiques qui sous-tendent la production et d'autres activités à valeur ajoutée pour les chaînes agroalimentaires. Les pays à PIB élevé restent néanmoins fortement tributaires des combustibles fossiles, et ce, alors que des technologies d'**énergie renouvelable** (ER) sont déployées depuis au moins trois décennies - voir Tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1 :** Composition de la consommation directe d'énergie dans la zone OCDE, 1990-2013 (%)

	1990-94	1995-99	2000-04	2005-09	2010-13
<b>Agriculture</b>					
Charbon et produits du charbon	3,5	2,7	2,0	1,9	2,0
Produits pétroliers	75,7	76,9	72,2	68,6	68,2
Gaz naturel	8,2	7,6	9,2	10,2	8,9
Biocarburants et déchets	1,7	2,0	2,1	2,7	3,8
Électricité	9,6	9,8	13,5	15,8	16,0
<b>Transformation et fabrication d'aliments</b>					
Charbon et produits du charbon	14,2	8,3	8,1	8,6	8,5
Produits pétroliers	26,8	21,2	18,0	14,4	8,9
Gaz naturel	21,8	39,0	40,7	41,2	45,8
Biocarburants et déchets	5,1	5,6	5,8	5,1	5,5
Électricité	29,2	24,5	25,9	28,6	28,9
Chaleur	3,0	1,5	1,5	2,1	2,3

Source : COM/TAD/CA/ENV/EPOC (2016)19/FINAL disponible à l'adresse : [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=COM/TAD/CA/ENV/EPOC\(2016\)19/FINAL&docLanguage=Fr](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2016)19/FINAL&docLanguage=Fr)

En fait, compte tenu de l'instabilité des prix et de la disponibilité des combustibles fossiles, les agriculteurs et les autres producteurs de denrées alimentaires des pays à PIB élevé ou faible doivent d'urgence trouver le moyen de réduire la consommation énergétique dans leurs exploitations. À défaut, il est très probable que certaines communautés agricoles ne survivront pas à long terme.

### 1.1.1. Interaction entre le changement climatique et l'utilisation des technologies d'énergies renouvelables

Les services énergétiques sont nécessaires pour répondre aux besoins humains fondamentaux (par exemple, au niveau domestique ; pour l'éclairage, la cuisine, le chauffage/refroidissement, la mobilité et la communication) et pour les processus de production. Depuis 1850 environ, l'utilisation mondiale des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) a augmenté pour finir par dominer l'approvisionnement énergétique, entraînant une croissance rapide des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). D'une manière générale, l'utilisation croissante des combustibles fossiles est responsable de l'augmentation notable des émissions de GES. L'augmentation des niveaux de GES a contribué de façon significative à l'augmentation historique des concentrations atmosphériques de GES. Les données recueillies au cours des dernières décennies confirment que la consommation de combustibles fossiles est responsable de la majorité des émissions **anthropiques** mondiales de GES. Les concentrations de CO<sub>2</sub> avaient ainsi augmenté à plus de 390 ppm, soit 39 % de plus que les niveaux préindustriels, à la fin de 2010.

Heureusement, plusieurs solutions peuvent contribuer à réduire les émissions de GES du système énergétique tout en répondant à la demande mondiale de services énergétiques. Entre autres ; les économies d'énergie et l'efficacité énergétique, le passage du charbon au gaz naturel, et/ou aux énergies renouvelables, par exemple. L'option privilégiée par les acteurs de la chaîne agroalimentaire est celle des technologies d'énergies renouvelables. En effet, correctement mises en œuvre, elles offrent un potentiel élevé de **co-bénéfices**, c'est-à-dire d'avantages découlant de la réduction des émissions de GES susceptibles de contribuer à un développement social et économique durable, tel que défini à la Figure 2.

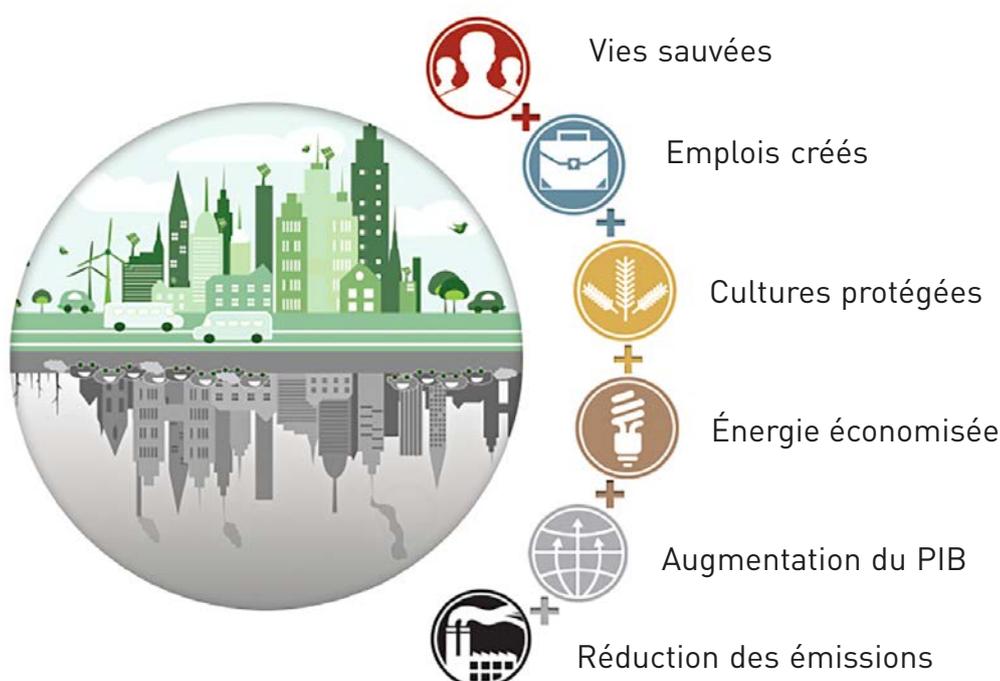


Figure 2 - Avantages découlant de la réduction des émissions de GES qui contribuent à un développement social et économique durable (Source : Banque mondiale, disponible à l'adresse <https://blogs.worldbank.org/climatechange/files/climatechange/benefits-cover-image-600x419.jpg>)

L'utilisation des technologies ER a augmenté rapidement ces dernières années, et leur part dans l'approvisionnement énergétique mondial global devrait encore augmenter considérablement sur le long terme. Les gouvernements du monde entier revoient donc constamment leurs politiques en matière d'énergies renouvelables afin d'attirer les investissements nécessaires dans les technologies et les infrastructures (GIEC 2012). Le Programme énergétique de la CARICOM (<http://caricom.org/energy-programme>) adopté pour la région des Caraïbes ou encore le travail de Fiji avec l'agence IRENA en vue de préparer une évaluation de l'état de préparation des énergies renouvelables pour éclairer les politiques (<http://www.fdoe.gov.fj/index.php/2014-02-13-22-31-44>) au niveau national sont de bons exemples d'élaboration de politiques ER dans les pays ACP. Cette évolution est importante pour les acteurs de la chaîne agroalimentaire, car elle influe sur la prise de décision concernant la manière d'investir du temps, de l'énergie et de l'argent, et où. Il s'agit également d'aider les acteurs des différentes échelles de production et de transformation à faire face à l'augmentation exponentielle des exigences en matière de sécurité alimentaire.

### 1.1.2. Une agriculture climato-intelligente

Comme indiqué dans la section précédente, les changements climatiques ont déjà un impact marqué sur l'agriculture et la sécurité alimentaire en raison de la prévalence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes et de l'imprévisibilité croissante des régimes climatiques. Les changements dans les régimes climatiques peuvent entraîner des réductions de la production et une baisse des revenus dans les zones **vulnérables** (la définition de la vulnérabilité liée au changement climatique figure dans le glossaire). Ces changements peuvent également avoir une incidence sur les prix mondiaux des denrées alimentaires. Les petits exploitants agricoles et les éleveurs des pays à faible PIB sont particulièrement touchés par les fluctuations des prix des denrées alimentaires et doivent faire face à la dégradation des ressources naturelles dont il a été question précédemment. Ces agriculteurs et producteurs n'ont souvent pas les connaissances et le savoir-faire nécessaires pour améliorer leurs approches en matière d'agriculture et de transformation. Ils disposent pour la plupart d'actifs financiers limités et d'une capacité restreinte à prendre les «risques» liés à l'introduction de services énergétiques modernes dans leurs exploitations agricoles. Forts de cette expérience et de ces connaissances, les ONG internationales, les gouvernements nationaux et d'autres acteurs impliqués dans la promotion du changement dans le secteur agricole encouragent l'adoption d'une **agriculture climato-intelligente** comme la voie à suivre pour combattre les impacts du changement climatique.

### Les trois piliers de l'agriculture climato-intelligente (CSA) :

- **Productivité** – La CSA vise à accroître de façon durable la productivité agricole et les revenus tirés des cultures, du bétail et du poisson sans avoir d'impact négatif sur l'environnement. La sécurité alimentaire et nutritionnelle s'en trouvera renforcée. L'intensification durable est un concept clé pour accroître la productivité.
- **Adaptation** – La CSA vise à réduire l'exposition des agriculteurs et des autres intervenants de la chaîne agroalimentaire aux risques à court terme, tout en renforçant leur résilience. Il s'agira pour ce faire de développer leur capacité à s'adapter et à faire face aux chocs et aux contraintes à long terme. Une attention particulière est accordée à la protection des services écosystémiques que les écosystèmes fournissent aux agriculteurs et autres. Ces services sont essentiels au maintien de la productivité et à notre capacité d'adaptation aux changements climatiques.
- **Atténuation** – dans la mesure du possible, la CSA devrait aider à réduire et/ou à éliminer les émissions de GES. Cela implique que nous réduisions les émissions pour chaque calorie ou kilo d'aliments, de fibres et de carburant que nous produisons. Que nous évitions la déforestation due à l'agriculture. Et que nous gérons les sols et les arbres de manière à maximiser leur potentiel d'action comme pièges à carbone et d'absorption du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.



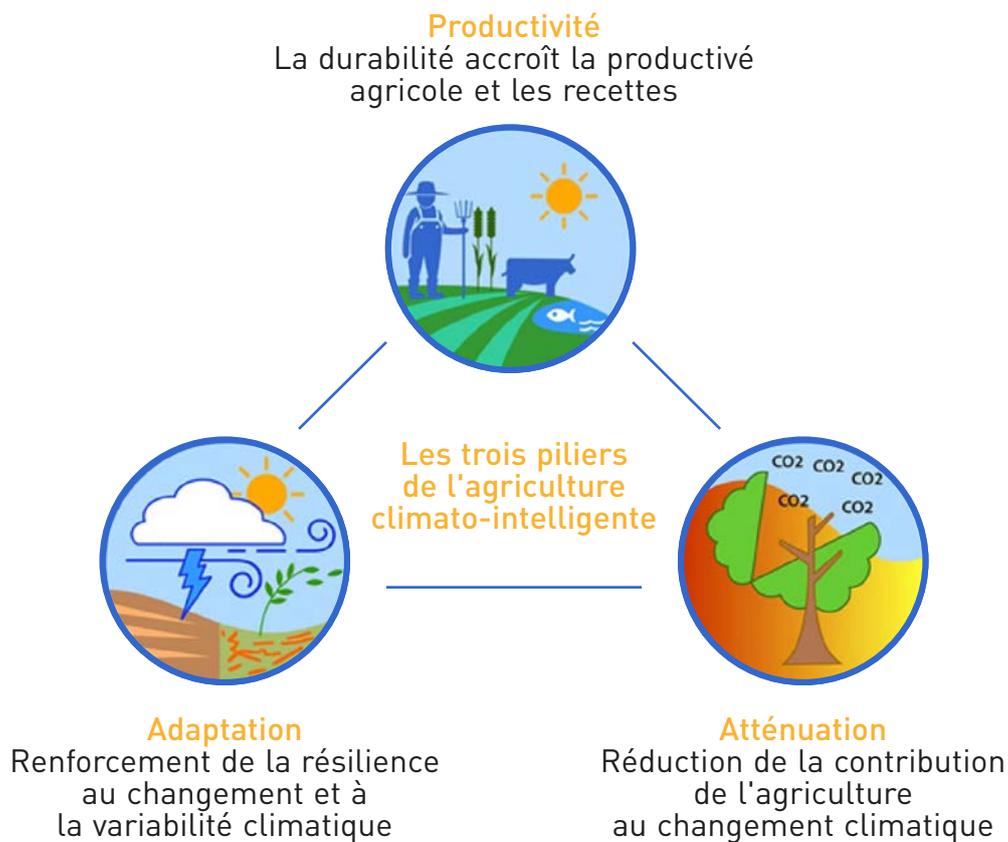
### Principales caractéristiques de l'agriculture climato-intelligente :

- **L'agriculture climato-intelligente s'attaque au changement climatique** – contrairement au développement de l'agriculture conventionnelle, la CSA intègre systématiquement le changement climatique dans la planification et le développement de systèmes agricoles durables (Lipper *et al.*, 2014).
- **La CSA intègre de multiples objectifs et gère les compromis** – idéalement, la CSA offre des résultats de type triple gain ; augmentation de la productivité, amélioration de la résilience et réduction des émissions. Cela étant, il n'est souvent pas possible d'atteindre ces trois objectifs. Des compromis doivent alors être faits. Pour ce faire, nous devons recenser les synergies et évaluer les coûts et les avantages des différentes options en fonction des objectifs des parties prenantes relevés dans le cadre d'approches participatives.

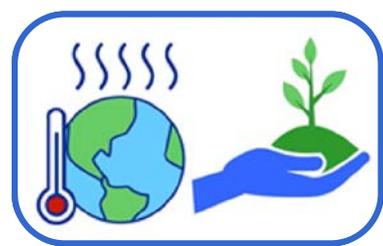
(Source : CSA Guide. De plus amples informations sont disponibles à l'adresse suivante : <https://csa.guide/csa/what-is-climate-smart-agriculture>)

L'agriculture climato-intelligente, telle que définie et présentée par la FAO à la Conférence de La Haye sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et le changement climatique en 2010, contribue à la réalisation des objectifs du développement durable. Elle intègre les trois axes du développement durable (économique, social et environnemental) en s'attaquant conjointement aux problématiques de la sécurité alimentaire et du climat. Elle se compose de trois grands piliers :

1. augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles ;
2. adaptation et renforcement de la résilience au changement climatique ;
3. réduction et/ou élimination des émissions de gaz à effet de serre, partout où c'est possible (FAO, 2013).



**Caractéristiques de l'agriculture climato-intelligente (CSA)**



**La CSA répond au changement climatique**



**La CSA inclut de nombreux objectifs et gère les compromis**

Figure 3 - Piliers et caractéristiques de la CSA

Un bon exemple de la façon dont cette théorie peut être mise en pratique vient de la Grenade, qui est passée d'installations alimentées au diesel pour le séchage des fèves de cacao à des énergies renouvelables, sous la forme d'un système pilote de séchage solaire. Les **co-bénéfices** se présentent sous la forme d'une réduction des émissions des GES et d'une approche plus rentable et durable du séchage des fèves de cacao.

### Déshydratateur solaire

De fortes pluies pendant les saisons traditionnellement sèches ont forcé les producteurs de cacao de la Grenade à envisager des alternatives au séchage passif des fèves à l'extérieur. La Grenada Cocoa Association (GCA) s'est donc mise à utiliser des installations alimentées au diesel pour sécher les fèves à l'intérieur. Cependant, les coûts (30 000 dollars) et l'impact sur l'environnement étaient trop élevés. Grâce à des fonds du Programme de microfinancement du FEM, un système pilote de séchage solaire au mont Horne, la plus grande station de séchage du pays, aide désormais les producteurs à gérer l'imprévisibilité des conditions climatiques locales d'une manière propre, économique et durable.



Autre avantage à long terme de cet exemple de la CSA dans la pratique ; les travailleurs locaux ont été formés à l'installation de la technologie solaire, et des ateliers ont été organisés pour former les travailleurs des stations de séchage du cacao au fonctionnement du système et au suivi de son succès. En d'autres termes, la capacité d'adaptation au changement climatique a été accrue. Ce projet pilote servira en outre à éclairer les opérations de séchage futures de différents produits agricoles à la Grenade, à Carriacou et en Petite Martinique. Ainsi, les **avantages connexes** de ce basculement des combustibles fossiles vers des énergies renouvelables aideront la Grenade non seulement à **s'adapter** au changement climatique, mais aussi à réduire l'impact cumulatif des émissions de GES dans la région des Caraïbes et à renforcer l'expertise régionale dans ce domaine.

(Source : ICIA 2017, Climate Smart Agriculture in the Eastern Caribbean States A Compendium of Stories from Farmers, Solar crop dryer for climate resilience. Grenada Coca Association, Grenade)

### 1.1.3. Systèmes alimentaires écoénergétiques

Comme nous l'avons vu précédemment, il est urgent que les secteurs agricoles réduisent leur dépendance à l'égard des combustibles fossiles. La voie à suivre pour les agriculteurs comme pour les transformateurs consiste à passer à des **systèmes agro-alimentaires intelligents sur le plan énergétique**. Ces systèmes améliorent l'efficacité énergétique, augmentent l'utilisation et la production d'énergie renouvelable et élargissent l'accès aux services énergétiques modernes dans les chaînes agroalimentaires.

Selon la FAO (de plus amples informations sont disponibles à l'adresse <http://www.fao.org/energy/home/fr/>), les **systèmes alimentaires intelligents sur le plan énergétique** devraient aborder les questions suivantes :

- l'énergie nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire,
- les technologies liées à la CSA,
- la précarité énergétique dans le développement rural,
- la contribution au développement d'une valeur alimentaire verte et inclusive,
- un accès sûr à une énergie durable dans les situations d'urgence et de réhabilitation.

Il est important de noter que toute augmentation de la consommation d'énergie – même si elle est initialement basée sur les combustibles fossiles – peut entraîner une réduction des émissions absolues de GES si elle est bien gérée. Un meilleur accès à l'énergie réduit généralement les émissions par unité de production alimentaire ou par unité de produit intérieur brut (PIB). Néanmoins, l'effet global et à long terme d'un accès accru à l'énergie sur l'atténuation des changements climatiques devrait être évalué en fonction du taux de développement d'un comté ou d'une communauté, conformément au modèle de développement suivi. Il faut garder à l'esprit qu'un **compromis** ne doit pas toujours impérativement être fait entre l'accès à l'énergie et l'atténuation du changement climatique

Le passage des combustibles fossiles aux énergies renouvelables peut réduire les émissions de GES à n'importe quel point de la chaîne agroalimentaire. L'exemple ci-dessous vient d'une exploitation agricole mais il s'étend aux services vétérinaires et pharmaceutiques. On peut donc affirmer sans risquer de se tromper que le passage de l'électricité à des chambres froides alimentées à l'énergie solaire pour le stockage des vaccins présente des co-avantages importants, non seulement pour les éleveurs et les professionnels concernés, mais aussi pour l'économie en général aux niveaux local, régional et national.

## Réfrigération solaire pour le stockage des vaccins vétérinaires en Angola

L'élevage est une importante source de subsistance dans les zones rurales de l'Angola. C'est aussi une activité agricole majeure. Par conséquent, la prestation de services vétérinaires a un impact direct sur les conditions socio-économiques des éleveurs. Le projet de renforcement des services d'élevage en Angola (SANGA), dirigé par la FAO et cofinancé par l'Union européenne (UE) et l'Institut des services vétérinaires (ISV), a fourni une assistance technique aux éleveurs et aux techniciens vétérinaires et de santé animale afin de les aider à gérer le bétail et à préserver la santé animale. En Angola, le bétail est vulnérable aux maladies en raison de l'absence de services vétérinaires fiables et d'un piètre accès à la vaccination. Sans compter que les vaccins doivent être stockés à des températures spécifiques pour se conserver. Le manque d'accès à l'énergie entrave le stockage et la distribution de ces vaccins dans les zones rurales de l'Angola, ce qui entraîne des décès d'animaux tout à fait évitables. Le projet visait à accroître la disponibilité des médicaments dans le système de soutien vétérinaire, avec l'aide des éleveurs.

En 2011, dans le cadre du projet, on a installé des systèmes d'énergie solaire dans les chambres froides de 15 pharmacies vétérinaires municipales. Il s'agissait notamment d'installer quatre systèmes photovoltaïques pour alimenter les centres vétérinaires, y compris les chambres froides, ainsi qu'une quinzaine de réfrigérateurs à absorption pour stocker les vaccins dans différents villages. Les systèmes d'énergie solaire et les refroidisseurs solaires ont amélioré la disponibilité des vaccins et ont fourni aux éleveurs les bons outils pour soigner leurs animaux, réduisant ainsi la mortalité du bétail (et donc le gaspillage des ressources naturelles).

FAO, 2011. L'aide vétérinaire aux gardiens de troupeaux rend un grand service à l'Angola. Disponible en ligne à l'adresse <http://www.fao.org/in-action/veterinary-help-for-livestock-herders-brings-relief-to-angola/fr/>

Des pratiques à valeur ajoutée qui diminuent les émissions inhérentes à la production de produits agricoles, réduisent la dépendance à l'égard des combustibles fossiles et améliorent la productivité et la résilience des agroécosystèmes (FAO, 2013) peuvent permettre de dégager des synergies entre l'agriculture climato-intelligente et les systèmes agro-alimentaires énergétiquement intelligents. Étant donné qu'il existe de nombreuses autres synergies entre l'agriculture climato-intelligentes et les aliments écoénergétiques, le développement de **systèmes agro-alimentaires énergétiquement intelligents** peut souvent avoir, et a souvent, des répercussions positives pour le climat. Encore une fois, poursuivre ces objectifs de front peut également nécessiter certains compromis. Ces liens sont souvent assez complexes et propres au contexte et, à ce titre, des recherches beaucoup plus poussées sont nécessaires pour déterminer les compromis génériques, le cas échéant. Néanmoins, toutes ces aspirations ne mèneront nulle part à moins que les pays ne puissent garantir aux agriculteurs et aux autres acteurs de la chaîne agroalimentaire l'accès à une énergie durable, ce que vise l'initiative SE4All des Nations Unies.



#### 1.1.4. Énergie durable pour tous - SE4All

Les objectifs de l'initiative SE4All sont les suivants :

La transition énergétique mondiale exige une augmentation rapide de la productivité énergétique, une nouvelle génération d'institutions pour gérer nos systèmes énergétiques, une approche intégrée de l'énergie qui englobe les sources centralisées et décentralisées, et une part sans cesse croissante des énergies renouvelables dans le mix énergétique. Et la transition énergétique doit être une transition « juste ». Nous ne devons abandonner personne.

Il est inadmissible qu'en 2016, plus d'un milliard de personnes n'aient toujours pas ou peu accès à l'électricité et que plus de trois milliards de personnes n'aient pas accès à la possibilité de cuisiner dans un environnement propre.

« Énergie durable pour tous » encourage le type d'actions dont nous avons besoin pour mettre le monde sur la voie du « bien en-deçà des 2 °C » grâce à l'énergie durable et pour sortir plus d'un milliard de personnes de la pauvreté, à l'appui de l'ODD n° 7 et de l'Accord de Paris.

En tant que plateforme mondiale, « Énergie durable pour tous » donne aux dirigeants les moyens d'établir des partenariats et de débloquer des fonds pour réaliser l'accès universel à l'énergie durable, afin de contribuer à un monde plus propre, plus juste et plus prospère pour tous. Nous rassemblons des preuves, comparons les progrès, amplifions les voix de nos partenaires, nous faisons l'écho des réussites et mettons en relation les parties prenantes (de plus amples informations sont disponibles à l'adresse suivante : [http://www.se4all.org/decade\\_un-energy-decade](http://www.se4all.org/decade_un-energy-decade) (en anglais)).

L'accès à un approvisionnement énergétique constant est d'une importance cruciale pour les communautés rurales et les acteurs des filières agroalimentaires dans le monde entier. Cependant, la source de cette énergie doit être bien pensée, et une bonne planification est nécessaire de la part tant des exploitants agricoles que des autres acteurs du secteur afin d'assurer la durabilité et la viabilité économique de l'approvisionnement énergétique pour leur activité spécifique de production ou de transformation.

#### 1.1.5. Sources d'énergie

Par le passé, les pays à faible PIB, surtout, ont eu tendance à compter sur les combustibles fossiles pour fournir l'énergie nécessaire aux activités agricoles et non agricoles, compte tenu de la disponibilité de ceux-ci. Dans les pays d'Afrique de l'Est, par exemple, l'agriculture à petite échelle reste grandement tributaire des combustibles fossiles, plus facilement accessibles. Par définition, les combustibles fossiles sont formés par des processus naturels, comme la décomposition anaérobie d'organismes morts enfouis, contenant de l'énergie provenant d'une photosynthèse ancienne. L'âge des organismes et des combustibles fossiles qui en résultent est généralement de plusieurs millions d'années et dépasse parfois 650 millions d'années. Les combustibles fossiles contiennent des pourcentages élevés de carbone et comprennent le pétrole, le charbon et le gaz naturel. Le kérosène et le propane sont d'autres dérivés couramment utilisés. Les combustibles fossiles vont des matières volatiles avec un faible ratio carbone/hydrogène, comme le

méthane, aux matières non volatiles composées de carbone presque pur, comme l'antracite, en passant par des liquides comme le pétrole. Le méthane se trouve dans les gisements d'hydrocarbures soit seul, associé au pétrole, soit sous forme de clathrates de méthane (des informations beaucoup plus détaillées concernant les combustibles fossiles et leur utilisation sont disponibles sur Wikipédia). Lorsqu'ils sont utilisés seuls, les combustibles fossiles ne sont généralement pas reconnus comme offrant des avantages connexes. Les avantages prennent généralement la forme de **compromis**, par l'élimination d'une source d'émissions de GES et son remplacement par une source dont les émissions de GES sont plus faibles, c'est-à-dire qui restreint les émissions de GES à la source.

Un bon exemple de la façon dont le fardeau de la pollution peut être imposé au pollueur consiste à persuader de petites et moyennes entreprises impliquées dans la chaîne agroalimentaire que les coûts d'une simple réduction de 10 % des émissions de GES sont supportables. Bien sûr, les avantages, même au-delà des exploitations agricoles, comme les avantages économiques et autres, doivent être assez significatifs sur le long terme. Placer la responsabilité sur le producteur des émissions est beaucoup plus fiable que d'essayer de convaincre une communauté locale d'un pays à faible PIB de passer à des régimes alimentaires reposant sur la consommation de produits frais et locaux à faible émission de GES – étant donné que beaucoup de ces pays sont encore en proie à la pauvreté. Cette approche pourrait également contribuer à réduire la demande globale d'énergie, d'eau et de terres. Les avantages pour l'entreprise peuvent être plus facilement identifiés, par exemple, malgré des coûts initiaux de démarrage plus élevés, les coûts liés à la consommation d'énergie pourraient être réduits à long terme, et les triples gains sont plus facilement observables à une échelle plus restreinte et localisée.

Contrairement aux combustibles fossiles qui sont à l'origine de fortes émissions de GES, les technologies d'énergie renouvelable souvent largement utilisées dans l'agriculture climato-intelligente et les systèmes agro-alimentaires énergétiquement intelligents ont tendance à s'inspirer des technologies **éoliennes, solaires, hydroélectriques et géothermiques, et les ressources de biomasse sont considérées comme davantage susceptibles de procurer des avantages connexes**. Plus récemment, la **bioénergie** produite par les usines de transformation des aliments a commencé à être utilisée, bien que le sujet soit encore en discussion et que beaucoup plus de recherches soient nécessaires pour recenser les coûts environnementaux positifs, négatifs et autres de cette énergie. De plus, à l'avenir, il sera peut-être possible de bien plus exploiter l'**énergie marémotrice** pour la pêche et l'aquaculture. Par conséquent, pour passer progressivement à des systèmes agro-alimentaires énergétiquement intelligents, les agriculteurs, les petites et grandes entreprises ou même les communautés agricoles devraient s'efforcer d'identifier la combinaison de technologies, d'équipements et d'installations énergétiques appropriés en vue d'améliorer l'efficacité énergétique, de réduire les émissions de GES et de contribuer à la sécurité alimentaire.



Figure 4 - Sources des technologies ER

La nature de cette combinaison dépendra des conditions naturelles, de l'infrastructure et des compétences disponibles sur le marché du travail. Il existe de nombreuses technologies ER qui peuvent s'intégrer à l'agriculture climato-intelligente et aux systèmes agro-alimentaires énergétiquement intelligents, dont : les éoliennes, les capteurs solaires, les panneaux photovoltaïques, les unités de production de biogaz, les génératrices électriques, les équipements d'extraction et de purification de bio-huile, les installations de fermentation et de distillation d'éthanol, les unités de pyrolyse, les dispositifs de conversion hydrothermale, les pompes à eau solaires, à énergie éolienne et à bioénergie, les véhicules électriques utilisant des sources renouvelables, les systèmes de surveillance, les technologies de l'information et de la communication (TIC), les cuisinières et les équipements d'adduction, de distribution et de purification de l'eau. Ces technologies ajoutent de la valeur à la production près de la source des matières premières (FAO, 2013), toujours privilégiée pour l'atténuation de tout impact environnemental.

Avant de prendre des décisions concernant les types appropriés de bouquets énergétiques, il est important d'étudier, de chiffrer et de planifier afin de déterminer si la palette retenue présente des avantages et si des compromis sont nécessaires. Ainsi, il existe une différence majeure entre tenter de réduire, par exemple, la demande de carburant des tracteurs par des mesures d'efficacité énergétique dans l'agriculture industrialisée et introduire des tracteurs ou des machines dans l'agriculture traditionnelle afin d'améliorer la productivité, de réduire les pertes et d'alléger la pénibilité du travail.

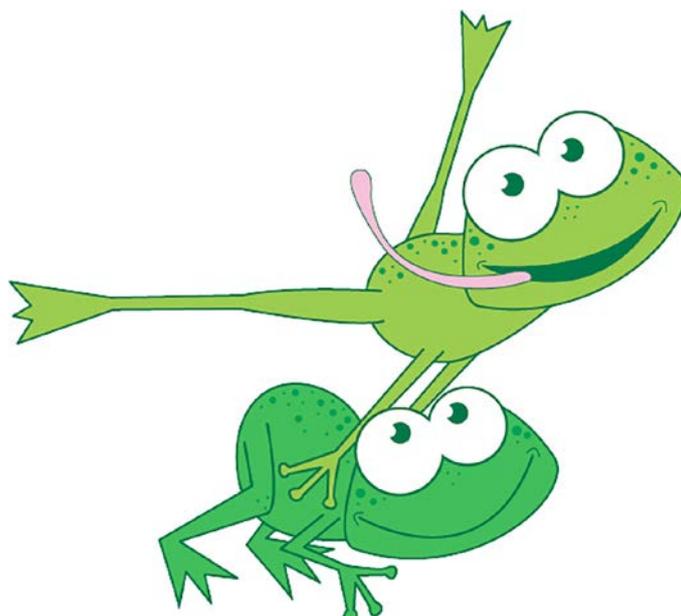


Figure 5 - La progression par bonds

En utilisant les bonnes pratiques, Leapfrog Technologies (la définition complète est fournie dans le glossaire) veille, dans la mesure du possible, à ce que les services énergétiques nécessaires (culture, transport, réfrigération, etc.) soient fournis à faible coût et avec un impact environnemental minimal. Le même argument vaut pour tous les aspects de la production et de la transformation des aliments. De même, les animaux utilisés pour le transport et la culture peuvent être remplacés par des tracteurs. Si cette évolution suppose la combustion d'une quantité accrue de combustibles fossiles, et donc une augmentation des émissions de GES, elle compense le nombre d'animaux de trait nécessaires et donc leur demande en aliments pour animaux (en concurrence avec la production alimentaire humaine pour les terres). Et, dans le cas spécifique des bovins, cela réduit en outre leurs émissions de méthane entérique. De ce fait, les émissions de CO<sub>2</sub>-eq provenant de la combustion du carburant des tracteurs sont le petit prix à payer (Simm, Flammini, Puri, Bracco, 2015). Ces émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> pourraient bien être éliminées d'une autre activité de production ou de transformation sur l'ensemble de la chaîne agro-alimentaire.

#### 1.1.6. Les échelles relatives des systèmes agro-alimentaires

L'éventail des systèmes agro-alimentaires s'étend des petits exploitants agricoles de subsistance de base qui cultivent de la nourriture pour leur propre consommation jusqu'aux grandes exploitations commerciales qui approvisionnent d'immenses chaînes de supermarchés dans le monde entier. Tous ces systèmes ont besoin d'énergie, qu'elle provienne de combustibles fossiles ou d'énergies renouvelables. L'électricité est l'un des principaux vecteurs énergétiques utilisés dans de nombreuses activités agricoles, dans les usines de transformation des aliments et dans la fabrication d'engrais, de machines, d'équipements et de matériaux de construction. Pourtant, il existe encore de petites communautés rurales isolées qui

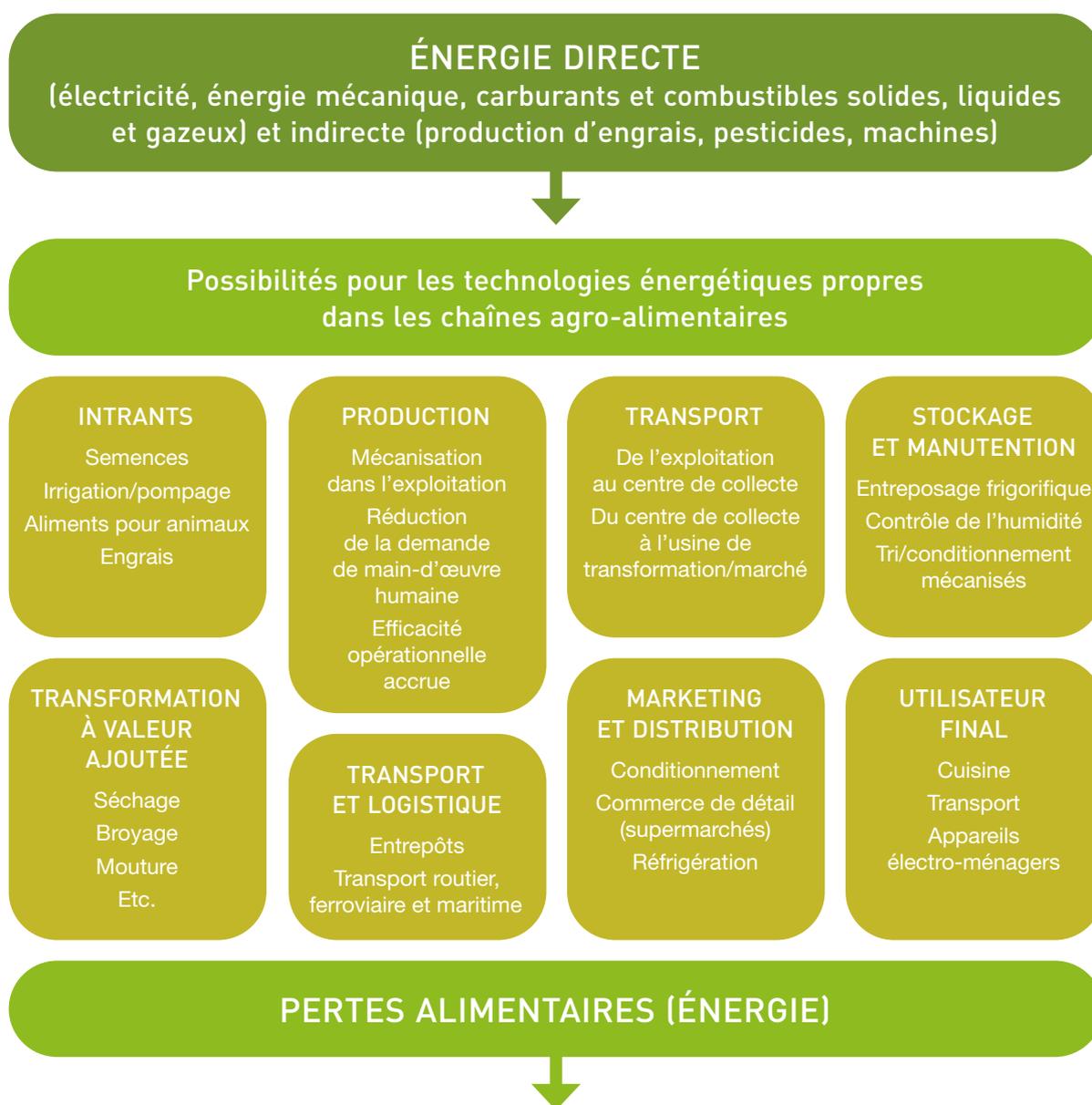
n'ont pas accès aux services énergétiques modernes, principalement en raison de la mauvaise infrastructure routière ou du fait que les réseaux électriques sont éloignés. Même là où des lignes de distribution d'électricité ont été construites, l'approvisionnement peut être très peu fiable, avec des pannes fréquentes et des fluctuations de la qualité de l'électricité - comme c'est le cas dans de nombreux pays ACP. Dans ces régions ultrapériphériques, le coût des combustibles liquides reste relativement élevé en raison des coûts de livraison. En conséquence, des groupes électrogènes diesel sont souvent utilisés pour produire de l'électricité. Plus récemment et dans la mesure du possible, des systèmes d'ER, tels que des systèmes hydroélectriques, éoliens et solaires à petite échelle, ont été mis au point pour sortir de la dépendance à l'égard des combustibles fossiles. Le Tableau 2 détaille l'ampleur relative de la dépendance à l'égard des combustibles fossiles dans une chaîne agroalimentaire typique, ainsi que l'intensité des intrants énergétiques à chacune des différentes échelles de la production et de la transformation des aliments.

**Tableau 2 :** Ampleur relative de la dépendance à l'égard des combustibles fossiles dans une chaîne agroalimentaire typique

Échelle du producteur	Intensité totale des intrants	Unités de main-d'œuvre	Traction animale	Dépendance envers les combustibles fossiles	Disponibilité de capitaux	Marchés agro-alimentaires importants	Intensité énergétique
<b>Niveau de subsistance</b>	Faible	1-2	Courante	Zéro	Micro-finance	Autoconsommation	Faible
<b>Petite unité/ exploitation familiale</b>	Faible	2-3	Possible	Faible/ moyenne	Limitée	Produits frais au niveau local/ transformation locale/ autoconsommation	Faible à élevée
	Élevée	2-3	Rare	Moyenne/ élevée	Limitée	Produits frais au niveau local/ transformation régionale/ autoconsommation	Faible à élevée
<b>Petite entreprise</b>	Faible	3-10	Rare	Moyenne/ élevée	Moyenne	Local/régional/ exportation	Faible à élevée
	Élevée	3-10	Jamais	Élevée	Moyenne	Local/régional/ exportation	Faible à élevée
<b>Grandes entreprises</b>	Élevée	10-50	Jamais	Élevée	Bonne	Transformation régionale/ exportation	Faible à élevée

Source: Tiré de de FAO, «Aliments "énergétiquement intelligents" pour les gens et le climat». Document d'information, 2011. P.5 Liste simplifiée d'exploitations agricoles et halieutiques à petite et à grande échelle typiques, classées d'après l'évaluation qualitative de leur unité opérationnelle, leur niveau d'intensification de la production, leur demande de main-d'œuvre, leur dépendance directe ou indirecte envers les combustibles fossiles, leur disponibilité de capitaux d'investissement, les marchés alimentaires desservis et leur intensité énergétique.

L'approche de la **chaîne de valeur** peut être appliquée pour recenser les intrants énergétiques à travers les différentes échelles de la chaîne agroalimentaire. Chaque étape présente un défi différent pour la fourniture de services énergétiques pertinents efficace, rentable et, dans la mesure du possible, en utilisant des combustibles à faible teneur en carbone. Un aperçu des différents types d'intrants énergétiques directs et indirects requis aux différentes échelles d'une chaîne agroalimentaire est présenté à la figure 6 ci-dessous (FAO : Sims, Flammini, Puri & Bracco, novembre 2015). L'approche de la chaîne de valeur aide également les utilisateurs d'énergie à identifier les possibilités d'intégrer des technologies propres - ou d'ER - ou même, aux différents points de la chaîne de valeur, des mélanges de combustibles fossiles et d'ER susceptibles de générer des avantages connexes sur le long terme.



**Figure 6** - Chaînes de valeur agro-alimentaires dans les secteurs de la production et de la transformation agricoles où des technologies d'énergie propre peuvent être mises en œuvre pour fournir les services énergétiques souhaités, mais avec des impacts environnementaux moindres, et notamment une réduction des émissions de GES (Source : Adapté de FAO - Sims, Flammini, Puri & Bracco, novembre 2015)

## 1.2. BESOINS ÉNERGÉTIQUES ET PRINCIPES FONDAMENTAUX DE L'ÉCONOMIE DE L'ÉNERGIE

L'agriculture et l'énergie ont toujours été étroitement liées, mais les liens changent et se renforcent avec le temps. La «mécanisation des filières agroalimentaires» signifie qu'aujourd'hui, les intrants et les extrants énergétiques sont beaucoup plus importants qu'ils ne l'ont jamais été dans l'histoire de l'agriculture. Les entreprises agricoles et agro-alimentaires sont également devenues plus intensives et sont aujourd'hui desservies par des services énergétiques modernes qui dépendent en grande partie des combustibles fossiles. Les liens subséquents entre les systèmes énergétiques et agroalimentaires se sont renforcés à mesure que l'agriculture est devenue de plus en plus dépendante des engrais chimiques, de l'irrigation et des machines. Les activités post-récolte, telles que le stockage, la transformation et la distribution des aliments, consomment également beaucoup d'énergie.

Par conséquent, l'augmentation et la volatilité des coûts de l'énergie ont un impact direct sur les coûts de production agricole et les prix des denrées alimentaires. Ces derniers temps, l'utilisation accrue de l'énergie par le secteur agricole a largement contribué à nourrir le monde. L'énergie provenant des combustibles fossiles a contribué à accroître la mécanisation agricole, à stimuler la production d'engrais et à améliorer la transformation et le transport des aliments. Entre 1900 (lorsque les intrants énergétiques se limitaient à une fertilisation de bas niveau et à une mécanisation rudimentaire) et 2000, la superficie cultivée dans le monde a doublé, mais l'énergie utilisée dans les cultures comestibles a été multipliée par six. Cette plus grande productivité a été rendue possible par une augmentation de 85 fois l'apport énergétique par hectare (Smil, 2008).



Figure 7 - Intrants énergétiques pour une série d'activités au sein de chaque maillon de la chaîne agro-alimentaire. [Source : Action pratique (2012), adapté de FAO 2009 et UTZ (2011). Voir <http://practicalaction.org/>]

L'augmentation des intrants énergétiques s'est produite dans une période où le pétrole était bon marché et où les changements climatiques suscitaient peu d'inquiétudes. Cependant, depuis lors, les temps ont changé. Les prix des engrais azotés et d'autres intrants tributaires des combustibles fossiles sont étroitement liés au prix du pétrole brut. La hausse et la volatilité des prix du pétrole se traduisent par une hausse et une fluctuation des coûts de production alimentaire. Les agriculteurs, et surtout les petits exploitants agricoles, sont les premiers à ressentir les effets de la hausse et de la volatilité des prix du pétrole. Deux outils fondamentaux de l'économie d'énergie peuvent néanmoins être déployés pour aider les entreprises de toute nature et de toute taille impliquées dans la chaîne agro-alimentaire à prendre les décisions les plus judicieuses en matière de coûts et d'avantages des intrants

énergétiques aux différentes échelles de production ou de transformation. Les outils les plus couramment utilisés sont l'analyse coûts-avantages et l'analyse du cycle de vie.

### 1.2.1. Économie de l'énergie – Analyse coûts-avantages, analyse du coût du cycle de vie, analyse du cycle de vie

L'analyse financière et économique est plus un art qu'une science pour ces aspects de la gestion de l'énergie, c'est-à-dire avec une durée de vie opérationnelle de plus de 15 ans. D'une manière générale, la gestion de l'énergie avec un délai de retour sur investissement court ne nécessite pas toujours une évaluation sophistiquée. Selon la taille de l'entreprise et l'objectif de l'investissement proposé, trois types de méthodes sont couramment utilisés pour déterminer les avantages et les coûts des investissements dans les technologies énergétiques. Il s'agit de l'**analyse coûts-avantages** (ACA), de l'**analyse du coût du cycle de vie** (ACCV) et de l'**analyse du cycle de vie** (ACV).

#### 1.2.1.1. Analyse coûts-avantages

L'analyse coûts-avantages (ACA), parfois appelée analyse coûts-bénéfices, est une méthode systématique d'estimation des forces et des faiblesses des solutions de rechange (par exemple, dans les transactions, les activités, les exigences opérationnelles fonctionnelles ou les investissements de projets); elle est utilisée pour déterminer les options qui offrent la meilleure approche pour obtenir des avantages tout en préservant les économies. L'ACA est également définie comme un processus systématique de calcul et de comparaison des avantages et des coûts d'une décision ou, dans le cas des technologies énergétiques, d'un projet nécessitant un investissement. Le Tableau 3 ci-dessous décrit les grandes étapes analytiques nécessaires pour arriver à un résultat qui indique si l'investissement – sur une période de temps déterminée – procure ou non les avantages requis.

Ainsi, l'ACA est appliquée largement comme un outil économique à deux fins principales :

1. Déterminer si un investissement/une décision est judicieux (justification/faisabilité) – en vérifiant si ses avantages l'emportent sur les coûts, et de combien;
2. Fournir une base de comparaison pour les projets – ce qui implique de comparer le coût total prévu de chaque option par rapport à ses avantages totaux prévus.

L'ACA est liée à l'analyse coût-efficacité (mais distincte de celle-ci). Dans l'ACA, les avantages et les coûts sont exprimés en termes monétaires et sont ajustés en fonction de la valeur temporelle de l'argent, de sorte que tous les flux d'avantages et de coûts du projet dans le temps (qui ont tendance à survenir à des moments différents) sont exprimés sur une base commune en fonction de leur valeur nette actualisée.

Un exemple simple est le remplacement d'un éclairage inefficace par des luminaires à DEL efficaces. Cette action devrait se traduire par un rapport coûts/bénéfices

supérieur à 1, ce qui indiquerait qu'elle est financièrement intéressante pour l'entreprise, puisque les avantages l'emportent sur les coûts. Les mesures prises pour parvenir au rapport coûts/avantages prennent la forme suivante :

1. Recenser les coûts et les avantages – ce qui compte, qui compte et la période de temps.
2. Calculer les coûts et les avantages – méthodes de calcul et d'actualisation des avantages/coûts futurs.
3. Comparer les coûts consolidés avec les avantages globaux.
4. Tous les ratios d'ACA de 1 ou plus indiquent le succès de la proposition ou du projet.

Un exemple plus détaillé pour la chaîne agroalimentaire pourrait être de déterminer si les avantages l'emportent sur les coûts pour un petit propriétaire foncier qui envisage l'achat d'un séchoir solaire. Prenons un petit propriétaire foncier qui fournit à la fois la main-d'œuvre, les capitaux et les dépenses de fonctionnement pour pouvoir produire 4 000 sacs de bananes et de mangues séchées par an. Même s'il s'agit d'un exercice très simple, il faut noter que les intrants varient en fonction de la taille, de l'emplacement, des coûts de la main-d'œuvre locale et de l'utilisation du séchoir solaire, en d'autres termes ; sèche-t-il des fruits ou des légumes, et de quel type ?

Dans cet exemple, on suppose ce qui suit :

#### **REVENU :**

- Prix de vente par sac (de 100 g de fruits séchés) 1,00 \$
- Quantité de sacs produits et vendus (unités) 4 000

#### **COÛT**

##### **CAPEX (dépenses en capital)**

- Séchoir solaire simple 1 000 \$
- Construction (coût de la main-d'œuvre) 20 \$
- Scelleuse pour les sacs 80 \$

##### **OPEX (Dépenses d'exploitation)**

- Coût par sac 0,10 \$
- Coûts par mangue (30 g) 0,16 \$
- Coûts par banane (30 g) 0,10 \$
- Coûts de la main-d'œuvre (incluant l'entretien) 0,35 \$/sac

##### **AUTRES PARAMÈTRES**

- Aucun coût d'achat de terrain ou de paiement de loyer n'est pris en compte
- Durée de vie du projet - 10 ans
- Taux d'actualisation - 10 %

Une fois ces données établies, le petit propriétaire foncier peut procéder au calcul de la rentabilité de cet investissement particulier comme illustré ci-dessous :

Tableau 3 : Étapes analytiques de l'analyse coûts-avantages

CAPEX	
Séchoir solaire simple (\$)	1 000
Construction (coût de la main-d'œuvre) (\$)	20
Scelleuse pour les sacs (\$)	80
Investissement initial total (\$)	1 100
OPEX	
Coût par sac (\$)	0,10
Nombre de sacs par an (unités)	4 000
Emballage (\$)	400
Coûts pour les mangues (\$)	1 066,67
Coûts pour les bananes (\$)	666,67
Coût de la main-d'œuvre (entretien inclus) (\$/sac)	0,35
Coût de la main-d'œuvre (\$/an)	1 400
Coût d'exploitation annuel (\$)	3 533,33
REVENUS	
Sachet de fruits séchés (100 g) prix de vente (\$)	1,00
Nombre de sacs vendus par année (\$)	4 000
Revenus annuels (\$)	4 000
Flux de trésorerie annuel (\$)	466,67
Période de rentabilisation (années)	2,36
Taux d'actualisation 10	0,10
Valeur actualisée nette (VAN) (\$)	1 767,46
Taux de rendement interne (TRI) (%)	41,06 %
Calculs supplémentaires	
2 000 sacs de tranches de mangues séchées, 2 000 sacs de tranches de bananes séchées	
1 sac = 100 g de fruits séchés, bananes ou mangues	0,48
4 000 sacs = 400 000 g de fruits secs	
1 mangue (30 g) (\$)	0,16
1 banane (30 g) (\$)	0,10
Bananes nécessaires pour 2 000 sacs	6 666,67
Mangues nécessaires pour 2 000 sacs	6 666,67

N.B. Les chiffres indiqués sont donnés à titre d'exemple et varient d'un projet à l'autre  
 Source : « Powering Agriculture : An Energy Grand Challenge for Development »,  
 disponible à l'adresse <https://poweringag.org/mooc>

Les méthodes appliquées pour l'établissement du budget d'investissement estiment rentable le projet de séchoir solaire considéré. Le temps de retour sur investissement calculé est de 2,36 ans, soit environ un quart de la durée de vie estimée du projet, de 10 ans. La VAN est positive et le TRI, de 41,06 %, est supérieur au taux minimum acceptable prédéfini pour cet exemple de 10 % (taux d'actualisation).

**Notes explicatives : pour le calcul de la VAN (valeur actualisée nette) et du TRI (taux de rendement interne)**

#### Calcul de la VAN

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{R_t}{(1+i)^t} + R_0$$

Figure 8 - L'équation de la VAN

- $R_t$  est la somme de tous les flux de trésorerie futurs actualisés
- $R_0$  est le flux de trésorerie (négatif) au moment zéro, représentant l'investissement initial
- $t$  est le moment du flux de trésorerie, en fonction de la durée de vie du projet
- $i$  est le taux d'actualisation ou le taux de rendement.

VAN = (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 1)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 2)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 3)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 4)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 5)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 6)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 7)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 8)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 9)) + (Flux de trésorerie annuel / (1,1 à la puissance 10)) - investissement initial

Tableau 4 : Feuille de calcul de la VAN

Flux de trésorerie annuel	Constante de formule + taux d'actualisation (1 + i)	Moment du flux de trésorerie (t)	(1 + i) <sup>t</sup>	Flux de trésorerie annuel / (1 + i) <sup>t</sup>
466,67	1,1	1	1,1	424,2455
466,67	1,1	2	1,21	385,6777
466,67	1,1	3	1,331	350,6161
466,67	1,1	4	1,4641	318,7419
466,67	1,1	5	1,61051	289,7654
466,67	1,1	6	1,771561	263,423
466,67	1,1	7	1,9487171	239,4755
466,67	1,1	8	2,1435888	217,705
466,67	1,1	9	2,3579477	197,9136
466,67	1,1	10	2,5937425	179,9215
			<b>SOMME</b>	2 867,485
			<b>Investissement initial</b>	1 100
			<b>VAN</b>	<b>1 767,485</b>

Les calculatrices en ligne telles que <https://www.calculatestuff.com/financial/npv-calculator> peuvent également être utilisées.

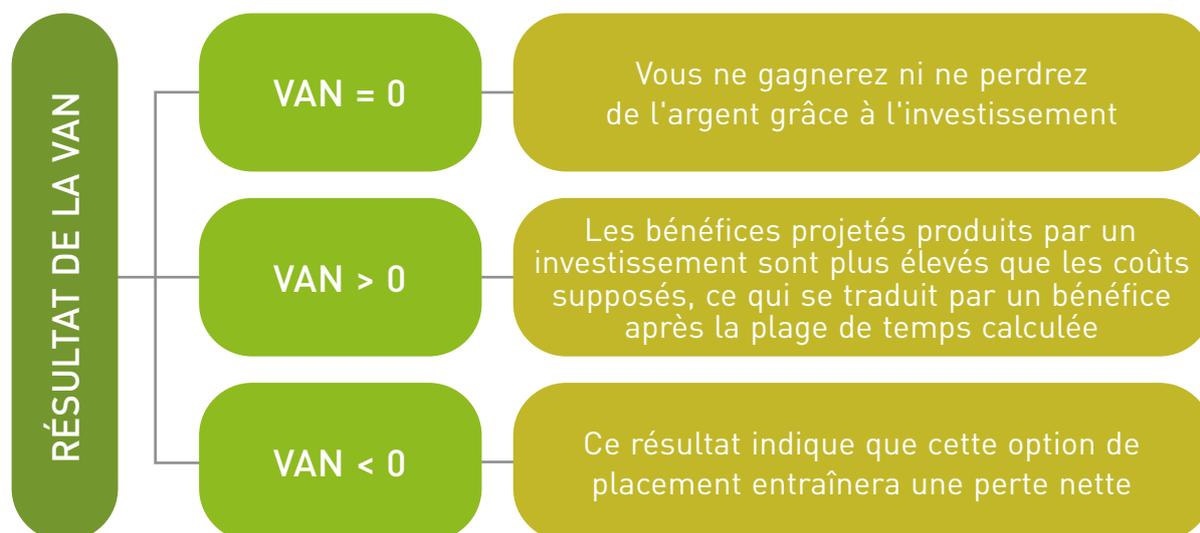


Figure 9 - Résultats VAN

## Calcul du TRI

$$\text{VAN} = 0, \text{ ou}$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{Cf_t}{(1 + IRR)^t} - I_0 = 0$$

Figure 10 - Équation IRR

- $Cf_t$  est la somme de tous les flux de trésorerie futurs actualisés
- IRR Taux de rendement interne
- $I_0$  est le flux de trésorerie au moment zéro, représentant l'investissement initial
- $t$  est le moment du flux de trésorerie, en fonction de la durée de vie du projet

Tableau 5 : Feuille de calcul du TRI

Flux de trésorerie annuel	Constante de formule	TRI <sup>1</sup>	Constante de formule + TRI (1 + TRI) <sup>1</sup>	Moment du flux de trésorerie (t)	(1 + i) <sup>t</sup>	Flux de trésorerie annuel / (1 + i) <sup>t</sup>
466,67	1	0,4106	1,410649	1	1,410649	330,8194
466,67	1	0,4106	1,410649	2	1,989931	234,5157
466,67	1	0,4106	1,410649	3	2,807094	166,2467
466,67	1	0,4106	1,410649	4	3,959824	117,8512
466,67	1	0,4106	1,410649	5	5,585921	83,54396
466,67	1	0,4106	1,410649	6	7,879775	59,22378
466,67	1	0,4106	1,410649	7	11,1156	41,98335
466,67	1	0,4106	1,410649	8	15,6802	29,76173
466,67	1	0,4106	1,410649	9	22,11926	21,0979
466,67	1	0,4106	1,410649	10	31,20252	14,95616
					<b>SOMME</b>	1 100
			<b>Investissement initial</b>			1 100
						0

Le calcul du TRI est de 41,06 %, après avoir correctement rempli les informations ci-dessus.

<sup>1</sup> Cette valeur doit être exprimée en pourcentage.

Le taux de rendement interne (TRI) est un paramètre utilisé dans l'analyse financière pour estimer la rentabilité des investissements potentiels sur une période de temps présumée. Le TRI est un taux d'actualisation qui rend nulle la valeur actualisée nette (VAN) de tous les flux de trésorerie d'un projet particulier. Pour pouvoir calculer le TRI, la VAN doit d'abord être calculée. Pour calculer mathématiquement le TRI, il faudrait fixer la VAN à zéro. Toutefois, le TRI est difficile à calculer analytiquement en raison de la complexité de la formule. Lors de l'utilisation de la formule, les calculs du TRI sont effectués par essais et erreurs. En raison de la complexité de ce type de calculs et du besoin de précision, le TRI est généralement calculé à l'aide de logiciels spéciaux. Des calculatrices en ligne pour le TRI se trouvent ici : <https://www.calculatestuff.com/financial/irr-calculator>.

Le format des calculs ci-dessus pour la VAN et le TRI est tiré de «Powering Agriculture Sustainable Energy for Food», disponible à l'adresse <https://poweringag.org/mooc>

ACA – le revenu et les avantages doivent dépasser l'investissement pour que le projet en vaille la peine.



- Recenser les coûts
- Déterminer les avantages
- Comparer les deux

### 1.2.1.2. Analyse du coût du cycle de vie et analyse du cycle de vie

L'analyse du coût du cycle de vie (ACCV) est un outil économique utilisé pour déterminer l'option la plus rentable parmi les différentes solutions concurrentes pour acheter, posséder, exploiter, entretenir et, finalement, éliminer un objet ou un procédé, lorsque chacune est également appropriée pour des raisons techniques. Par exemple, dans le cas d'une structure hors réseau, en plus du coût de construction initial, l'ACCV tient compte de tous les coûts d'utilisation (p. ex. capacité réduite au travail et dans les zones résidentielles) et des coûts d'agence liés aux activités futures, y compris l'entretien périodique et la réhabilitation futurs. Tous les coûts sont généralement actualisés et s'additionnent pour donner une valeur actualisée connue sous le nom de valeur actuelle nette (VAN).

Il est essentiel que tous les facteurs influents soient pris en compte avant d'entreprendre une ACCV. En d'autres termes ; quels sont les aspects à inclure ou non ? Cependant, si le périmètre étudié devient trop large, l'outil peut devenir peu pratique à utiliser, et sa capacité à éclairer la prise de décision et l'examen des solutions possibles, limitée. À l'inverse, si le périmètre pris en compte est restreint, les résultats peuvent être faussés par le choix des facteurs pris en compte, de sorte que le résultat devient peu fiable ou non spécifique. La Figure 11 ci-dessous indique grosso modo les étapes à suivre dans le cadre de l'ACCV pour déterminer les options les plus rentables pour un nouvel équipement, matériau ou système. Toutefois, il convient de noter que ni l'ACA ni l'ACCV ne sont appliquées de façon aussi générique que ce qui est indiqué ci-dessous.

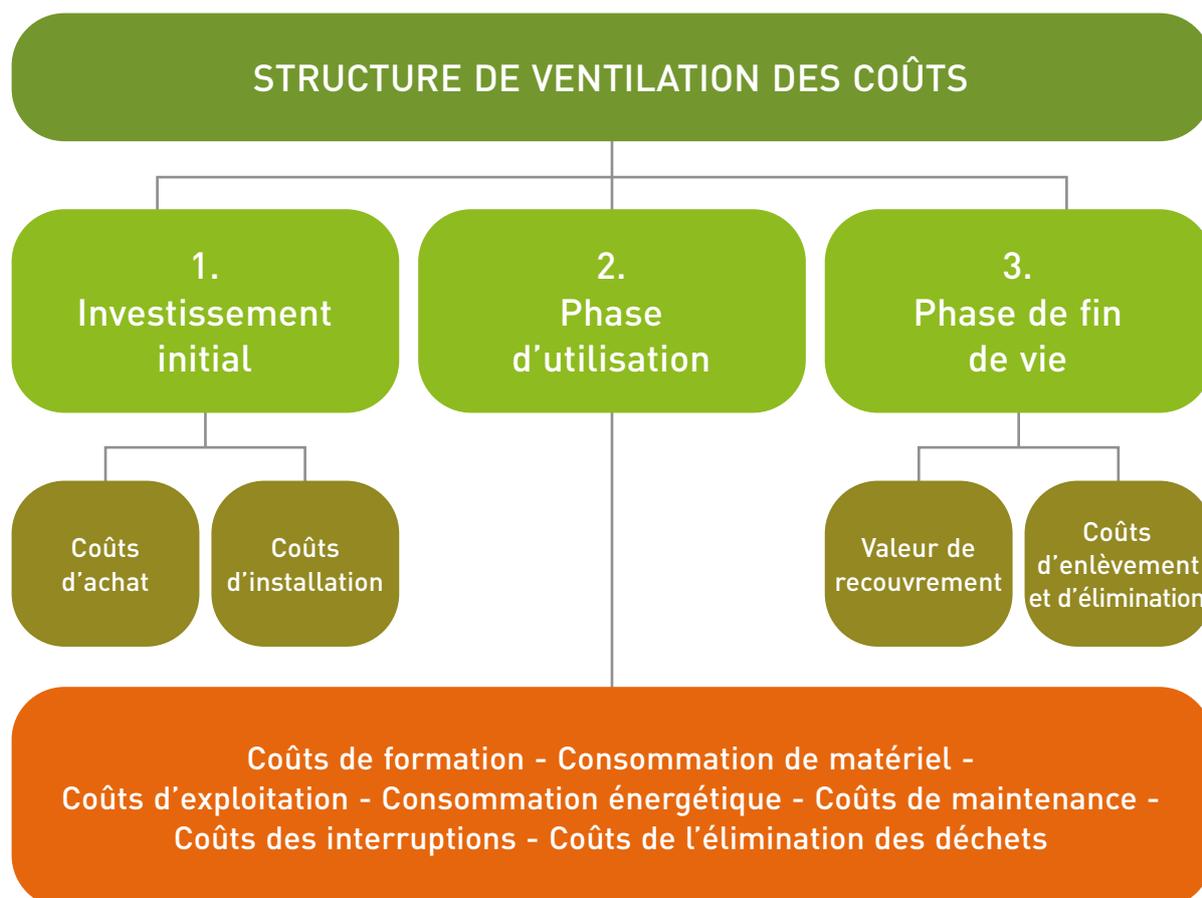


Figure 11 - Structure de ventilation des coûts génériques, y compris les éléments de coût typiques d'un projet d'efficacité énergétique (Adapté de European Copper Institute, 2005, [www.leonardo-energy.org/](http://www.leonardo-energy.org/))

**S'agissant de l'utilisation de l'ACCV, il est important de noter ce qui suit :**

- Pour effectuer une ACCV, la VAN doit être calculée. Cela nécessite une estimation des dépenses pour chaque année du projet, en tenant compte du fait que les coûts recensés doivent être ajustés pour intégrer l'inflation ou « actualisés ». La VAN est calculée en attribuant une valeur monétaire aux avantages et aux coûts, en actualisant les avantages et les coûts futurs au moyen d'un taux d'actualisation approprié et en soustrayant les coûts actualisés des avantages actualisés. Les avantages et les coûts actualisés transforment les profits et les pertes de différentes périodes en une unité de mesure commune.
- L'ACCV est une procédure bien définie pour estimer les coûts globaux des différentes options d'un projet. Fondamentalement, l'ACCV consiste à additionner tous les coûts initiaux et courants de la structure, du produit ou du composant pendant la période d'utilisation prévue, à soustraire la valeur dérivée au fil du temps et à s'ajuster continuellement à l'inflation.

En outre, il convient de noter que le terme « ACCV » implique que les coûts environnementaux ne sont pas pris en considération et ne sont donc pas inclus dans le résultat final. Tandis que **l'analyse du cycle de vie (ACV)**, quelque peu similaire, a généralement une portée plus large et inclut tous les coûts environnementaux.

Les comparaisons de l'analyse du cycle de vie (ACV) peuvent fournir des renseignements utiles sur l'empreinte environnementale à long terme, car elle influe sur les avantages économiques et sociaux par rapport aux coûts des projets d'investissements énergétiques plus complexes. L'ACV est utilisée pour dériver des indicateurs des impacts des options actuelles de production alimentaire et des impacts potentiels de l'évolution de la demande, mais il convient d'être prudent dans l'interprétation des résultats.

Chaque intervention nécessite une analyse minutieuse. Cela doit se faire à l'aide d'une ACV, qui inclut les effets indirects de l'intervention, pour évaluer les synergies et les compromis entre les différents **objectifs de développement durable** (Figure 12) liés à l'énergie, au climat, à la sécurité alimentaire et à la sécurité de l'eau.



Figure 12 - Objectifs de développement durable. De plus amples informations sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/>

Il est important de noter que les ACV sont généralement appliquées pour déterminer la durabilité à long terme de grands investissements dans des technologies énergétiques dérivées des ER ou des combustibles fossiles. Les ACV réalisées pour la production d'électricité indiquent que les émissions de GES provenant des technologies d'ER sont, en général, beaucoup plus faibles que celles associées aux options basées sur les combustibles fossiles et, moyennant certaines conditions, inférieures à celles des combustibles fossiles qui utilisent le CSC.

Les valeurs médianes pour l'ensemble des ER varient entre 4 et 46 g de CO<sub>2</sub>eq/kWh, tandis que celles des combustibles fossiles varient entre 469 et 1001 g de CO<sub>2</sub>eq/kWh (hors émissions dues aux changements d'affectation des sols) (GIEC, 2012). Des informations beaucoup plus détaillées sur l'ACV appliquée aux filières agroalimentaires sont fournies dans les normes ISO 14040 et ISO 14043 ainsi que dans le Manuel de formation COLEACP relatif à l'agriculture, à la santé et à

l'environnement. Néanmoins, pour les décisions liées à l'énergie, la Figure 13 fournit les étapes de l'ACV telle qu'elle est appliquée pour déterminer l'empreinte du photovoltaïque organique.

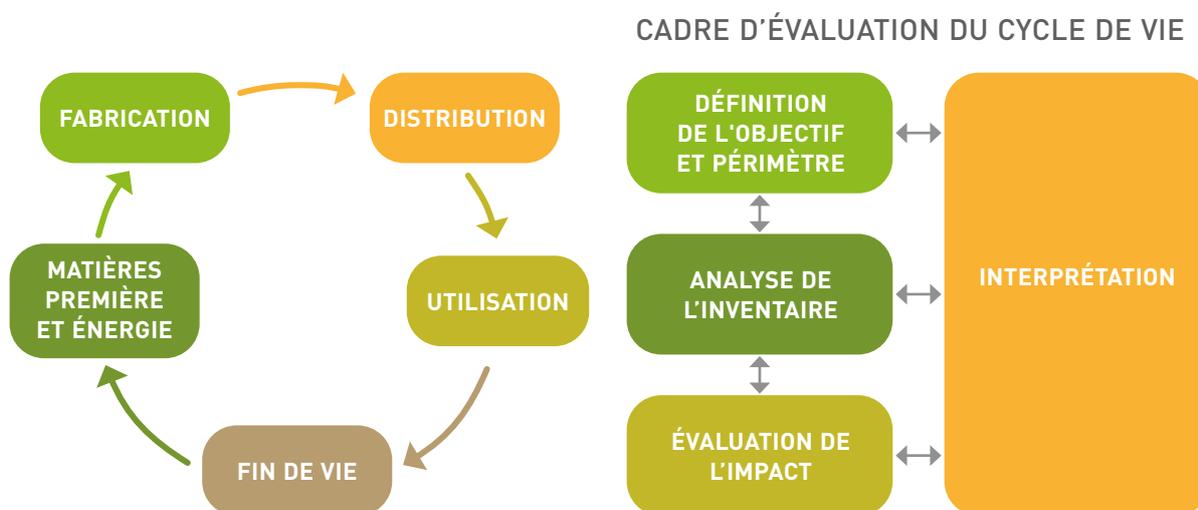


Figure 13 - Étapes d'une ACV pour le photovoltaïque organique (Source : Intech - matériel open source - <https://www.intechopen.com/books/third-generation-photovoltaics/life-cycle-assessment-of-organic-photovoltaics>)

L'ACCV est un outil utilisé pour déterminer l'option la plus rentable parmi différentes solutions concurrentes pour acheter, posséder, exploiter, entretenir et, finalement, éliminer un objet ou un procédé, lorsque toutes sont également appropriées sur le plan technique.

L'ACV (aussi appelée éco-bilan et analyse du berceau à la tombe)<sup>1</sup> est une technique utilisée pour évaluer les impacts environnementaux associés à toutes les étapes de la vie d'un produit, de l'extraction des matières premières à la transformation, à la fabrication, à la distribution, à l'utilisation, à la réparation, à l'entretien et à l'élimination ou au recyclage des matériaux.



### 1.2.1.3. Application de l'ACA, de l'ACCV et de l'ACV

1. **L'ACA est simple à utiliser.** Son principal avantage est qu'elle est facile à comprendre. Il s'agit d'un outil économique simple qui permet de déterminer **si les avantages l'emportent sur les coûts**. Cette clarté signifie que toutes les personnes impliquées dans une proposition ou un projet comprendront la nature monétaire de celui-ci et la question de sa poursuite. Sa simplicité signifie également qu'il est facile d'effectuer une analyse coûts-avantages pour divers scénarios, lieux et plus encore. L'analyse coûts-avantages est souvent obligatoire dans de nombreux pays lorsqu'il s'agit de prendre l'impact environnemental en compte dans le processus décisionnel.

**Attention :**

- L'ACA peut être mal utilisée, et il peut y avoir un malentendu quant à l'intention dans laquelle elle est utilisée.
  - L'ACA ne peut pas participer seule au processus décisionnel. Elle ne peut pas modifier une politique et n'a pas pour but de faire appliquer une politique.
  - Bien que l'utilisation de l'ACA en vue de déterminer les coûts ou les bénéfices d'un projet soit obligatoire dans certains pays, des études ont montré que l'ACA montre ses limites lorsqu'il s'agit de prendre des décisions d'investissement complexes, notamment dans le cadre du développement durable. Si le projet comporte des coûts sociaux et environnementaux, il peut être difficile, voire impossible, d'arriver à des estimations de coûts précises.
2. **L'ACCV peut être utilisée pour analyser et tirer le meilleur parti de budgets limités.** L'ACCV peut également être utilisée pour évaluer des politiques d'entreprise. L'utilisation de l'ACCV contribue à assurer la conformité réglementaire. L'ACCV peut être utilisée par les gestionnaires de projet pour prendre en compte les coûts potentiellement imprévus tels que les amendes pour retards, les temps d'arrêt et tout problème de sécurité lors de la réalisation de l'analyse.

L'ACCV facilite la gestion de projet, car elle évolue au cours du cycle de vie d'un projet. L'ACCV peut aider les gestionnaires de projet à mieux comprendre les **coûts réels** de tout projet.

**Attention :**

- **Calcul de base de l'ACCV :** L'ACCV est une procédure bien définie pour estimer les coûts globaux des différentes options d'un projet. Fondamentalement, l'ACCV consiste à additionner tous les coûts initiaux et courants du projet sur une plage de temps bien définie et, surtout, à **ajuster tous les coûts en fonction de l'inflation**.
  - **Relation entre l'ACCV et la VAN :** Pour effectuer une ACCV, la VAN doit être calculée. Cela nécessite une estimation des dépenses pour chaque année du projet, en tenant compte du fait que les **coûts recensés doivent être ajustés pour tenir compte de l'inflation ou être « actualisés »**.
3. **ACV :** les données utilisées peuvent contribuer à **relever le transfert des impacts environnementaux d'une source vers une autre et/ou d'une étape du cycle de vie d'un projet, d'une idée ou d'une technologie vers une autre**. L'utilisation de l'ACV peut déboucher sur des solutions innovantes, réduire les coûts, aider à définir les objectifs internes et à communiquer, assurer le respect de toutes les exigences réglementaires et réduire les risques.

**Attention:** L'expérience a montré que l'usage de méthodologies différentes peut produire des résultats variables. Les résultats peuvent être subjectifs plutôt qu'objectifs, la validité des données et des informations utilisées est toujours une source de préoccupations, l'application de l'ACV n'est pas encore largement acceptée. L'expérience a montré que la norme ISO 14040 (qui concerne l'application et l'utilisation de l'ACV) n'est pas encore au point pour les déclarations environnementales et les bilans carbone (définition complète de ce terme dans le glossaire).



### 1.2.2. Efficacité dans l'utilisation de l'énergie et choix de la source d'énergie

Si les prix de l'énergie continuent d'augmenter, le secteur alimentaire mondial sera confronté à des risques accrus et à une baisse des bénéfices. Les efforts déployés par les pays à faible PIB pour imiter les pays à PIB élevé en vue d'accroître la productivité et l'efficacité des petits et grands systèmes agro-alimentaires pourraient être freinés en raison des coûts énergétiques élevés. Les pratiques actuelles de production et de transformation dans les exploitations agricoles et en-dehors de celles-ci peuvent être adaptées pour les rendre moins énergivores par unité d'aliment produite et, en même temps, veiller à ce qu'elles fournissent des aliments d'une manière sûre et écologiquement durable. Les technologies, méthodes et pratiques énergétiques visant à améliorer l'efficacité énergétique sont raisonnablement bien documentées et comprises. Par conséquent, il existe un consensus général selon lequel les technologies ER, lorsqu'elles sont appliquées pour améliorer l'efficacité énergétique, sont inévitablement préférables à l'utilisation de combustibles fossiles. Néanmoins, les améliorations de l'efficacité énergétique ne devraient être appliquées que lorsqu'elles ne nuisent pas à la productivité, ne restreignent pas l'accès à l'énergie et ne menacent pas les moyens de subsistance des populations rurales. Il existe de nombreuses autres interventions techniques et sociales directes ou indirectes qui peuvent être déployées pour améliorer l'efficacité tout au long de la chaîne agro-alimentaire (cf. Tableau 6) et ne sont pas toujours directement liées aux **coûts totaux moyens actualisés de l'énergie produite (LCO)**.

**Tableau 6 :** Exemples d'améliorations de l'efficacité énergétique et d'interventions techniques et sociales indirectes tout au long de la chaîne agroalimentaire.

	Directement	Indirectement
Dans les exploitations agricoles	Adoption et entretien de moteurs écoénergétiques	Variétés de cultures et races animales moins exigeantes en intrants
	Applications précises dans le domaine de l'eau	Réduction de l'érosion des sols
	Agriculture de précision pour les engrais	Réduction de la demande et des pertes d'eau
	Adoption de pratiques de semis direct	Utilisation de bio-fertilisants
	Environnements de bâtiment contrôlés	Fabrication de machines efficaces
	Gestion de la chaleur dans les serres	Technologies de l'information et de la communication pour déterminer les emplacements des stocks et les marchés
Hors exploitation	Conception des hélices des bateaux de pêche	
	Conception et exploitation des camions	Conception et exploitation des camions
	Moteurs électriques à vitesse variable	Moteurs électriques à vitesse variable
	Éclairage et chauffage optimisés	Éclairage et chauffage optimisés
	Isolation des chambres froides	Isolation des chambres froides
	Réduction de l'emballage des aliments au strict minimum	Réduction de l'emballage des aliments au strict minimum
Optimisation de l'efficacité des appareils de cuisson et du chauffage des locaux	Optimisation de l'efficacité des appareils de cuisson et du chauffage des locaux	

Source : adapté de FAO, 2011

La valeur actualisée nette du coût unitaire de l'énergie sur la durée de vie d'un actif de production est appelée LCO. Elle est souvent considérée comme une approximation du prix moyen que l'actif de production doit recevoir sur un marché pour atteindre le seuil de rentabilité au cours de sa durée de vie. Le LCO pour de nombreuses technologies ER est actuellement plus élevé que les prix de l'énergie existants, bien que, dans divers contextes, les ER soient déjà économiquement compétitives. Les fourchettes des LCO récents pour certaines technologies d'énergie renouvelable disponibles sur le marché sont disparates, en fonction d'un certain nombre de facteurs, dont les caractéristiques de la technologie, les variations régionales des coûts et du rendement, et les taux d'actualisation différents. Certaines technologies ER sont largement concurrentielles par rapport aux prix actuels du marché de l'énergie. Alors que de nombreuses autres technologies ER peuvent fournir des services énergétiques compétitifs dans certaines circonstances, par exemple dans des régions où les conditions de ressources sont favorables ou qui manquent d'infrastructures pour d'autres approvisionnements énergétiques à bas prix.

Lorsqu'il s'agit de décider d'investir ou non dans des technologies d'énergie renouvelable et l'efficacité énergétique, une entreprise agricole et/ou alimentaire compare toute autre option avec la source d'énergie ou la technologie actuellement utilisée (par exemple, les combustibles fossiles). L'analyse de nombreuses installations de démonstration et de centrales commerciales d'énergie renouvelable montre que les coûts des projets sont très spécifiques à chaque site. Les coûts moyens actualisés de nombreuses technologies d'énergie renouvelable sont de plus en plus concurrentiels par rapport aux coûts moyens actuels de l'électricité, de la chaleur et des carburants fossiles qu'elles remplacent. De plus, les coûts des technologies d'énergie renouvelable diminuent à mesure que la taille de leurs marchés augmente. On en trouve de bons exemples dans les différentes régions d'Afrique, où les communautés rurales qui n'ont pas accès au réseau électrique peuvent déployer des systèmes d'énergie renouvelable autonomes, évitant ainsi des coûts de raccordement élevés (source: «Powering Agriculture An Energy Grand Challenge for Development» disponible à l'adresse <https://poweringag.org/mooc>).

La **Figure 14** ci-dessous illustre bien la baisse continue des énergies renouvelables par rapport à l'énergie dérivée des combustibles fossiles.

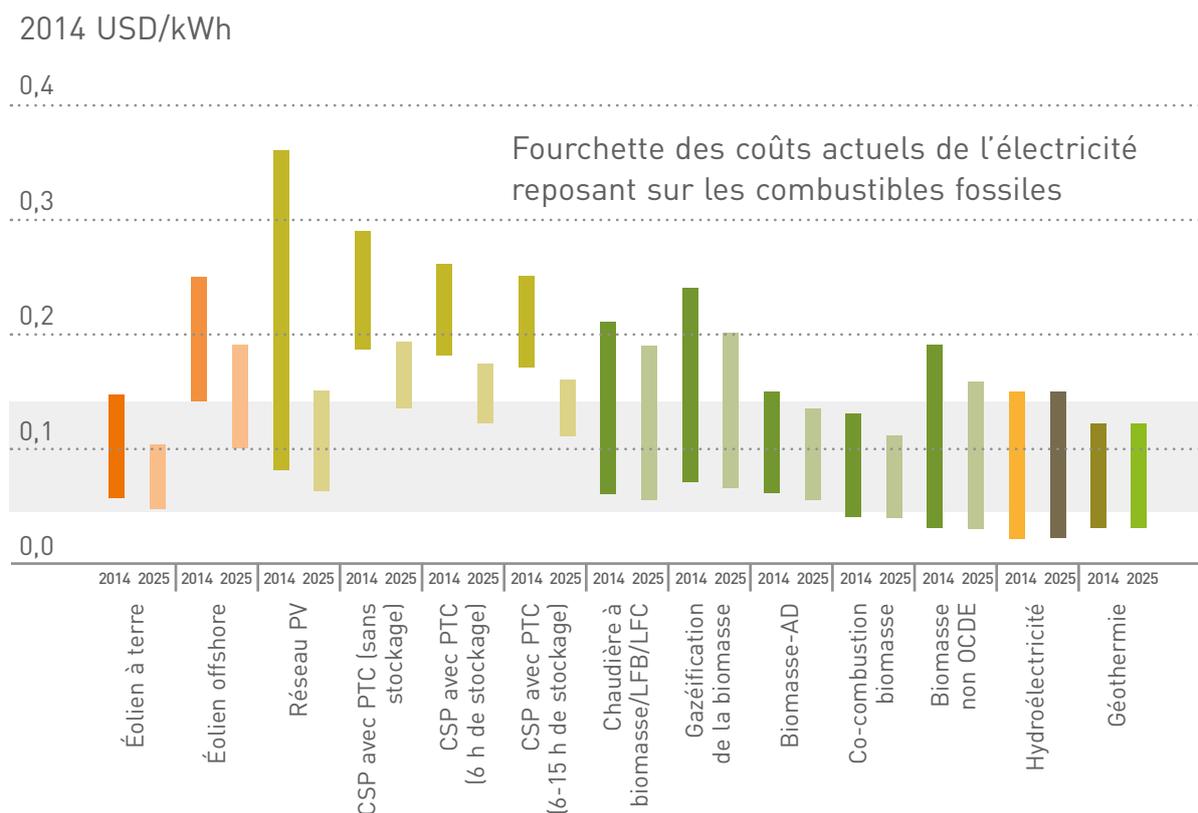


Figure 14 - Fourchettes de LCO par technologie de production d'énergie renouvelable, 2014 et 2015  
(Source <http://grist.org/climate-energy/renewable-energy-is-getting-cheaper-and-cheaper-in-6-charts/>)

Les technologies/industries à droite, les énergies renouvelables «de base», sont assez matures, et leurs coûts ne devraient pas chuter de manière significative. Mais le vent et le soleil, dans toutes leurs manifestations, semblent enregistrer une tendance à la baisse. D'ici 2025, les centrales à combustibles fossiles devront être clairement justifiées sur tous les plans, non seulement environnemental, mais aussi économique.

Pour faire simple, le LCO représente le coût d'un système énergétique sur sa durée de vie. Le LCO couvre généralement, mais pas toujours, tous les coûts privés qui ont tendance à s'accumuler en amont dans une chaîne de valeur agroalimentaire. Il n'inclut pas les coûts situés plus en aval de la chaîne de valeur, ni le coût final de livraison à l'utilisateur final, ni les coûts d'intégration ni aucun autre coût exogène. De plus amples informations peuvent être obtenues sur <http://grist.org/climate-energy/renewable-energy-is-getting-cheaper-and-cheaper-in-6-charts/>.

Le LCO d'une technologie énergétique ER spécifique n'est pas toujours le seul élément déterminant de sa valeur ou de sa compétitivité économique. L'attractivité d'une option d'approvisionnement énergétique particulière dépend également de facteurs économiques, environnementaux et sociaux plus vastes, ainsi que de la contribution que la technologie apporte à la fourniture de services énergétiques particuliers (p. ex. la demande d'électricité de pointe) ou impose au système énergétique sous la forme de frais accessoires (p. ex. les coûts d'intégration).

Les technologies ER sont préférées aux combustibles fossiles bien que leurs coûts de démarrage soient généralement plus élevés que ceux desdits combustibles. Non seulement en raison de leurs émissions de GES moindres, mais aussi parce que le coût de la plupart des technologies ER continue de diminuer. En outre, les progrès techniques potentiels et attendus devraient se traduire par de nouvelles réductions de coûts. Si les progrès significatifs des technologies ER et les réductions de prix à long terme qui en découlent sont devenus évidents au cours des dernières décennies, des périodes de hausse des prix ont parfois été observées (en raison, par exemple, d'une demande croissante d'ER en excédent de l'offre disponible).

Il convient de noter que les coûts et les défis liés à l'intégration des parts croissantes d'ER dans un système d'approvisionnement énergétique existant dépendent de la part actuelle d'ER, de la disponibilité et des caractéristiques des ressources en ER, des caractéristiques du système et de la façon dont le système est susceptible d'évoluer et de se développer à l'avenir. Que ce soit pour l'électricité, le chauffage, le refroidissement, les combustibles gazeux ou liquides, y compris l'intégration directe dans les secteurs d'utilisation finale, les défis de l'intégration des énergies renouvelables sont contextuels et propres au site et incluent toujours l'ajustement des systèmes d'approvisionnement énergétique existants (GIEC, 2012). La Figure 15 ci-dessous donne une vue d'ensemble de la capacité d'énergie renouvelable installée dans les principales régions du monde en 2015.

## ÉNERGIE RENOUVELABLE

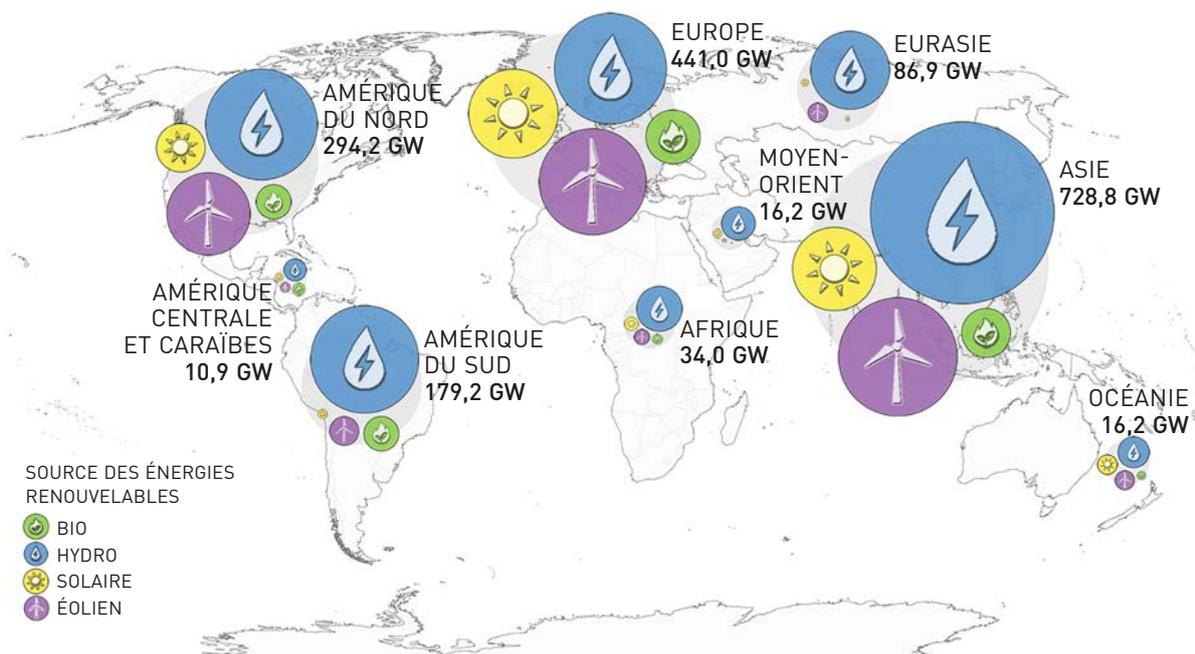


Figure 15 - Vue d'ensemble de la capacité d'énergie renouvelable installée

[Tiré de <http://www.viewsoftheworld.net/?p=4904>].

Énergie renouvelable : Europe : 441,0 GW - Eurasie : 86,9 GW - Asie : 728,8 - Moyen-Orient & Afrique : 34,0 GW - Océanie : 16,2 GW - Amérique du Nord : 294,2 GW - Amérique centrale et Caraïbes : 10,9 GW - Amérique du Sud : 179,2 GW

Source des données : IRENA (2016) - [www.viewsoftheworld.org](http://www.viewsoftheworld.org) - Carte créée par Benjamin Henning

### 1.3. SYSTÈMES DE GESTION DE L'ÉNERGIE

#### Systèmes de gestion de l'énergie – ISO 50001 et ISO 50002 – le cycle PDCA

Le terme « gestion de l'énergie » signifie beaucoup de choses différentes pour différentes personnes. En règle générale, elle implique l'application d'au moins trois principes :

1. Acheter le bouquet énergétique au prix le plus bas possible par unité de production d'énergie utile
2. Gérer la conversion de l'énergie et consommer avec une efficacité maximale
3. Utiliser la technologie la plus appropriée

Il est utile de prendre quelques minutes pour dresser une liste des actions ou des mesures associées à chacun de ces principes susceptibles d'avoir une incidence sur les besoins énergétiques d'un petit propriétaire foncier ou d'une entreprise.

- Lorsqu'elle examine le principe 1, Achat d'énergie, l'entreprise doit évaluer le coût par unité d'énergie disponible de la source, ainsi que les questions qui influent sur sa capacité à négocier des accords/contrats d'achat d'énergie favorables.

- L'application du principe 2 signifie que l'agriculteur/entreprise doit établir une liste des mesures de gestion qu'il/elle ou une autre personne de l'exploitation ou de l'entreprise peut prendre pour garantir que l'énergie soit utilisée aussi efficacement que possible.
- Le principe 3 peut être le plus difficile à traiter à court terme, que ce soit pour les agriculteurs ou pour les propriétaires d'entreprises. Comme nous l'avons déjà mentionné dans le présent chapitre, le choix de la source d'énergie ou de la technologie appropriée dépend de nombreux facteurs.

Lorsque l'on réfléchit aux aspects technologiques de la consommation d'énergie, il est utile de classer les mesures comme suit :

- **Aucun coût**, c'est-à-dire les changements d'ordre administratif et opérationnel.
- **Des mesures peu coûteuses**, c'est-à-dire des mesures qui peuvent nécessiter un certain investissement dans la technologie, mais qui reposent largement sur la participation de personnes et peuvent donc inclure la formation du personnel et des groupes du secteur de l'énergie et la (ré)évaluation de la politique d'achat.
- **Coût élevé**, c'est-à-dire les mesures qui nécessitent d'importants investissements en capital pour l'acquisition et l'installation de nouvelles technologies.

Les  **systèmes de gestion de l'énergie (EnMS)** couvrent les dimensions suivantes :

- **Technique** : dispositifs et systèmes consommateurs d'énergie qui utilisent ou convertissent l'énergie efficacement (ou inefficacement).
- **Organisationnelle** : structures et systèmes de gestion qui peuvent soutenir ou entraver la réalisation des objectifs d'efficacité énergétique.
- **Comportementale** : valeurs personnelles, attitudes et pratiques des membres de l'organisation qui ont une incidence sur la consommation d'énergie.

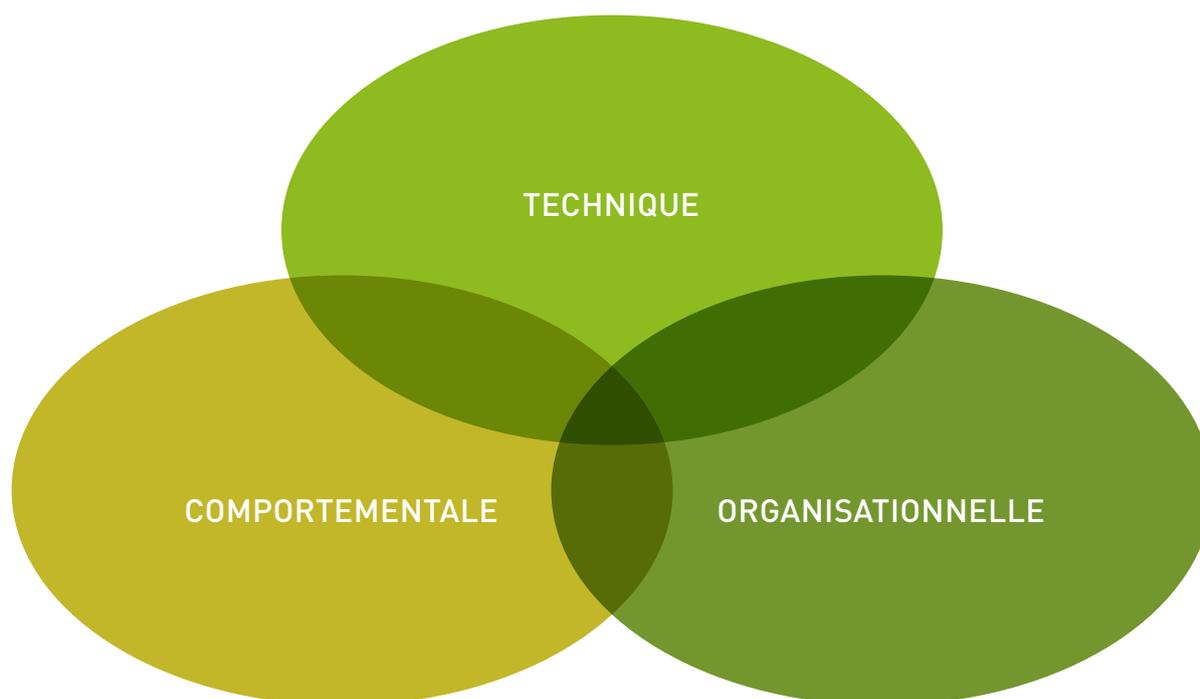


Figure 16 - Dimensions du système de gestion de l'énergie

### La norme ISO 50001 et la norme ISO 50002

La norme ISO 50001/2 est la norme applicable aux systèmes de gestion de l'énergie (un résumé de celle-ci figure à l'annexe 1 du présent chapitre). La norme internationale ISO 50001 précise les exigences pour l'établissement, la mise en œuvre, le maintien et l'amélioration d'un **système de gestion de l'énergie (EnMS)**, dont le but est de permettre à une organisation de suivre une approche systématique pour améliorer continuellement sa performance énergétique, et notamment les aspects de l'efficacité énergétique, de la sécurité énergétique, de l'utilisation et de la consommation d'énergie.

ISO 50001/2 est un système de gestion et *non* une directive sur la façon de réduire la consommation énergétique d'une entreprise, de bureaux, d'un hôpital, etc. La norme ISO 50001/2 ne fournit ni les mesures techniques ni les normes sur la façon de réduire la consommation d'énergie pour se conformer à des repères spécifiques. ISO 50001 est une *norme de gestion* volontaire qui aide les utilisateurs d'énergie à mettre en œuvre un système de gestion conçu pour réduire la consommation et les coûts énergétiques.

De plus amples informations sont disponibles à l'adresse suivante :

<https://www.iso.org/fr/iso-50001-energy-management.html>

La norme ISO 50001/2 est la première norme mondiale pour les EnMS et présente une voie de mise en œuvre systématique. Ce manuel se réfère presque exclusivement à la norme ISO 50001/2. Un EnMS englobe tous les éléments d'une organisation nécessaires à l'élaboration d'une politique énergétique, ainsi qu'à la définition et à la réalisation d'objectifs stratégiques. Il comprend donc les structures organisationnelles et informationnelles requises pour la mise en œuvre de la gestion de l'énergie, en ce compris toutes les ressources nécessaires. Il formule et met en

œuvre la politique énergétique (ainsi que les objectifs stratégiques et opérationnels et le plan d'action), la planification, l'introduction et le fonctionnement, le suivi et la mesure, le contrôle et la correction, les audits internes, ainsi qu'une revue de direction régulière.

La norme ISO 50001/2 est un système de gestion qui peut aider à réduire la consommation d'énergie et les coûts, et donc contribuer à la durabilité. La gestion de l'énergie et l'efficacité énergétique ne s'adressent pas uniquement aux grandes entreprises. Les agriculteurs seuls ou les petites entreprises peuvent également réaliser des économies substantielles, car les organisations, quelle que soit leur taille, utilisent toutes l'énergie de différentes manières et il existe TOUJOURS un potentiel d'amélioration, c'est-à-dire la possibilité de réduire sa consommation et, partant, d'évoluer vers l'efficacité énergétique.

### Le cycle Plan-Do-Act-Check (PDCA)

La norme ISO 50001/2 est basée sur le cycle PDCA : planifier (Plan), faire (Do), vérifier (Check) et agir (Act), ou ajuster. Le cycle PDCA est une méthode de gestion itérative en quatre étapes utilisée dans les entreprises en vue de contrôler et d'améliorer continuellement les processus et produits. Les différentes étapes du cycle PDCA dans la gestion de l'énergie peuvent être décrites comme suit :

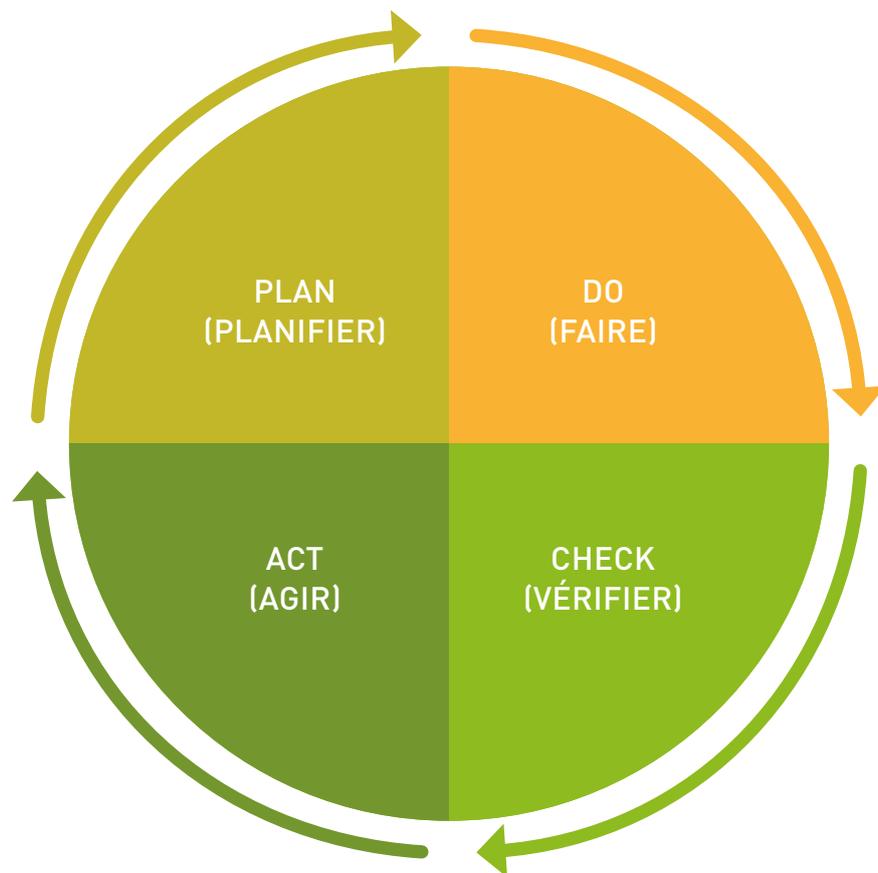


Figure 17 - Le cycle Plan-Do-Act-Check (PDCA)

**Planifier** – Établir les objectifs et les processus nécessaires pour obtenir des résultats conformes aux résultats attendus (c.-à-d. cibles ou objectifs). Définir les attentes en matière de résultats permet d'intégrer l'exhaustivité et l'exactitude de la spécification dans l'amélioration souhaitée. Il est préférable de commencer la planification à petite échelle pour tester les effets possibles. En résumé : définir les objectifs d'économies d'énergie, déterminer la stratégie, établir les mesures et les responsabilités, fournir les ressources nécessaires et préparer un plan d'action.

**Faire** – Mettre en œuvre le plan, exécuter le processus et cultiver, produire ou transformer. Recueillir des données afin de cartographier et d'analyser les progrès réalisés au cours des étapes suivantes («VÉRIFIER» et «AGIR»). Établir des structures de gestion pour pérenniser les processus et prendre des mesures d'amélioration (p. ex. technologies et procédures plus efficaces).

**Vérifier** – Étudier les résultats réels (mesurés et collectés dans «DO» ci-dessus) et les comparer aux résultats escomptés (cibles ou objectifs du «PLAN») afin de relever les éventuelles différences. Rechercher les écarts par rapport au plan et vérifier si le plan est adapté et prêt pour exécution («DO»). La création de graphiques des données peut faciliter grandement l'identification des tendances sur plusieurs cycles PDCA et la conversion des données collectées en informations. L'information est ce dont vous avez besoin pour l'étape suivante («ACT»).

Examiner le niveau de réalisation des objectifs et l'efficacité de l'EnMS, recueillir de nouvelles idées en effectuant des audits énergétiques. Envisager de consulter un expert externe (examiner et tenir compte des écarts ainsi que des mesures correctives et préventives).

**Agir** – Si l'étape VÉRIFIER montre que le PLAN mis en œuvre à l'étape AGIR constitue effectivement une amélioration par rapport à la norme précédente (référence), alors celui-ci devrait devenir la nouvelle norme (référence) concernant la façon dont l'organisation devrait AGIR à l'avenir (de nouvelles normes sont adoptées). Si le CONTRÔLE montre que le PLAN mis en œuvre à l'étape AGIR ne représente pas une amélioration, alors la norme existante (référence) reste en place. Dans un cas comme dans l'autre, si le CONTRÔLE révèle un écart inattendu (que ce soit pour le meilleur ou pour le pire), il existe alors un potentiel d'apprentissage supplémentaire... et cela suggère de nouveaux cycles PDCA. Toutes les étapes et activités peuvent se dérouler en parallèle ; la décision de commencer une étape ou une activité dépend des conditions de l'entreprise concernée. Par rapport à des mesures sélectives (gestion *ad hoc* de l'énergie), l'application continue de ce processus réduit clairement les coûts énergétiques d'une entreprise.

**Exemple : (adapté) EnMS pour réduire les coûts énergétiques.**

Pour mettre en œuvre l'EnMS, un processus d'amélioration continue et objectivement évaluable devrait être évident dans les structures de l'entreprise. Le directeur de l'entreprise a lancé le processus en intégrant l'objectif de gestion écoénergétique dans la philosophie de l'entreprise, en nommant un gestionnaire de l'énergie à temps partiel et en lui fournissant les ressources et les responsabilités correspondantes (**Planifier**).

Le gestionnaire de l'énergie a accepté la responsabilité de coordonner la documentation de tous les processus liés à l'énergie au sein de l'entreprise. «Samoan Banana Packing House» a déjà adopté d'autres approches dans l'espoir de mettre en place un système global de gestion environnementale. Toutefois, par le passé, ces approches n'étaient pas appliquées de manière systématique, car seuls certains processus de l'entreprise étaient contrôlés et dirigés par le «système». Néanmoins, l'entreprise possède une certaine connaissance des systèmes de gestion. Afin de refléter le processus d'amélioration continue, la direction crée une structure visant à introduire un EnMS qui permettra d'enregistrer et d'évaluer l'ensemble des flux énergétiques afin de recenser les potentiels d'économies et de mettre en place des mesures techniquement viables, financièrement intéressantes et dans les moyens de l'entreprise (**Faire**).

Le gestionnaire de l'énergie évalue régulièrement les résultats des mesures, fixe de nouveaux objectifs et établit des rapports.

Le gestionnaire de l'énergie met ensuite en œuvre les objectifs et les mesures nouvellement définis avec l'aide des collaborateurs de l'entreprise et d'un conseiller en efficacité énergétique externe (**Agir**).

### 1.3.1. Définition de l'efficacité énergétique

Bien comprendre ce concept est de première importance pour les décideurs chargés de la sélection et de l'achat d'un équipement énergivore dans une entreprise ainsi que pour les auditeurs énergétiques, lors du calcul ou du test de l'efficacité énergétique d'une machine. Même les logiciels qui pilotent les équipements EnMS ainsi que les fonctions d'analyse de données associées appliquent fondamentalement les équations et les principes qui sous-tendent le concept. Voici donc un bref aperçu des diverses interprétations et des répercussions financières de l'efficacité énergétique.

#### 1.3.1.1. Efficacité énergétique et conversion énergétique

L'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais seulement convertie d'une forme d'énergie à une autre. Cette conversion est effectuée par des équipements tels que des chaudières, des moteurs électriques, des pompes, des soufflantes, des luminaires et des génératrices diesel. Les équipements responsables du processus de conversion énergétique produisent toujours une part d'énergie inutilisée qui se perd dans l'environnement (mais pourrait être partiellement récupérée) et se décharge

principalement sous la forme de chaleur, ce qui conduit à la meilleure façon de mesurer ou calculer l'efficacité énergétique (Source : GIZ 2017). La Figure 18 définit le **rendement énergétique de conversion** ou l'**efficacité énergétique** ou simplement l'**efficacité** d'une machine. Cette équation mathématique utilisée par les ingénieurs, les normes et les standards lui donne la lettre grecque eta ( $\eta$ ).

$$\eta = \frac{\text{Apport énergétique utile} = \text{apport énergétique} - \text{pertes}}{\text{Apport énergétique}} = 1 - \frac{\text{pertes}}{\text{app. énerg.}} < 1$$

Figure 18 - Équation du rendement énergétique de conversion

### 1.3.1.2. Mesure et calcul de l'efficacité énergétique

L'équation (ci-dessus) démontre qu'il existe deux méthodes pour déterminer le rendement :

- La première méthode consiste à mesurer sur une période de temps donnée tous les intrants énergétiques ainsi que tous les extrants énergétiques utiles. Par exemple, le débit d'énergie mesurable d'une chaudière à vapeur fonctionnant au fioul lourd serait le volume de mazout multiplié par sa valeur énergétique. La production d'énergie utile est le débit volumique mesuré de vapeur vive multiplié par sa valeur énergétique à la sortie de la chaudière.
- La deuxième méthode, souvent appelée méthode indirecte, est habituellement préférable puisqu'elle permet d'identifier et de quantifier les pertes. Plus la perte d'énergie d'une machine ou d'un procédé est faible, moins il faut d'énergie pour fabriquer un produit ou fournir un service.

**Le chapitre 2 fournit de plus amples détails sur la façon de calculer l'efficacité énergétique des chaînes agroalimentaires.**

Le tableau ci-dessous donne quelques exemples d'**efficacité énergétique** et de pertes **techniques correspondantes** de diverses technologies.

**Tableau 7 :** Exemples d'efficacité énergétique et de pertes techniques correspondantes de diverses technologies

Technologie	Rendement (%)	Pertes (%)
Transformateur élévateur d'une centrale électrique	98	2
Chaudière à eau chaude à condensation	96	4
Moteur électrique	92	8
Chaudière au fioul sans condensation	87	13
Centrale de production combinée de chaleur et d'électricité	80	20
Centrale à accumulation par pompage	72	28
Turbine à gaz à cycle combiné (TGCC)	60	40
Centrale au charbon supercritique de 1 000 MW en bloc	44	56
Groupe électrogène à fioul lourd de plus grande taille	40	60
Turbine à gaz à circuit ouvert (OCGT)	34	66
Cellule photovoltaïque à haut rendement	28	72
Centrale à biomasse	26	74
Luminaire à DEL	16	84
Petite centrale de secours à essence de 2 à 5 kW à puissance captive	13	87
Ampoule à incandescence	4	96

Source: adapté du manuel «Energy Management Course Handbook for a 160-hours training course for engineers», 2<sup>e</sup> édition - mai 2017

### 1.3.2. Économies d'énergie

Un certain nombre de pays ont mis en place des incitants pour les consommateurs qui «économisent l'énergie». La plupart de ces initiatives sont gérées par les services publics de l'énergie et revêtent la forme de réductions à l'achat d'appareils électro-ménagers ou de luminaires écoénergétiques afin de faire baisser les factures mensuelles d'électricité ou pour investir dans d'autres possibilités de gestion de l'énergie (PGE) afin de réduire la consommation de gaz naturel et d'électricité. Les incitations aux économies d'énergie sont un élément clé du North-REP (North-REP (North Pacific ACP Renewable Energy and Energy Efficient Project) Palau – Plus d'informations disponibles sur: [http://prdrse4all.spc.int/system/files/north-rep\\_palau\\_brochure.pdf](http://prdrse4all.spc.int/system/files/north-rep_palau_brochure.pdf).

Aux fins du présent manuel de formation, les définitions suivantes sont appliquées car elles s'inscrivent dans le contexte des économies d'énergie.

- a. Par «**économies d'énergie**», on entend les économies d'énergie réalisées en augmentant l'efficacité énergétique d'une technologie ou d'un procédé, soit par sa modernisation, soit par l'acquisition d'équipements plus efficaces.

**Exemple 1** : les ampoules à incandescence sont remplacées par un éclairage LED efficace, ce qui représente une économie d'énergie de 75 %.

**Exemple 2** : une turbine à gaz à circuit ouvert (OCGT) est convertie en turbine à gaz à cycle combiné (TGCC). Cette mesure augmentera l'efficacité énergétique nominale de 32 % à 50 %, ce qui se traduira sur papier par des économies d'efficacité énergétique sous la forme de gaz naturel de  $(50-32)/50 = 36$  %.

- b. On entend par «**conservation de l'énergie**» les économies d'énergie réalisées **sans** augmenter l'efficacité énergétique d'une technologie ou d'un procédé.

**Exemple 3** : éteindre les lumières des bureaux la nuit lorsqu'elles ne sont pas nécessaires est une mesure type de conservation de l'énergie qui n'améliore pas l'efficacité énergétique d'un système d'éclairage.

**Exemple 4** : augmenter la température d'une pièce climatisée de 22 à 24 °C réduira la consommation électrique du climatiseur, mais n'améliorera pas l'efficacité énergétique nominale du climatiseur.

- c. On entend par «**économies d'énergie**» les économies d'énergie réalisées grâce à des mesures d'efficacité énergétique ou de conservation de l'énergie, ou les deux.

**Exemple 5** : éteindre les lumières incandescentes la nuit quand elles ne sont pas nécessaires est une mesure d'économie d'énergie parce qu'elle permet de conserver l'énergie. Le remplacement des ampoules à incandescence par des LED est également une mesure d'économie d'énergie parce qu'elle améliore l'efficacité énergétique des systèmes d'éclairage et génère donc des économies d'énergie. Remplacer les ampoules à incandescence par des LED et éteindre les LED la nuit lorsqu'elles ne sont pas nécessaires est également une mesure d'économie d'énergie parce qu'elle améliore l'efficacité énergétique du système d'éclairage et, en plus, permet d'économiser de l'énergie.

### Calcul des économies liées à l'efficacité énergétique

L'un des principaux objectifs des audits énergétiques (AE) – expliqués dans la section suivante – consiste à trouver des pistes pour réduire les pertes d'énergie coûteuses ou, en d'autres termes, à accroître l'efficacité d'un procédé ou d'une machine, soit en modernisant la technologie, soit en modifiant son mode de fonctionnement, soit en remplaçant par une conception plus efficace et plus récente qui peut effectuer le même travail et offrir le même niveau de service que la précédente dans les mêmes conditions. Les auditeurs énergétiques disposent d'un moyen étonnamment simple de calculer les économies d'énergie sur la base du concept d'efficacité énergétique. C'est facilement réalisable en appliquant l'équation simple ci-dessous :

$$S = 100 \times \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2}$$

Figure 19. Équation de l'efficacité énergétique

$\eta_1$  = L'appareil avec le rendement le **plus faible** tel qu'il fonctionne en %

$\eta_2$  = L'appareil avec le rendement le **plus élevé** tel qu'il fonctionne en %

S = Économies d'énergie exprimées en %

**Exemple 6 :** une ampoule à incandescence est remplacée par une ampoule LED ayant le même nombre de lumens par watt d'énergie utile produite. L'efficacité de LED est de 16 % alors que celle de l'ampoule classique n'est que de 4 %. Par conséquent, les économies d'électricité sont de  $S = 100 \times (16-4)/16 = 75$  % pour le même niveau de services d'éclairage.

**Exemple 7 :** au lieu d'acheter un moteur électrique avec un rendement annoncé de 83 % pour la gestion de la charge nominale, on achète un moteur électrique avec un rendement de 87 %. Les économies d'électricité sur papier sont de  $S = (87-83)/87 = 4,6$  %.

**Unités d'énergie :** les unités d'énergie les plus courantes sont le kWh, la kCal, le MJ et la BTU.

La consommation d'énergie est mesurée en joules (J, kJ, MJ, GJ). Le kWh est une autre unité couramment utilisée : 1 kWh équivaut à 3600 kJ. La consommation d'énergie en kilowattheures (kWh) peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante : kWh = kW (la puissance figure généralement sur la plaque signalétique d'un équipement) X h (nombre d'heures de fonctionnement de l'équipement).

Les sources d'énergie, comme les combustibles, sont également exprimées en kilogrammes (kg), en mètres cubes standard (m<sup>3</sup>) ou en litres (l). Le tableau ci-dessous présente les facteurs de conversion des unités courantes.

Tableau 8 : Facteurs de conversion pour les unités courantes

Source d'énergie	Unité	Facteur de conversion <sup>2</sup> en kWh
Électricité	kWh	1
Fioul domestique	Litre	9,95
Gaz naturel	m <sup>3</sup>	9,88
Gaz comprimé	kg	12,44
Gaz liquéfié	Litre	12,9
Diesel	Litre	9,9
Essence	Litre	8,85
Énergies renouvelables	kWh	1
Chauffage urbain	kWh	1
Bois	kg <sup>2</sup>	4,5

Un tableau de conversion des unités énergétiques de base, des formules et des propriétés relatives aux BTU et autres unités de mesure figure à l'annexe 2 du présent chapitre.

N'oubliez pas : toutes les mesures de gestion de l'énergie qui pourraient mener à des économies d'énergie doivent être techniquement viables et financièrement intéressantes. En d'autres termes, un petit propriétaire foncier ou une PME doit pouvoir trouver un moyen de financer tout changement requis par la mise en œuvre d'une PGE.



<sup>2</sup> Source : Gemis Datenbank 4.81 (2013).

## 1.4. AUDIT ÉNERGÉTIQUE

### 1.4.1. Introduction

Un **audit énergétique (ou examen de la consommation d'énergie)** est une étude de la façon dont l'énergie est utilisée dans une installation et une analyse des solutions de rechange qui pourraient être utilisées pour réduire les coûts énergétiques.

#### Types d'examens de la consommation d'énergie

- **L'audit sur place** est le moins coûteux et permet de déterminer les économies d'énergie préliminaires. Une inspection visuelle de l'installation est effectuée afin de déterminer les possibilités d'économie d'énergie liées à l'entretien et à l'exploitation ainsi que la collecte de données pour déterminer la nécessité d'une analyse plus détaillée.

### DIX ÉTAPES POUR EFFECTUER UN AUDIT ÉNERGÉTIQUE SUR PLACE

1. Établissez la consommation d'énergie actuelle de l'exploitation agricole, de l'usine de transformation, des étables pour le bétail, etc.
2. En vous basant sur les factures d'énergie des 12 derniers mois, établissez le nombre mensuel d'heures de kWh et divisez-le par le montant de la facture. Faites le total de toutes les heures mensuelles en kWh et divisez-le par 12 pour obtenir la moyenne mensuelle en heures de kWh. Cette étape fournit le « coût réel » du kWh ainsi que de nombreux autres coûts tels que les taxes, les charges de pointe, les frais d'entretien de l'équipement ou de l'infrastructure, les provisions pour les nouvelles infrastructures, etc. qui sont pris en compte dans les factures mensuelles d'énergie.
3. Déterminez le nombre d'heures pendant lesquelles tout l'équipement est opérationnel. Il y a 8760 heures dans une année civile. Calculez les heures de fonctionnement annuelles pour chaque type d'équipement ou de zone.
4. Si possible, obtenez une copie des plans de chaque zone où l'équipement est opérationnel ou, par exemple, une grange qui abrite du bétail. Cela permet d'établir les dimensions d'une zone chauffée ou ventilée, par exemple. Vérifiez la puissance et la quantité de chaque type d'équipement.
5. Utilisez le type de compteur approprié pour prendre les mesures. Si des équipements similaires affichent des valeurs très disparates, notez les valeurs les plus élevées et les plus basses de la consommation. Notez tous les grands extrêmes.
6. Observez les types de luminaires, l'emplacement de l'équipement, en fait tout ce qui affecte le fonctionnement optimal d'un équipement en particulier.
7. Déterminez comment l'équipement, sa disposition, son utilisation pendant les périodes de pointe, son utilisation pendant les périodes creuses, etc. peuvent contribuer à la réduction des kWh moyens.

8. Si possible, utilisez un logiciel de base pour vous aider à calculer les économies d'énergie. La formule de base pour les économies d'énergie est la suivante

$$\frac{\text{watts économisés} \times \text{heures d'utilisation} \times \text{prix du kWh}}{1\,000}$$

Par exemple, on pourrait prendre l'énergie économisée en remplaçant des luminaires aux halogénures métalliques de 400 watts (458 watts, y compris la consommation de ballast) par des 218 watts.

Luminaires fluorescents T8 à 6 lampes. L'économie est de 240 watts par luminaire pour un total de

24 000 (240 X 100 luminaires). S'ils sont allumés en moyenne 12 heures par jour pendant 360 jours par an, le nombre annuel d'heures de combustion serait de 4 320. En partant de 10 kWh, le calcul serait le suivant :

$$\frac{24\,000 \text{ Watts} \times 4\,320 \text{ heures} \times \text{prix de } 10 \text{ kWh}}{1\,000} = 10\,368,00 \text{ \$ d'économies annuelles}$$

Les logiciels peuvent extrapoler ces chiffres sur une période de 5 ou 10 ans d'économies, pour créer des économies à long terme encore plus impressionnantes.

9. Envisagez d'autres moyens de réduire la consommation d'énergie.
10. Examinez s'il existe d'autres façons de réaliser des économies d'énergie ou s'il existe d'autres plans d'utilisation plus attrayants offerts par le fournisseur d'énergie ou l'entreprise de services publics, p. ex. utilisation principale de l'équipement pendant les heures creuses, etc.

- **L'audit intégré.** Ce type d'audit nécessite des tests et des mesures pour quantifier les consommations et les pertes d'énergie, déterminer les aspects économiques des changements et évaluer plus finement la quantité d'énergie utilisée pour chaque fonction comme l'éclairage, les procédés, etc.



En règle générale, un audit ou un examen suit le processus décrit ci-dessous :

## PROCESSUS D'AUDIT

**Objectif principal** : recenser les possibilités de réduire la consommation énergétique et les coûts associés.

Tout aussi important : permettre au propriétaire/à l'exploitant de décider des recommandations à mettre en œuvre.

Étapes types :

## PRÉ-AUDIT

- Recueillir/analyser les données historiques de la consommation énergétique
- Étudier les tendances en matière de bâtiments et d'exploitation

## AUDIT

- Recueillir les informations sur le bâtiment et consulter le personnel/ les occupants
- Recenser les modifications permettant potentiellement de réduire la consommation énergétique et les coûts

## POST-AUDIT

- Effectuer des analyses techniques et économiques
- Préparer une liste de recommandations et hiérarchiser celles-ci
- Faire état des résultats

Adapté de : «State and Local Technical Assistance Program» du Département américain de l'énergie, 23 mai 2013, disponible à l'adresse : [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov).

### 1.4.2. Pré-audit

Le pré-audit peut être décomposé selon les étapes suivantes :

1. Planification. Élaborer un questionnaire de pré-évaluation afin d'obtenir des données et des renseignements de base sur l'énergie, le déroulement du procédé, la liste de l'équipement et la taille de l'usine, le type, l'année de construction, le calendrier de fonctionnement et d'entretien, les emplacements, le taux d'occupation, l'enveloppe du bâtiment, etc.

Plan de mesure :

- recenser les appareils de mesure déjà utilisés ;
  - les énumérer en fonction de chaque domaine à inclure dans l'audit ;
  - établir les mesures qui doivent être prises dans le cadre de l'audit ;
  - élaborer un plan pour un futur paysage de surveillance de l'exploitation agricole ou de l'entreprise.
2. Définir les responsabilités et les échéances de l'audit ou de l'examen.
  3. Le cas échéant, organiser une réunion pour établir les objectifs et les cibles de l'audit/de l'examen.
  4. Définir le périmètre et les limites et segmenter chaque limite en fonction des grands réseaux de distribution, consommations d'énergie ou chaînes de production afin de les gérer de façon plus ciblée et d'avoir un contrôle optimal sur leur rendement.



Débitmètre

Luxmètre



Multimètres

Thermomètre infrarouge numérique

Figure 20 - Quelques exemples d'équipements de mesure de l'énergie

- Obtenir et évaluer les **données historiques sur l'énergie et la production** afin d'établir des **données de référence sur l'énergie**.

Tableau 9 : Tableau des données historiques sur l'énergie et la production

Utilisation	Puissance nominale (kW)	Facteur de charge moyen (%) <sup>3</sup>	Heures/jour	Jours/années	Heures/année	Consommation (kWh/a)	Part du total
	À partir de la plaque signalétique		Mesure ou estimation		À partir d'un compteur ou d'une estimation		
Utilisations de l'électricité							
Air comprimé	100	60 %	14	250	3500	210 000	4,20 %
Ventilation et climatisation	50	40 %	14	250	3500	70 000	1,40 %
Réfrigération		70 %			0	0	0,00 %
Informatique & serveurs	2	50 %	24	365	8760	8760	0,18 %
Éclairage	20	100 %	14	250	3500	70 000	1,40 %
Postes de travail	1	30 %	10	250	2500	750	0,02 %
Machines	390	70 %	14	250	3500	955 500	19,11 %
Cuisine/cantine		80 %			0	0	

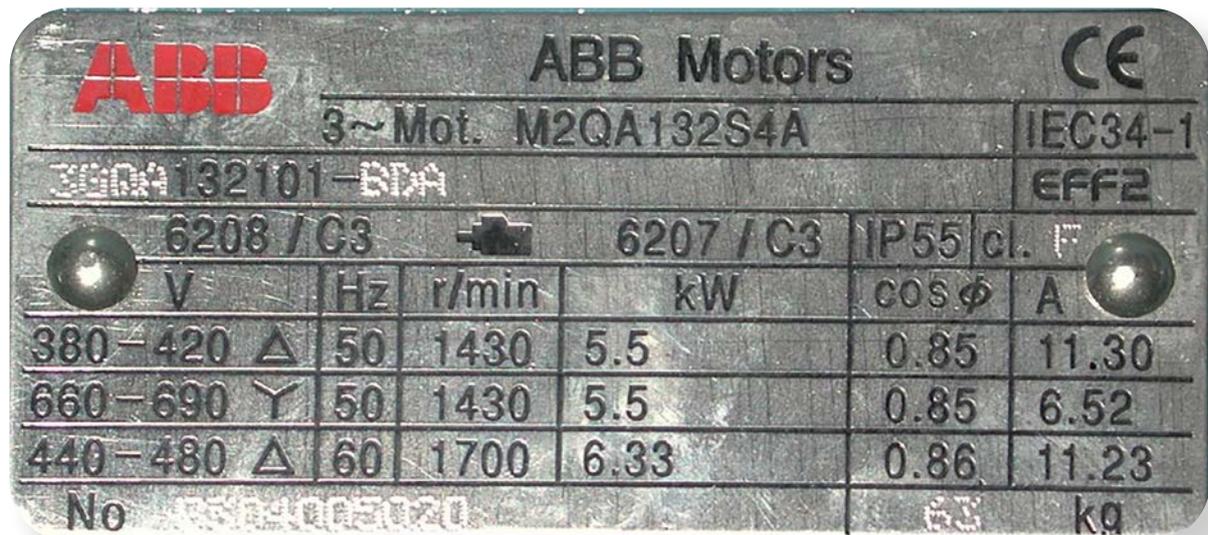


Figure 21 - Données et informations de base sur l'énergie à partir de la plaque signalétique de l'équipement

3 Le facteur de charge moyen est une valeur standard du fabricant de l'équipement qui se trouve dans le manuel de l'équipement, faute de quoi un expert peut fournir ces informations.

### 1.4.3. Audit

Effectuer des visites sur place – faire l’inventaire des installations et de l’équipement de production et de consommation d’énergie, c’est-à-dire les génératrices, les transformateurs, le système d’air comprimé, les fours, la chaudière, les centrales de traitement d’air (CTA), les moteurs, les charges de prises, etc. spécifiques à chaque limite déterminée et au type de système de contrôle en place.

- Recenser les utilisations d’énergie importantes (UEI) en fonction des limites et effectuer des mesures et un enregistrement des données en temps réel.
- Interviewer le personnel clé au sujet des facteurs d’influence, de la sensibilisation, des routines de travail, etc.
- Déterminer les mesures d’efficacité énergétique (MEE) et l’efficacité de chacun des principaux systèmes consommateurs d’énergie (UEI).

Principaux systèmes à prendre en compte :

- **Éclairage** – il est important de faire un inventaire détaillé de tous les éclairages. L’état des lieux devrait comprendre le type de luminaires et d’ampoules, la puissance des ampoules et les heures de fonctionnement. Assurez-vous de prendre des notes sur les tâches effectuées dans chaque domaine. Cela aidera l’auditeur à choisir d’autres technologies d’éclairage qui pourraient être plus écoénergétiques.
- **Équipement de CVC** – tout l’équipement de chauffage, de climatisation et de ventilation doit être inscrit dans l’inventaire. Taille, numéros de modèle, caractéristiques électriques et nombre d’heures de fonctionnement estimatif. De plus, des inspections de l’efficacité du système doivent être effectuées régulièrement.
- **Moteurs électriques** – un inventaire des moteurs électriques dans la fourchette de tailles définie a été effectué. La taille du moteur, son utilisation, son âge, son modèle, ses heures de fonctionnement estimées, ses caractéristiques électriques et l’intégration possible d’un variateur de vitesse doivent être détaillés.
- **Charge de pointe de l’équipement** – recherchez tout équipement électrique qui n’est pas utilisé fréquemment ou déterminez comment l’utilisation pourrait être contrôlée ou déplacée aux heures creuses.
- **Sources de chaleur résiduelle** – déterminez les possibilités de récupération de la chaleur résiduelle, habituellement issue des gaz d’échappement du système, qui peuvent être utilisés pour le préchauffage ou comme source totale d’eau chaude
- **Systèmes vapeur/air comprimé** – inspectez les conduites de vapeur afin de détecter toute fuite ou bris d’isolant.

#### 1.4.4. Post-audit

##### 1.4.4.1. Analyse

Effectuez une analyse détaillée des paramètres mesurés afin d'obtenir l'efficacité du système, les rations d'énergie, les zones où la consommation d'énergie est importante et les zones où des économies d'énergie sont possibles.

**Le chapitre 2 fournit de plus amples détails sur la façon de calculer les économies d'énergie pertinentes pour les chaînes agroalimentaires.**

##### 1.4.4.2. Rapports

Les résultats de l'audit doivent être résumés de manière concise et pratique afin que le décideur (agriculteur, propriétaire de l'entreprise) puisse s'appuyer sur les informations recueillies au cours de l'audit/de l'examen pour déterminer les actions nécessaires en vue d'améliorer l'efficacité énergétique et les coûts financiers impliqués.

Expliquez les hypothèses faites et les mesures prises. Indiquez comment l'agriculteur/entreprise peut améliorer **continuellement** son rendement énergétique (c.-à-d. inclure un programme de surveillance, sensibiliser davantage, gérer plus efficacement, etc.). La longueur et le degré de détail du rapport varieront selon le type d'installation audité ou examiné. Un audit industriel devrait comprendre une explication détaillée des PGE et une analyse coûts-avantages.

De plus amples informations sont disponibles à l'adresse suivante :

<https://www.rncan.gc.ca/sites/oe.nrcan.gc.ca/files/files/pdf/guide-et-outil-de-verification-energetique.pdf>.

## 1.5. RÉSUMÉ

Le matériel présenté dans ce chapitre se concentre sur les défis liés au lien entre l'agriculture, le changement climatique et l'énergie. Quelques enseignements tirés, en bref :

- L'impact du changement climatique et l'explosion démographique ont de graves répercussions sur la sécurité alimentaire.
- Pour assurer la sécurité alimentaire, la production agricole devra augmenter d'environ 60 % d'ici 2050.
- Les chaînes agroalimentaires représentent environ 30 % de la consommation mondiale d'énergie, dont 70 % sont consommés en dehors des exploitations agricoles. Ces dernières sont quant à elles responsables d'un cinquième des émissions mondiales de GES.
- En 2015, la plupart des pays du monde ont signé l'Accord de Paris qui vise à limiter l'augmentation de la température mondiale à moins de 2 °C grâce à une meilleure efficacité énergétique et à une réduction des émissions de GES.
- L'intégration des énergies renouvelables dans les systèmes énergétiques permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui se traduit par des **triples gains** et des **co-bénéfices** à tous les stades de la chaîne agro-alimentaire.
- Une **agriculture climato-intelligente** et des **systèmes agro-alimentaires énergétiquement intelligents** montrent la voie à suivre pour les chaînes agro-alimentaires.
- Le programme **SE4ALL** de l'ONU aide les pays à revoir leurs politiques énergétiques pour passer des combustibles fossiles aux énergies renouvelables.

Les agriculteurs des petites exploitations agricoles jusqu'aux exploitations commerciales, ainsi que les industries de transformation, d'emballage et de commercialisation le long des chaînes agroalimentaires, peuvent améliorer les **économies d'énergie**, ce qui se traduit par une plus grande **efficacité énergétique** et une réduction des **coûts énergétiques** à tous les niveaux de leurs activités, en s'informant sur les outils économiques de base et les systèmes de gestion utilisés à cette fin :

- L'**analyse coûts-avantages**, l'**analyse du coût du cycle de vie** et l'**analyse du cycle de vie** fournissent les moyens de déterminer les avantages d'un investissement, de recenser les coûts opérationnels sur le long terme et de déterminer l'empreinte environnementale d'investissements majeurs dans de grands projets énergétiques.
- Les **systèmes de gestion de l'énergie** – s'ils sont correctement mis en œuvre – aident à identifier les domaines où des économies d'énergie peuvent être réalisées, ce qui se traduit par une meilleure efficacité énergétique et des avantages financiers pour les agriculteurs ou les entreprises.
- Les **audits énergétiques ou examens de la consommation d'énergie**, s'ils sont effectués régulièrement, aident à déterminer les postes de consommation d'un système énergétique où des changements doivent être apportés afin de réduire les coûts énergétiques.

## 1.6. ANNEXES

A1 : ISO 5001 – Systèmes de management de l'énergie



## A2 : Tableau de conversion des unités énergétiques, formules et propriétés

Procédures pour les audits énergétiques des bâtiments commerciaux, deuxième édition/  
Conversion des unités d'énergie en kBtu

*Multipliez la quantité de référence par le facteur de conversion pour obtenir un résultat en kBtu.*

Carburant	Unités mesurées	Facteur de conversion	Source
N'importe lequel	MMBtu	1 000	
	unités thermiques	100	
	décathermes	1 000	
Électricité	kWh	3,412142	
	MWh	3 412,142	
Gaz naturel	ft <sup>3</sup>	1,027	
	CCF (100 x ft <sup>3</sup> )	102,7	2
	MCF (1 000 x ft <sup>3</sup> )	1 027	2
	unité thermique	100	2
	m <sup>3</sup>	36,4	
	MJ	0,9478171	
	GJ	947,8171	
Vapeur achetée	1 000 Btu	1	
	1 000 lb (environ)	970	
	lb (vapeur, 15 psig, évap.)	0,945684	3
	lb (vapeur, 50 psig, évap.)	0,912061	3
	unité thermique	100	
Achat d'eau chaude	1 000 Btu	1	
Achat d'eau réfrigérée	1 000 Btu	1	
	tonne-heure	12	
Huile n° 1	Gallon américain	137,4	1
Huile n° 2	Gallon américain	139,6	1
	Gallon impérial	167	
	litre	36,7	
Huile n° 3	Gallon américain	141,8	1
Huile n° 4	Gallon américain	145,1	1
Huile n° 5	Gallon américain	148,8	1

Huile n° 6	Gallon américain	152,4	1
	Gallon impérial	185	
	litre	40,7	
Diesel	Gallon américain	139	5
Essence	Gallon américain	124	6
Propane	Gallon américain	91,33	2
	Pieds cubes	2,55	2
	Gallon impérial	110	
	Litre	24,2	
Anthracite	Tonne	25 400	
	Tonne courte (charbon)	19 953	4

## Sources

1 2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals, tableau 6, page 28.7

2 2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals, page 28.5

3 2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals, Tableau Refrigerant-718 (vapeur), page 30.37  
(notez qu'il s'agit de chaleur issue de l'évaporation uniquement)

4 Norme ASTM D388

5 Norme ASTM D975

6 Norme ASTM D4814



© 2011 ASHRAE

Procédures pour les audits énergétiques des bâtiments commerciaux, deuxième édition  
Formules et propriétés

Formules		Remarque
Climatisation sensible	$\text{Btu/h} = 1,08 * \Delta T * \text{pi}^3/\text{min}$	
Climatisation latente	$\text{Btu/h} = 4,5 * \text{pi}^3/\text{min} * \Delta H$	
Chauffage/ refroidissement de l'eau	$\text{Btu/h} = 500 * \text{gpm} * \Delta T$	
	" $\text{Btu/h} = \text{gpm} * \Delta T * 8,34 \text{ Btu/gal} \cdot \Delta T$	Dérivation
	$* 60 \text{ min/h} * 1 \text{ kW}/1000$ "	
	$\text{tonnes} = \text{gpm} * \Delta T/24$	
Puissance de l'eau ch	$= \text{hauteur pi} * \text{gpm}/3960$	
Moteur pompe ch	$= \text{eau ch}/(\text{eff pompe} * \text{eff moteur})$	
Pompe hydraulique ch	$= \text{gpm} * (\text{pi H}_2\text{O})/3960$	
Moteur du ventilateur ch	$= \text{pi}^3/\text{min} * \text{SP}/(6354 * \text{eff moteur} * \text{eff ventilateur})$	$6354 \text{ pi}^3/\text{min} * \text{po. H}_2\text{O}/\text{ch}$
kW	$= 0,746 * \text{ch} * (\text{facteur de charge})/(\text{eff moteur})$	
TRE	$= (\text{Btu/h de refroidissement fourni})/(\text{W entrée})$	
	$= (\text{kBtu de refroidissement fourni})/(\text{kWh entrée})$	
CPSC	$= (\text{kBtu de chauffage fourni})/(\text{kWh entrée})$	Moyenne saisonnière
COP	$\text{TRE}/3,412$	
	$= 3,516/(\text{kW}/\text{tonne})$	
	$= 1/\text{RIE}$	
kW/tonne	$= 12/\text{TRE}$	
RIE	$= 1/\text{COP}$	
	$= (\text{kW}/\text{tonne})/3,516$	

#### Autres équivalents d'unités diverses

1 ch	0,7457 kW
1 tonne	12 000 Btu/h
1 lb H <sub>2</sub> O	7 000 g
1 psi	2,307 pi H <sub>2</sub> O
1 gallon américain	0,1337 pi <sup>3</sup>
1 gallon impérial	0,1605 pi <sup>3</sup>
1 pi <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	62,4 lbm H <sub>2</sub> O

Matériau	Propriétés	
Vapeur	Enthalpie de vaporisation	970 Btu/lb
Eau	Densité	8,34 lbm/gallon
	Chaleur spécifique	1 Btu/(lbm-°F)
Propane	Chaleur de combustion	2 500 Btu/pi <sup>3</sup>
	Chaleur de combustion	21,560 Btu/lb
Gaz naturel	Chaleur de combustion	1 000 Btu/pi <sup>3</sup>
Bois	Chaleur de combustion	8 000 Btu/lb
	Densité	45 lb/pi <sup>3</sup>



© 2011 ASHRAE

# Chapitre 2

## Utilisation efficace de l'énergie, pistes de rationalisation, bilan énergétique

2.1. Accès à l'énergie	60
2.2. Efficacité énergétique	63
2.3. Comprendre comment limiter la consommation d'énergie dans une exploitation agricole/entreprise	91

## OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À la fin de ce chapitre, l'apprenant devrait maîtriser les compétences suivantes :

- mettre le doigt sur les postes où une réduction de la consommation est possible ;
- comprendre comment limiter la consommation d'énergie dans une exploitation agricole/entreprise ;
- comprendre comment réaliser un bilan énergétique ;
- quantifier les intrants et les extrants au niveau de l'exploitation agricole.

### 2.1. ACCÈS À L'ÉNERGIE

Comme nous l'avons déjà souligné au chapitre 1, l'agriculture est l'un des secteurs industriels les plus innovants et les plus énergivores du monde, de sorte qu'elle contribue de manière significative à la consommation mondiale d'énergie aux différents points des chaînes agroalimentaires. Cependant, le secteur agricole est un secteur où des marges bénéficiaires serrées peuvent faire et défaire les entreprises. Les agriculteurs et les entreprises doivent donc être ouverts aux nouvelles idées s'ils entendent survivre et prospérer à l'ère moderne. Les entreprises agricoles utilisent l'énergie à la fois directement sous la forme de carburant (essence, diesel, gaz naturel) et d'électricité et indirectement, par l'utilisation d'intrants énergivores, comme les engrais et les pesticides. Étant donné que l'énergie est au cœur de toute exploitation agricole, il est essentiel que les agriculteurs et les entreprises adoptent de nouvelles idées visant à utiliser l'énergie de manière efficace. Et, comme toute entreprise moderne, l'agriculteur ou l'entreprise peut aussi bénéficier de ce concept en réduisant ses coûts d'exploitation, en minimisant les risques, voire en générant des revenus supplémentaires par la vente de l'excédent énergétique produit sur place.

Une utilisation efficace de l'énergie ne profite pas seulement à la communauté mondiale sous la forme d'avantages connexes et d'une sécurité alimentaire accrue, elle peut aussi faire obstacle à des plans de développement régional ou les appuyer et, *in fine*, faire ou défaire les communautés agricoles. Cependant, la réalité actuelle est que la plupart des petits propriétaires fonciers et des petites entreprises dans de nombreux pays ACP ont parfois un accès limité à l'énergie, ou que la volatilité des prix et la disponibilité de l'énergie influent sur la durabilité globale d'une opération de la chaîne agro-alimentaire. Au moment de la rédaction du présent rapport, la situation de l'accès à l'énergie peut être décrite comme suit :

**Caraïbes – Les États membres de la CARICOM** sont pour la plupart importateurs de combustibles fossiles. Les quinze États membres peuvent être classés dans les groupes plus larges suivants en fonction de leurs capacités d'importation et d'exportation des produits dérivés du pétrole :

- Producteurs d'hydrocarbures : Trinité-et-Tobago est le seul exportateur net de produits pétroliers et de gaz naturel de la région.
- Autres producteurs d'énergie : Le Suriname, la Barbade et le Belize produisent du pétrole brut qui ne couvre qu'une partie de leurs besoins domestiques, de sorte que ces pays sont toujours considérés globalement comme des importateurs.
- Producteurs autres que les producteurs d'hydrocarbures : tous les autres États de la CARICOM ne produisent pas d'hydrocarbures et sont donc des importateurs nets.

Dans l'ensemble, les États membres de la CARICOM ne sont pas des acteurs majeurs sur les marchés mondiaux et sont donc les otages des aléas de l'approvisionnement international et de la tarification des combustibles fossiles. Cette région est confrontée à certains défis, bien qu'elle bénéficie aussi de possibilités réelles. Ces défis sont liés à la faible sécurité de l'approvisionnement énergétique dans la région, à la pauvreté énergétique à différents niveaux et à la nécessité urgente de réduire l'empreinte carbone régionale afin d'accroître la compatibilité climatique du secteur énergétique. Malgré le coût abordable de l'énergie, la compétitivité relativement faible de la majorité des économies de la CARICOM est affectée par le coût élevé et imprévisible des combustibles importés. Une plus grande pénétration des énergies renouvelables dans le secteur de l'électricité offre des possibilités (Gardner, 2017).

**Région du Pacifique** – La majorité des petits États insulaires en développement du Pacifique (PEIDP) dépendent presque exclusivement des produits pétroliers raffinés importés pour satisfaire leurs besoins en énergie pour la production d'électricité et le transport, la plupart de ces îles étant situées loin des grands centres de raffinage et de distribution du pétrole et dépendant de chaînes complexes et longues de distribution des combustibles. La logistique de l'acheminement des combustibles est souvent compliquée par l'absence d'installations portuaires modernes dans certaines îles, ce qui nécessite l'utilisation de navires plus petits et spécialisés. Bien que la demande en combustibles des différentes îles soit faible, leur taille géographique et leurs ressources économiques limitent le stockage du combustible. Ces facteurs réduisent leur pouvoir d'achat pour le pétrole. Au moment de la rédaction du présent rapport, les PEIDP sont confrontés à des coûts énergétiques parmi les plus élevés au monde et sont particulièrement exposés à la volatilité des prix et aux perturbations de l'approvisionnement (Mofor *et al.*, 2013).

**Le continent africain** – Région par région, les pays ACP africains disposent d'approvisionnements locaux principalement en combustibles fossiles qui font l'objet d'échanges intrarégionaux. Toutefois, malgré l'abondance de l'approvisionnement en combustibles fossiles dans certaines régions, de nombreux pays sont encore des importateurs nets d'énergie. Par conséquent, de nombreuses entreprises des différentes filières agroalimentaires ont un accès limité à un approvisionnement en électricité fiable. Cette situation est également exacerbée par le fait que bon nombre des pays ACP d'Afrique sont parmi les pays les plus pauvres en énergie du monde, comme le montre en détails la Figure 1 ci-dessous.

Accès à l'énergie dans les diverses parties du monde (de 1990 à 2010)

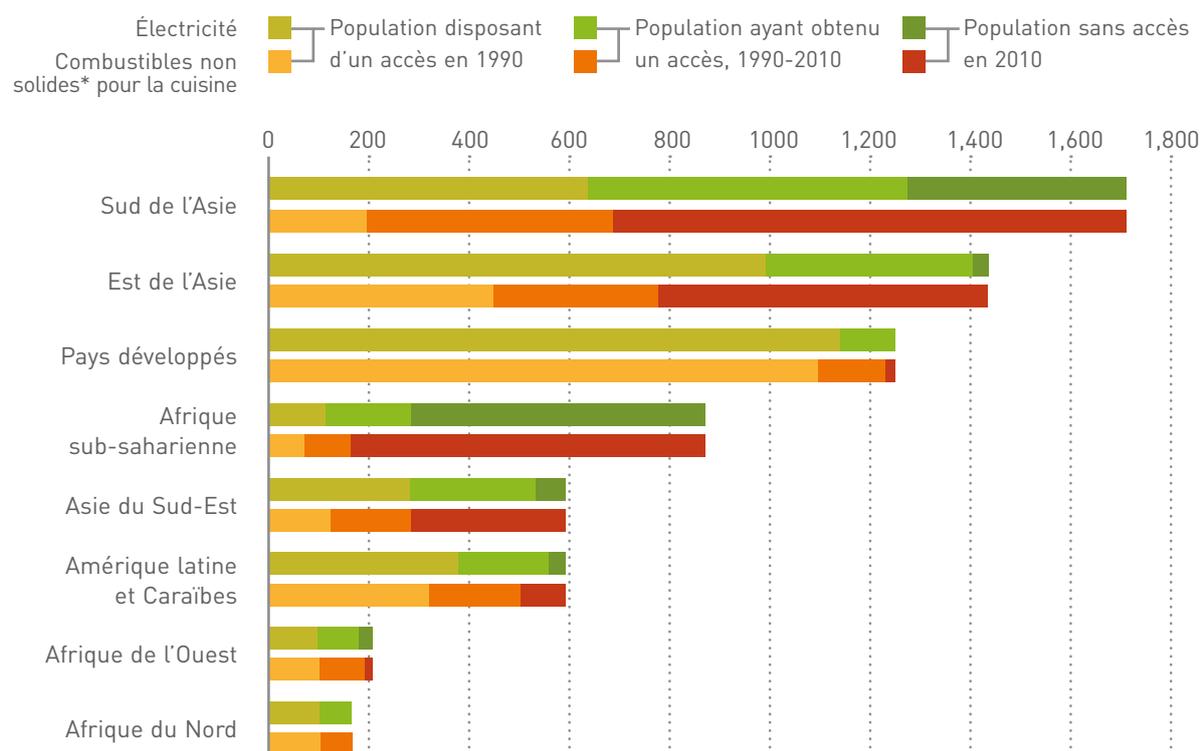


Figure 1 - Accès à l'énergie par région  
 Source : SE4ALL, rapport du cadre de suivi global  
 \* Dont kérosène, éthanol, gaz naturel et électricité  
 Economist.com/graphicdetail

Selon l'AIE, 634 millions de personnes n'avaient pas accès à l'électricité en 2014. En 2014, le taux global d'électrification du continent était de 45 %, dont 72 % dans les zones urbaines et 28 % seulement dans les zones rurales.

Actuellement, la situation dans les pays ACP peut être résumée comme suit :

- Afrique de l'Ouest : qui comprend le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, la Gambie, le Ghana, la Guinée, la Guinée-Bissau, le Liberia, le Mali, le Niger, le Nigeria, le Sénégal, la Sierra Leone et le Togo. Presque toutes les capacités régionales proviennent du Nigeria, du Ghana et de la Côte d'Ivoire. Une partie de cette capacité connectée au réseau utilise le gaz naturel dans des centrales thermiques, une petite partie provient de l'hydroélectricité et le reste du pétrole. Le commerce de l'électricité dans la région ne représente qu'un faible pourcentage de la demande brute. Le Bénin, le Niger et le Togo dépendent presque entièrement des importations pour satisfaire la demande.
- Afrique australe : qui comprend le Botswana, le Lesotho, la Namibie, l'Afrique du Sud, le Swaziland. Le charbon est la principale source d'énergie au Botswana et en Afrique du Sud. Le reste de la région dépend principalement de l'hydroélectricité. Seule une petite partie de l'électricité produite dans la région fait l'objet d'échanges commerciaux dans la région, avec de plus petits pays qui dépendent d'importations.

- Afrique de l'Est: qui comprend le Burundi, Djibouti, l'Érythrée, l'Éthiopie, le Kenya, le Malawi, le Mozambique, le Rwanda, la Somalie, la Tanzanie, l'Ouganda, la Zambie et le Zimbabwe. Au moment de la rédaction du présent rapport, l'Égypte représente la majeure partie de la capacité installée dans la région. Le gaz naturel est la principale matière première en Tanzanie. Au Burundi, en Éthiopie et en Ouganda, l'hydroélectricité est la principale source d'énergie. Après le gaz et l'hydroélectricité, la capacité restante repose principalement sur des centrales au mazout, avec de petites contributions de l'éolien et du solaire. Le commerce de l'électricité dans la région est faible, mais les importations en provenance de la RDC sont importantes pour les pays dépendants comme le Burundi et le Rwanda.
- Afrique centrale, qui comprend les pays suivants : Angola, Cameroun, République centrafricaine, Tchad, République du Congo (Congo), RDC, Guinée équatoriale et Gabon. Au moment de la rédaction du présent rapport, environ 75 % de la puissance installée totale provenait de l'hydroélectricité, et le reste principalement de centrales thermiques. Le gouvernement angolais prévoit que d'ici fin 2018, le parc de production d'électricité du pays comprendra 64 % d'hydroélectricité, 12 % de gaz naturel et 24 % d'autres combustibles fossiles, selon le ministère américain du commerce. Le Tchad, la Guinée équatoriale et le Gabon utilisent principalement le pétrole, tandis que le Congo complète son énergie hydroélectrique par des centrales thermiques au gaz. Les importations ne couvrent que 4 % de la demande dans la région mais sont concentrées ; la dépendance à l'égard des importations est particulièrement élevée dans certains petits pays (Miketa & Saadi, 2015).

## 2.2. EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

À l'échelle mondiale, l'augmentation exponentielle de la consommation d'énergie du secteur agricole a rendu la plupart des agriculteurs et des autres acteurs du secteur agricole vulnérables aux coûts élevés de l'énergie et à la volatilité des marchés. Pourtant, si elles sont mises en œuvre efficacement, les mesures d'efficacité énergétique peuvent aider les producteurs agricoles à réduire la quantité d'énergie qu'ils consomment sans nuire à la productivité et en même temps à faire baisser leurs coûts énergétiques. Cela leur permettra d'être moins vulnérables et de contribuer davantage aux économies locales. En fait, il existe de nombreuses possibilités d'économies directes d'énergie dans les entreprises agricoles en intégrant les technologies ER dans les systèmes énergétiques. Cette intégration s'effectue dans de nombreux domaines opérationnels, notamment les systèmes de ventilation à haut rendement, les variateurs de vitesse, les compresseurs à haut rendement, les systèmes de récupération de chaleur, les prérefroidisseurs, l'éclairage à haut rendement et les systèmes de chauffage à haut rendement, pour n'en citer que quelques-uns.

Un exemple simple, mais éclairant, d'efficacité énergétique et d'économies d'énergie dans l'irrigation peut être trouvé au Kenya. Des kits d'irrigation solaires y associent une technologie de pompage solaire rentable avec des systèmes d'irrigation goutte à goutte à haute efficacité permettant d'augmenter le rendement jusqu'à 300 % et

d'économiser jusqu'à 80 % d'eau. Le pays propose également une tarification en fonction de l'usage, qui permet de rendre la technologie plus abordable pour les petits propriétaires fonciers parce qu'il n'y a pas d'investissement initial de la part de l'utilisateur dans l'infrastructure. La Tanzanie offre un autre exemple très pertinent de ce qui peut se passer au-delà des exploitations agricoles. Tanzania East Africa Fruit Farm and Company y achète des fruits et légumes de petits propriétaires fonciers et de grandes entreprises, et les transforme grâce à des solutions énergétiques vertes. Elle applique également l'énergie solaire et le biodiesel dans l'irrigation et les serres, le refroidissement et le transport (SEED, disponible sur [www.seed.uno](http://www.seed.uno)).

Un autre bel exemple dans l'encadré ci-dessous montre comment le remplacement des combustibles fossiles par l'huile de jatropha comme source d'énergie renouvelable en vue de la production d'électricité et d'énergie dans les puits au Mali a effectivement permis aux femmes impliquées dans l'agriculture d'accroître leur productivité et leurs revenus grâce aux cultures vendues sur les marchés locaux. Ces nouvelles pratiques d'efficacité énergétique ont également libéré entre 2 et 6 heures par jour, que les femmes peuvent consacrer à d'autres activités comme la poursuite d'études. Traditionnellement, elles récoltaient les graines de jatropha pour produire des traitements médicaux et du savon. Ce basculement technologique est simple, basé sur l'utilisation de l'huile de jatropha à la place des combustibles fossiles et d'une plateforme multifonctionnelle qui peut être déployée pour diverses tâches agricoles (USAid, 2009).

Cette technologie associe la production locale d'huile végétale non comestible de *Jatropha curcas* à une plateforme multifonctionnelle (PMF)

La PMF intègre un petit moteur diesel Lister de 10 CH, modifié pour utiliser de l'huile végétale et équipé à cette fin d'un chargeur de batterie, d'un moulin à grains, d'une pompe à huile et d'un générateur (7,5 kVA) qui fournit l'électricité locale le soir

Chaque équipement spécialisé est entraîné par courroie à partir du moteur. Les courroies peuvent être changées facilement suivant la fonction désirée.

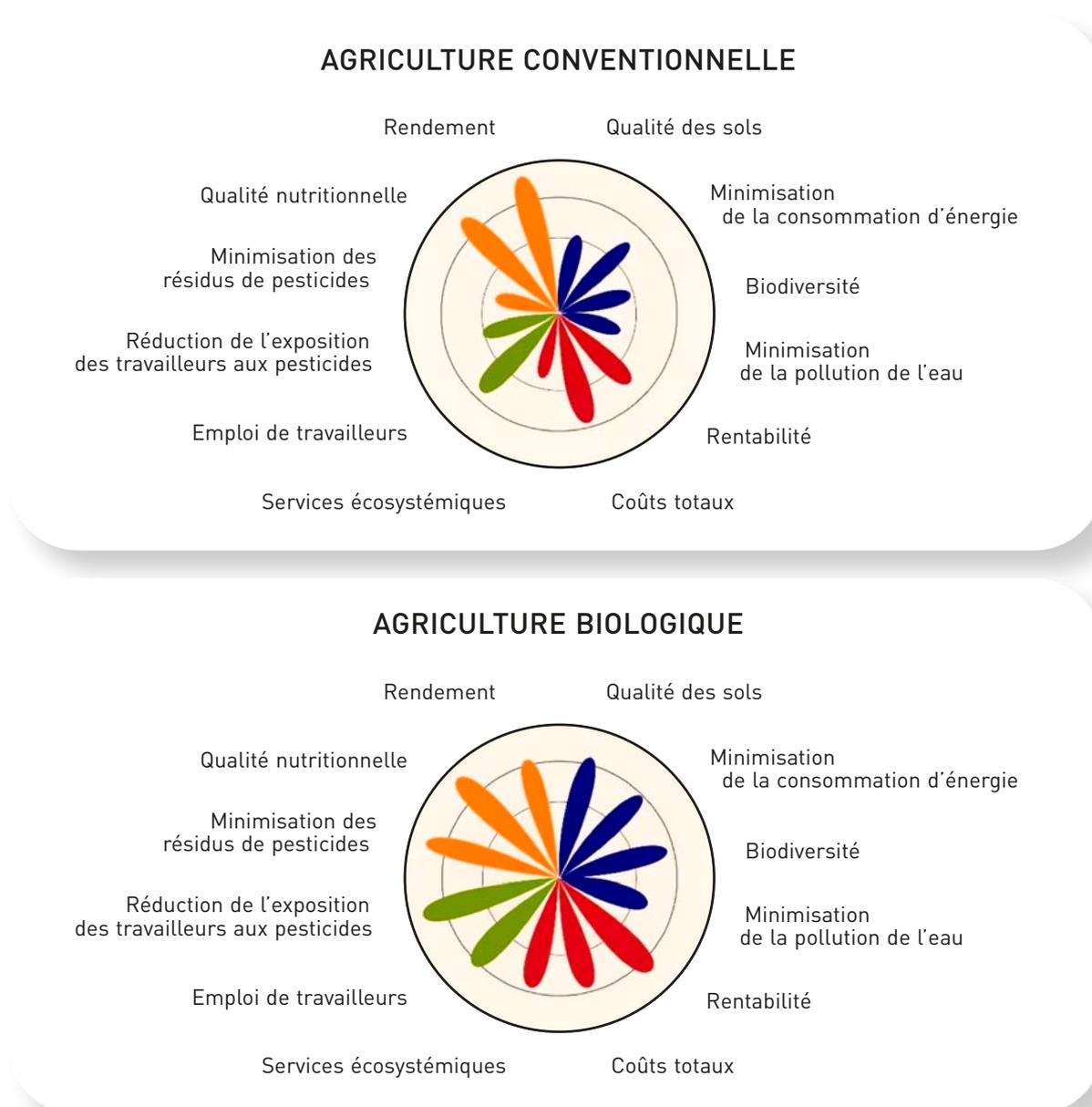
Parmi les autres fonctions de la PMF, citons un compresseur et l'alimentation électrique pour les outils électriques et les soudeurs dans les ateliers

**Des gains d'efficacité énergétique peuvent être réalisés dans les chaînes agroalimentaires en diminuant les intrants et l'utilisation d'énergie, ainsi qu'en réduisant les pertes énergétiques.**

D'autres possibilités d'économies d'énergie indirectes sont offertes par les exploitations biologiques, qui utilisent beaucoup moins d'énergie fossile que leurs homologues conventionnelles. De plus, l'utilisation d'engrais organiques peut être choisie comme mesure d'efficacité énergétique, afin de contribuer à équilibrer les intrants et les extrants de l'azote, du phosphore et du potassium dans le sol. Les exploitations agricoles biologiques permettent aux entreprises et aux communautés agricoles d'améliorer la qualité nutritionnelle des produits, de réduire la pollution des nappes phréatiques, de minimiser l'absorption de l'eau



(par le travail du sol et le paillage) et de maintenir la qualité de l'eau, soit un triple gain. L'agriculture biologique participe en outre à la biodiversité, réduit les résidus de ravageurs et l'exposition des travailleurs aux pesticides, réduit les coûts d'exploitation totaux et augmente la rentabilité, comme détaillé dans la Figure 2 (UCS Science Network, 2016).



**Figure 2** - Une évaluation de l'agriculture biologique par rapport à l'agriculture conventionnelle montre que les systèmes biologiques équilibrent mieux les quatre domaines de la durabilité : production (orange), environnement (bleu), économie (rouge) et bien-être social (vert).

Source : Organic Agriculture Is Key to Helping Feed the World Sustainably, 2016 disponible à l'adresse <http://blog.ucsusa.org/science-blogger/organic-agriculture-is-key-to-helping-feed-the-world-sustainably>

Pour pouvoir recenser les pistes permettant de réduire la consommation d'énergie d'une exploitation agricole ou d'une entreprise, un organigramme du processus de production doit être préparé. À chaque étape du processus de production, la demande de service énergétique doit être déterminée ; par exemple, la demande d'énergie est une pompe à eau solaire pour l'agriculture en serre, utilisant, lorsque c'est possible, de l'alimentation par gravité et reposant sur des pompes à eau efficaces (bien adaptées aux tâches). Il s'agit là de technologies et mesures d'efficacité énergétique qui peuvent être appliquées comme indiqué dans la Figure 3 ci-dessous.

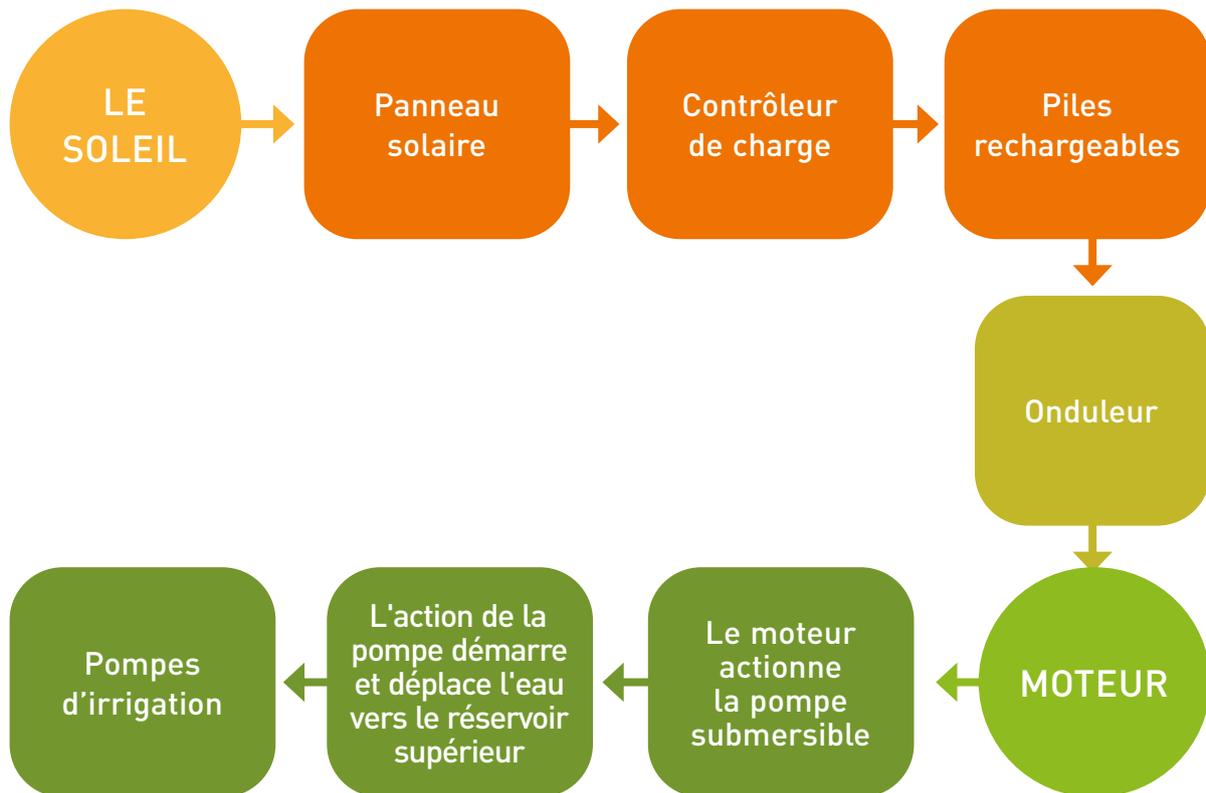


Figure 3 - Schéma fonctionnel de la commande automatique des pompes submersibles solaires pour l'irrigation (Source : <http://salembenmoussa.blogspot.com/2016/03/automatic-solar-submersible-pump.html>)

Enfin, les options de financement des solutions énergétiques de remplacement qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique dépendent en grande partie du contexte réglementaire, environnemental, économique et social dans lequel l'exploitation agricole ou l'entreprise se situe. Les autres technologies énergétiques envisagées devront être adaptées aux conditions locales.

En d'autres termes, les organismes de réglementation devront fournir « l'écosystème » dans lequel ces solutions énergétiques de remplacement pourront à la fois émerger et survivre sur le long terme. Cela signifie que chaque « écosystème » nécessite une série d'éléments de base solides, comme le montre le diagramme ci-dessous, tel qu'il est reproduit de l'IRENA.

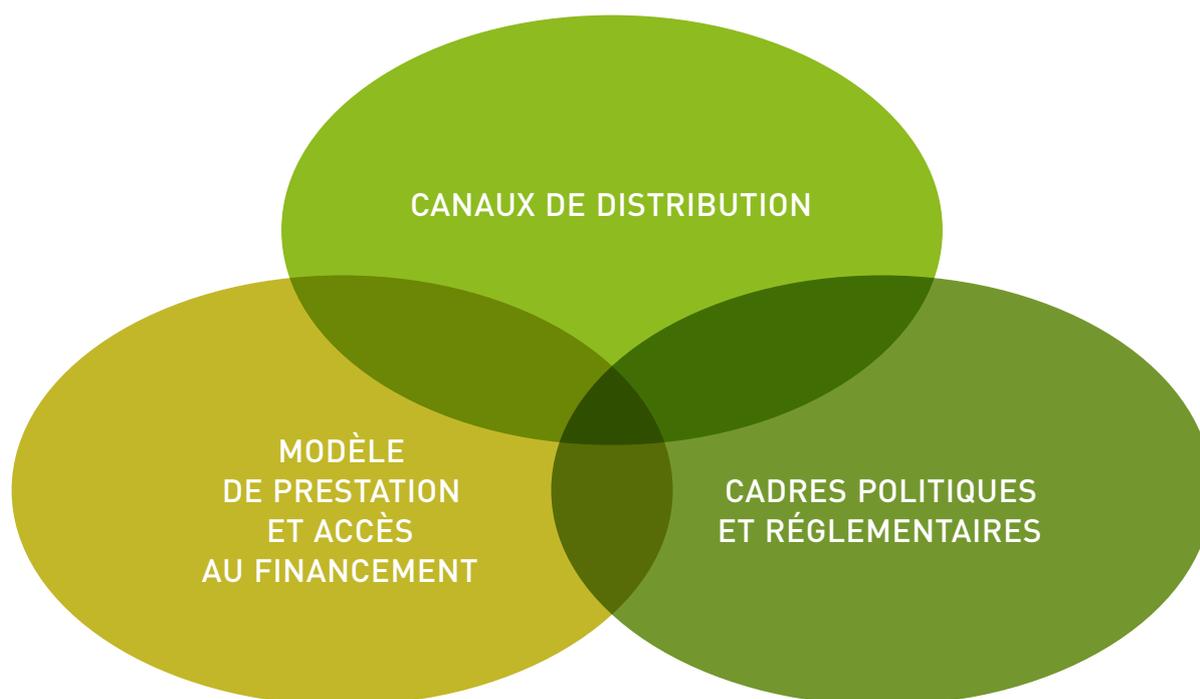


Figure 4 - Les éléments constitutifs d'un écosystème à l'appui des solutions énergétiques de remplacement (Reproduit de : Solar pumping for irrigation: Improving Livelihoods and Sustainability – IRENA, juin 2016)

Parmi les questions plus détaillées que les agriculteurs et les entreprises doivent prendre en compte au cours du processus décisionnel figurent ; la nature et l'ampleur de l'investissement requis, l'analyse des coûts opérationnels, le financement disponible, les questions de coûts-avantages, la disponibilité de main-d'œuvre locale qualifiée, la capacité d'entretien local et la manière dont toutes ces questions cadrent avec les exigences politiques nationales, régionales et locales.

- De nombreux pays ACP sont des importateurs nets d'énergie.
- La volatilité des prix et l'insécurité de l'offre affectent les coûts de production et de transformation tout au long des chaînes agroalimentaires dans les pays ACP.
- L'efficacité énergétique se traduit par des bénéfices plus élevés pour les entreprises et une amélioration du niveau de vie dans les communautés agricoles.
- Des gains d'efficacité énergétique peuvent être réalisés dans les chaînes agro-alimentaires en diminuant les intrants et l'utilisation directs et indirects d'énergie, ainsi qu'en réduisant les pertes énergétiques.



### 2.2.1. Intrants énergétiques directs et indirects

La transformation, la post-récolte, le stockage et le refroidissement sont considérés comme des étapes à forte intensité énergétique des chaînes agroalimentaires qui dépendent de l'énergie conventionnelle dérivée des combustibles fossiles. Toutes ces activités dans les systèmes de production alimentaire sont nécessaires pour transformer les denrées alimentaires brutes en produits de consommation destinés aux marchés locaux, nationaux et d'exportation. Ces activités nécessitent des intrants énergétiques directs et indirects.

1. Les intrants énergétiques directs prennent la forme de carburants pétroliers pour les tracteurs, les moissonneuses-batteuses, les camions et les usines d'irrigation, d'électricité pour les moteurs, l'éclairage, la réfrigération, le pompage de l'eau, et de gaz naturel pour le chauffage, la production de vapeur et la chaleur industrielle.
2. Les intrants énergétiques indirects comprennent ceux utilisés pour la fabrication et la livraison d'engrais et de produits agrochimiques. Les intrants énergétiques indirects sont également utilisés dans les bâtiments agricoles et les usines de transformation, les machines et le matériel, ainsi que pour le transport, la vente au détail d'aliments et la cuisine.

Pourtant, pour les chaînes agroalimentaires non industrialisées, l'augmentation des intrants énergétiques peut conduire à une plus grande sécurité alimentaire et à une amélioration des moyens d'existence des populations rurales pauvres, comme nous l'avons vu au chapitre 1. Les exploitants agricoles dépendent principalement de la culture et de la vente de produits horticoles pour gagner leur vie. Les fruits et légumes doivent être manipulés avec précaution pour s'assurer qu'ils ne sont pas endommagés avant d'arriver sur les marchés. Il est donc essentiel d'en protéger la qualité et d'en prolonger la durée de conservation. Les activités manuelles et à traction animale sont légion et, dans de nombreux cas, la récolte manuelle demeure la méthode préférée pour ce type de produits délicats de grande valeur.

Vous trouverez ci-dessous une présentation de quelques besoins en énergie associés à la production agroalimentaire et de la façon dont la consommation énergétique peut être réduite à différentes étapes :

#### Stade de production

- **Intrants énergétiques:** les besoins énergétiques pendant la production comprennent les engrais, les produits agrochimiques, la main-d'œuvre, le travail d'attelage ainsi que les carburants nécessaires à la mécanisation, au pompage et à d'autres activités.
- **Comment réduire la consommation d'énergie au stade de la production:** lutte contre les maladies et les organismes nuisibles; Les traitements de fongicides sur les fruits et légumes frais peuvent être effectués à l'aide de simples pompes à main, de plateaux perforés et de bassins de drainage.

### Stade de la récolte

- **Intrants énergétiques:** la plupart des produits horticoles sont récoltés manuellement, y compris ceux cultivés dans les pays hautement industrialisés. Les besoins énergétiques pendant la récolte comprennent l'énergie mécanique nécessaire pour arracher les racines et les tubercules et pour effectuer des opérations mobiles d'emballage sur le terrain. Des équipements au diesel et à l'essence sont également utilisés pour certaines activités de récolte. Le défi consiste à répondre à cette demande croissante d'énergie avec des systèmes énergétiques à faible émission de carbone et à utiliser l'énergie de manière efficace tout au long de la production, du transport, de la transformation, du stockage et de la distribution des aliments (FAO, Sims, Flamini, Puri, Bracco, 2015). Les activités de récolte nécessitent de l'énergie principalement pour les entraînements électriques, les procédés électrochimiques, l'éclairage, la réfrigération, le chauffage, le refroidissement et les installations de ventilation
- **Comment réduire la consommation d'énergie pendant la récolte:** récolter tôt le matin, lorsque la température de l'air est plus fraîche, aide à réduire les besoins en énergie et les coûts de refroidissement. Des solutions à faible technicité pour le séchage, le nettoyage/lavage, la lutte contre les maladies et les organismes nuisibles, le tri, le calibrage et le conditionnement des tubercules peuvent être introduites, ce qui conduit à des opérations moins énergivores: Le séchage des tubercules et des bulbes de fleurs a généralement lieu directement après la récolte pour permettre aux couches externes de «peau» et aux tissus du col de sécher avant la manipulation et le stockage. Si les conditions météorologiques locales le permettent, ces cultures peuvent être dépouillées dans le champ, mises en andains et laissées à sécher pendant cinq à dix jours. Les parties supérieures séchées des plantes peuvent être disposées de manière à couvrir et à ombrager les bulbes pendant le processus de séchage, protégeant ainsi le produit de la chaleur excessive et des dommages causés par le soleil. Les couches séchées de «peau» protègent ensuite le produit de toute perte supplémentaire d'eau pendant le stockage.

### Stade post-récolte

- **Intrants énergétiques:** les activités post-récolte nécessitent également de l'énergie principalement pour les entraînements électriques, les procédés électrochimiques, l'éclairage, la réfrigération, le chauffage, le refroidissement et les installations de ventilation. Par exemple, nettoyage/lavage: si de l'eau est utilisée, le coût énergétique du pompage et de l'épuration de l'eau dépendra de la quantité de produits qui passe dans l'installation et de la quantité d'eau nécessaire pour nettoyer le produit. Le nettoyage des légumes-racines nécessite beaucoup plus d'eau que les quantités utilisées pour laver d'autres types de cultures.
- **Comment réduire la consommation d'énergie après récolte:** nettoyage/lavage: le lavage par pulvérisation, le brossage ou l'essuyage des produits dans l'atelier d'emballage peuvent être effectués à la main pour réduire la consommation d'énergie. Tri et calibrage: des anneaux de calibrage et les nuanciers peuvent être utilisés pour trier visuellement et calibrer manuellement les produits frais.

Des outils simples tels que des règles ou des pieds à coulisse peuvent être utilisés pour mesurer la taille ou la longueur. Emballage : l'emballage à la main dans des caisses en plastique, des cartons ou des contenants de fabrication locale doublés de sacs en plastique peut se faire au nombre ou au poids. L'emballage à la main est généralement utilisé pour tous les produits délicats, ainsi que pour toutes les marchandises emballées dans des contenants ou par nombre. Ventilation naturelle : des cheminées thermiques peuvent être ajoutées aux structures existantes ou incluses dans la conception de nouvelles installations pour assurer le refroidissement naturel de l'environnement de la salle d'emballage. Comme le montre la Figure 5, la circulation de l'air est grandement améliorée par la circulation naturelle de l'air à partir des zones plus froides à la base de la structure et vers le haut à travers la section chauffée et à l'extérieur. Ce type de ventilation est utile pour refroidir les espaces de travail, mais ne doit pas être utilisé dans les locaux de stockage. Des ventilateurs solaires peuvent être utilisés si la ventilation passive est inadéquate et si d'autres sources d'électricité ne sont pas disponibles. (USAid, 2009).

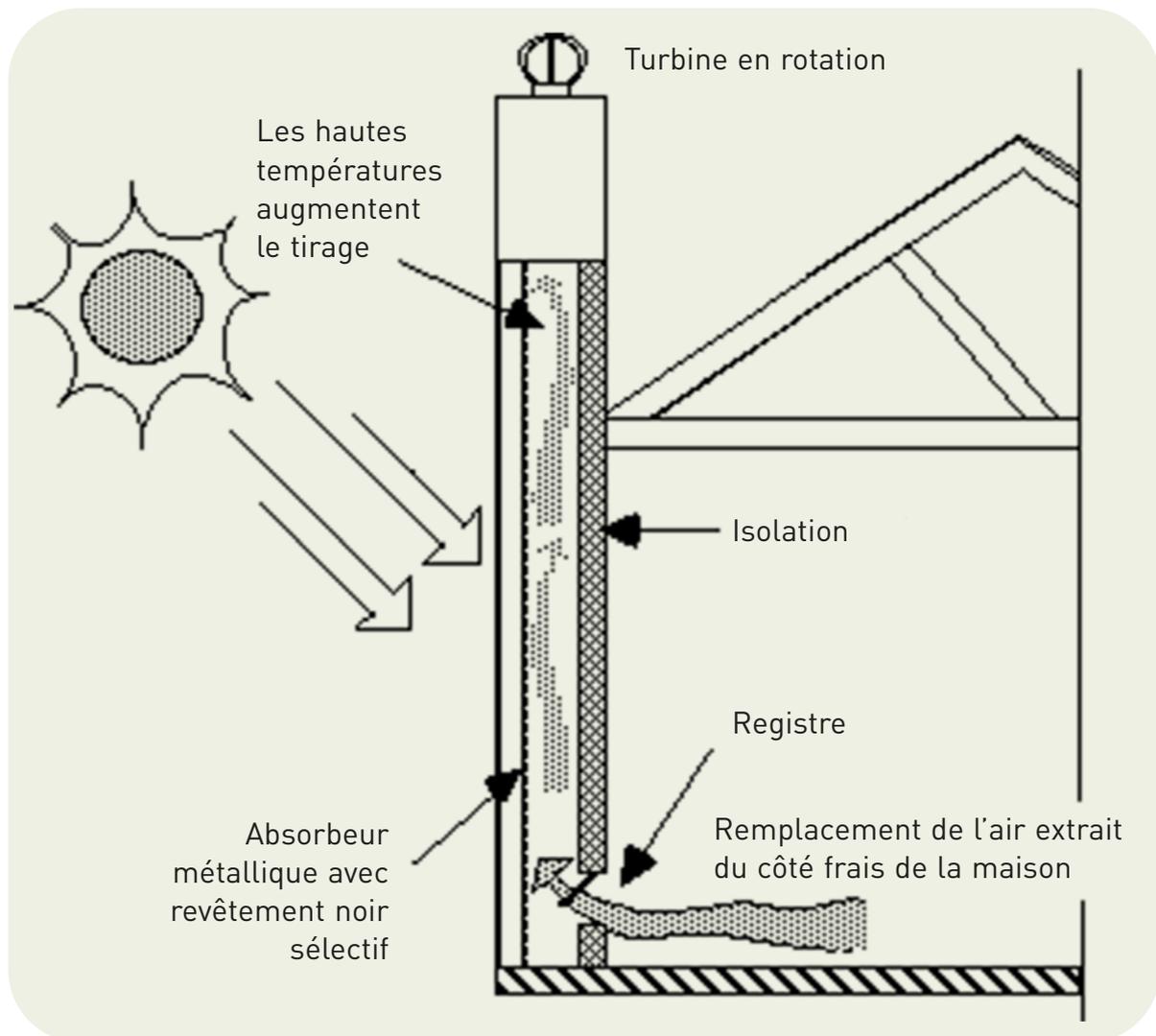


Figure 5 - Utilisation d'une cheminée thermique pour un refroidissement à faible consommation d'énergie  
 (Source : Sustainable Building Sourcebook – Passive Solar guidelines –  
<http://infohouse.p2ric.org/ref/20/sourcebook/www.greenbuilder.com/sourcebook/PassSolGuide3.html>).

Pour les activités post-récolte, l'efficacité énergétique est nécessaire pour maintenir les entreprises de transformation compétitives et propres, et leur permettre de fonctionner à leur productivité maximale. Comme la plupart des activités de transformation reposent sur l'utilisation d'eau chauffée, il s'agit d'un domaine où l'efficacité énergétique peut être améliorée grâce à une plus grande innovation dans les systèmes énergétiques. Le Tableau 1 ci-dessous présente les besoins en électricité et en combustibles classiques pour le chauffage de l'eau, tels qu'ils sont calculés pour le chauffage au propane ou au gaz naturel. La température requise dépend du produit à traiter, mais varie normalement entre 40 et 52 °C. Il faut 9,2 à 14,7 kWh d'énergie pour faire passer 400 litres d'eau d'une température ambiante de 20 °C à 25 °C à l'aide d'un chauffage par résistance.

Tableau 1 : Besoins en électricité et en combustibles pour le chauffage de l'eau

température ambiante de l'eau (°C)	Température cible de l'eau (°C)	Débit d'eau (litres/heure)	Consommation d'électricité pour le chauffage par résistance (kWh)	GPL Propane (litres)	Propane ou gaz naturel) (MJ)
20	40	400	9,2	1,5	38,0
20	52	400	14,7	2,5	63,3
25	40	400	6,9	1,2	30,4
25	52	400	12,4	2, 12, 1	53,1
30	40	400	4,6	0,8	20,2
30	52	400	10,1	1,7	43,0
20	40	1 000	23,0	3,8	96,1
20	52	1 000	36,7	6,1	154,3
25	40	1 000	17,3	2,9	73,4
25	52	1 000	30,9	5,1	129,0
30	40	1 000	11,5	1,9	48,1
30	52	1 000	25,2	4,2	106,3

Les chiffres du Tableau 1 supposent que le rendement du chauffage au propane ou au gaz naturel est de 85 % et que la densité énergétique du GPL/propane = 25,3 MJ/litre = 7 kWh/litre

Source : Lenn Tech Energy and Cost Calculator for Water Heating, 2008 disponible aux adresses

<http://www.lennotech.com/calculators/energy-cost-water.htm> et

[http://www.apricus.com/html/solar\\_energy\\_calculator.htm](http://www.apricus.com/html/solar_energy_calculator.htm)

L'intégration de solutions technologiques simples de RE permet d'optimiser l'efficacité énergétique et de réduire les pertes énergétiques à tout point de la chaîne agroalimentaire où de l'eau chaude est nécessaire. Le chauffage solaire de l'eau, par exemple, peut réduire considérablement les besoins en électricité ou en propane et économiser jusqu'à environ 80 à 90 % du combustible qui serait autrement nécessaire.

De simples capteurs solaires peuvent apporter des améliorations tangibles en termes d'efficacité énergétique. Un capteur solaire est l'élément clé d'un système de chauffage solaire actif. Les capteurs solaires absorbent l'énergie et la chaleur qui en résulte est transférée à l'eau ou à l'air. Les capteurs plats sont le type de capteur solaire le plus courant pour l'eau à basse température. Le chauffage solaire de l'eau peut également réduire considérablement les besoins en électricité ou en propane. Les capteurs solaires plats simples à simple vitrage peuvent être fabriqués localement et sont disponibles dans le commerce dans la plupart des régions du monde, voir Figure 6.

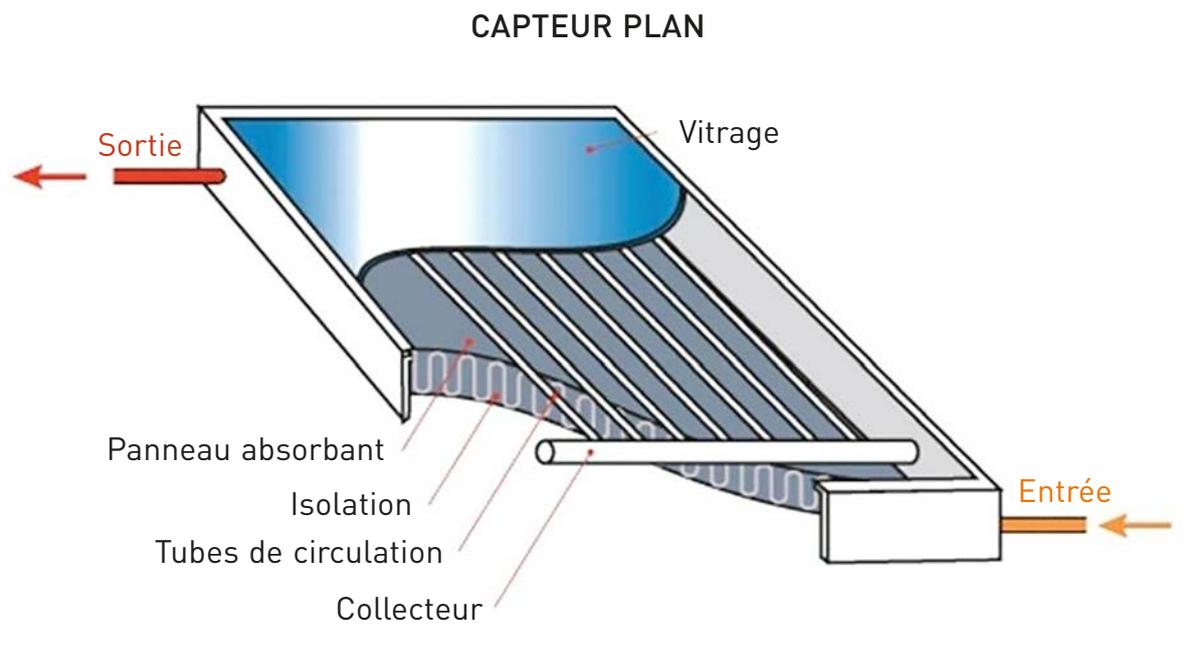


Figure 6 - Capteurs solaires plats simples à simple vitrage  
Source [http://southface.org/solar/solar-roadmap/solar\\_how-to/solar-how\\_solar\\_works.htm](http://southface.org/solar/solar-roadmap/solar_how-to/solar-how_solar_works.htm).

Un capteur solaire plat typique est constitué d'une boîte isolée (bois, métal, plastique, etc.) avec un couvercle transparent en verre ou en plastique et une plaque absorbante noire. Ces collecteurs peuvent produire de l'eau à des températures de l'ordre de 80 °C. L'eau chauffée est stockée dans un grand réservoir extérieur peint en noir et délibérément exposée au soleil. Cela peut augmenter la température ambiante de l'eau jusqu'à 30 °C et réduire le chauffage de l'eau de 30 % voire plus.

Le stockage à capteur intégré (SCI) pour le chauffage de l'eau offre également une plus grande efficacité énergétique. Dans un SCI, le ballon d'eau chaude lui-même est l'absorbeur solaire comme indiqué à la Figure 7 ci-dessous.

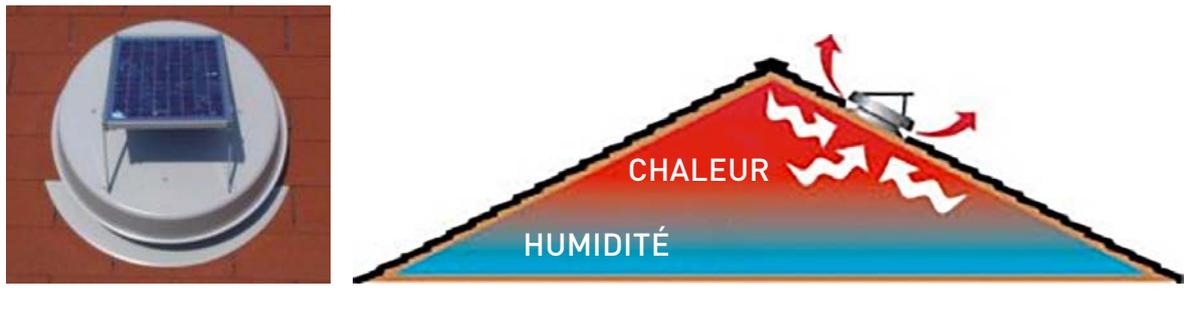


Figure 7 - Stockage à capteur intégré (SCI) [Source : Creative Energy Technologies Inc  
<http://www.cetsolar.com/12volt.htm>]

Les réservoirs sont montés dans une boîte isolée vitrée sur un côté et sont peints en noir. Le soleil brille à travers le vitrage et frappe le réservoir noir. Il réchauffe ainsi l'eau contenue à l'intérieur de celui-ci. Certains modèles sont équipés d'un seul grand réservoir (de 100 à 200 litres), tandis que d'autres sont équipés d'un certain nombre de tubes métalliques d'une capacité totale en série (de 100 à 200 litres). Les réservoirs seuls sont généralement en acier, tandis que les tubes sont généralement en cuivre. Ces capteurs pèsent entre 125 et 200 kg lorsqu'ils sont pleins, donc où qu'ils soient montés, la structure doit être assez solide pour supporter ce type de poids. Les capteurs à simple vitrage similaires au Tableau 6 ont une efficacité adéquate pour les applications à basse température, inférieures à 50 °C. Les températures plus élevées nécessitent un double vitrage et des niveaux d'isolation plus élevés autour du capteur (USAid, 2009).

Des programmes de gestion de l'énergie qui améliorent l'efficacité opérationnelle et technologique sont essentiels au succès à long terme de la production, de la transformation, de l'emballage, du transport et de la commercialisation qui ont lieu le long de la chaîne agroalimentaire. Afin d'exécuter ces activités à un moment donné, **l'énergie subit une conversion d'une forme vers une autre**. Ce processus de conversion a également un rôle à jouer dans **l'efficacité énergétique**. Comme nous l'avons déjà mentionné, les décideurs doivent vraiment comprendre ce processus, car il a une incidence sur la sélection et l'acquisition des équipements énergivores. Il est aussi capital pour les auditeurs énergétiques lorsqu'ils calculent ou testent l'équipement.

### 2.2.2. Efficacité énergétique et conversion énergétique

Comme cela a été dit à plusieurs reprises dans ce chapitre et dans le chapitre précédent, l'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais seulement convertie d'une forme d'énergie à une autre. De plus, les moyens mathématiques permettant de calculer l'efficacité énergétique lorsqu'elle est convertie ont été examinés au chapitre 1. De manière plus détaillée, la conversion d'énergie est réalisée par des équipements tels que chaudières, moteurs électriques, pompes, soufflantes, luminaires et générateurs diesel. Le Tableau 2 en donne quelques exemples.

Tableau 2 : Conversion de formes d'énergie et équipements

Consommation d'énergie	Équipement	Rendement énergétique utile
Énergie liée chimiquement dans le charbon Électricité	Chaudière à vapeur Moteur électrique	Vapeur Énergie mécanique de l'arbre
Électricité Vapeur	Ampoule à incandescence Turbine à vapeur	Lumière visible Énergie mécanique de l'arbre
Électricité basse tension Énergie mécanique de l'arbre Énergie liée chimiquement dans le carburant diesel	Transformateur élevateur Pompe à eau Groupe électrogène diesel	Électricité haute tension Travail en flux Électricité

[Source – Energy Management Course Handbook 2017]

Les équipements responsables du processus de conversion d'énergie produisent toujours une part d'énergie inutilisée qui est perdue dans l'environnement (mais pourrait être partiellement récupérée) et qui s'évacue principalement la sous forme de chaleur. Néanmoins, une conversion a lieu lorsque de l'énergie est produite, c'est-à-dire qu'un moteur diesel génère de l'énergie, ce qui signifie que le moteur convertit l'énergie chimique du pétrole en énergie mécanique. De même, une éolienne produit de l'énergie, ce qui signifie qu'elle convertit l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Et une cellule solaire photovoltaïque produit de l'énergie en convertissant l'énergie du rayonnement en électricité.

En résumé, la production d'énergie concerne une **source** d'énergie, tandis que l'utilisation de l'énergie vise une utilisation finale de l'énergie. Entre les deux, l'énergie peut passer par un certain nombre d'étapes de conversion. Les mots « production » et « utilisation » peuvent prêter à confusion, car, en fait, l'énergie ne peut être ni créée ni détruite. L'énergie est soit transformée, soit convertie en une autre forme d'énergie. Lorsque de l'énergie est « produite », elle devient disponible à partir d'une source et est convertie sous une autre forme. Lorsque l'on « utilise » de l'énergie, il est également nécessaire de la convertir, souvent d'une forme intermédiaire vers une forme utile. Dans toute conversion, une partie de l'énergie se perd. Cela ne signifie pas qu'elle soit détruite, mais plutôt qu'elle est perdue pour une utilisation utile, par dissipation sous forme de chaleur ou autre). Le Tableau 3 ci-dessous donne le détail de l'efficacité énergétique lorsqu'une forme d'énergie est convertie en une autre.

Tableau 3 : Exemples de conversions et d'efficacités typiques lorsque l'énergie est convertie

Convertisseur	Forme de l'énergie d'entrée	Forme de l'énergie de sortie	% d'efficacité
Moteur à essence	Chimique	Mécanique	20 - 25
Moteur diesel	Chimique	Mécanique	30 - 45
Moteur électrique	Électrique	Mécanique	80 - 95
Chaudière et turbine	Thermique	Mécanique	7-40
Pompe hydraulique	Mécanique	Potentiel	40 - 80
Turbine hydraulique	Potentiel	Mécanique	70 - 99
Turbine hydraulique	Cinétique	Mécanique	30 - 70
Générateur	Mécanique	Électrique	80 - 95
Batterie	Chimique	Électrique	80 - 90
Cellule solaire	Rayonnement	Électrique	8-15
Capteur solaire	Rayonnement	Thermique	25 - 65
Ampoule électrique	Électrique	Lumière	env. 5
Pompe à eau	Mécanique	Potentiel	env. 60
Chauffe-eau	Électrique	Thermique	90 - 92
Poêle à gaz	Chimique	Thermique	24 - 30

(De plus amples informations sont disponibles à l'adresse : [www.fao.org](http://www.fao.org))

### 2.2.3. Stratégies de minimisation et de maximisation

L'exemple le plus courant de calcul de l'efficacité énergétique est celui d'une centrale électrique classique où la chaleur est convertie en électricité à l'aide d'une turbine et d'un générateur. Dans une centrale thermique comme celle-là, l'apport d'énergie se réfère à la chaleur injectée dans le processus et à l'électricité obtenue en tant que produit utile. Les deux éléments sont des flux d'énergie et peuvent être quantifiés à l'aide de calculs thermodynamiques qui donnent une valeur de rendement absolue. Malheureusement, une procédure aussi simple n'est pas toujours applicable. Par conséquent, lorsque les résultats et les recommandations d'un audit énergétique seront disponibles, les agriculteurs ou les entreprises pourraient choisir d'adopter ce que l'on appelle communément des stratégies de **maximisation** ou de **minimisation** pour optimiser leur efficacité énergétique globale.

### 2.2.3.1. Principe général

L'efficacité implique toujours à la fois les ressources utilisées et les services fournis. Par conséquent, l'efficacité peut être améliorée si le même service est fourni en utilisant moins de ressources (**stratégie de minimisation**), ou si un meilleur service est obtenu avec les mêmes ressources (**stratégie de maximisation**). Ces deux scénarios sont souvent appelés stratégie de minimisation et stratégie de maximisation, respectivement.

Prenons un exemple simple : une personne pousse une brouette d'oranges sur une surface plane sur une distance de dix mètres. Ici, la ressource utilisée est l'énergie de la personne, tandis que le service ou le résultat consiste à faire avancer la brouette d'oranges de dix mètres. Imaginons maintenant que la personne utilise quelque chose pour réduire la friction entre la surface et la brouette. La personne peut soit suivre la **stratégie de maximisation** et pousser la brouette d'oranges avec la même énergie qu'auparavant, soit pousser la brouette sur la même distance (dix mètres) et utiliser moins d'énergie : C'est ce qu'on appelle une **stratégie de minimisation**. Mathématiquement, ces deux stratégies produisent la même amélioration de l'efficacité. Cependant, l'une vise à réduire les intrants tandis que l'autre vise à en tirer le plus possible. On peut en conclure qu'accroître l'efficacité n'est pas nécessairement synonyme d'économies de ressources. Dans ce petit exemple, la ressource décrite est l'énergie musculaire d'une personne. Dans d'autres systèmes, les ressources utilisées peuvent être des ressources naturelles, de l'argent, du travail, du matériel ou même du temps. Comme dans de nombreux cas où l'objectif est d'améliorer les processus, nous nous efforçons d'accroître l'efficacité.

### 2.2.3.2. Stratégie de maximisation

Changer un système dans lequel l'électricité et la chaleur sont traditionnellement générées dans des cycles de production séparés tandis que la chaleur résiduelle reste inutilisée en faveur a) d'un système plus efficace avec réutilisation de la chaleur et récupération de chaleur, voire b) d'un système de production combinée de chaleur et d'électricité (centrales de cogénération).

- **Exemple A: Système de réutilisation et de récupération de la chaleur**

Il peut s'agir, par exemple, d'utiliser la chaleur résiduelle provenant du processus de production d'électricité dans les centrales électriques ou de processus de production industrielle ou autres pour couvrir d'autres besoins de refroidissement ou de chauffage à proximité, comme la production laitière, les serres ou autres installations agroalimentaires.

- **Exemple B: Installations de production combinée de chaleur et d'électricité/ cogénération**

Pour faire bref, les systèmes de cogénération gagnent en popularité et deviendront à vrai dire l'une des technologies clés pour la production rentable de chaleur et d'électricité pour les réseaux locaux d'électricité et de distribution de chaleur. Une unité de cogénération produit de l'électricité et de la chaleur dans un seul appareil. La production a lieu simultanément dans des modules de production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE). L'élément principal d'un module de

cogénération est le moteur à gaz à haut rendement dans lequel, grâce au processus de combustion, l'énergie contenue dans le combustible est convertie en énergie thermique et mécanique. L'énergie mécanique peut être convertie en électricité, grâce au générateur synchrone couplé au moteur. L'énergie contenue dans les gaz d'échappement et les pertes de chaleur du moteur sont récupérées par des échanges thermiques, puis mises à disposition sous la forme d'énergie thermique. L'énergie thermique mise à disposition peut être distribuée à différents clients par l'intermédiaire d'un réseau de distribution (des informations plus détaillées sont disponibles sur <http://aceee.org/topics/combined-heat-and-power-chp>) (en anglais).

Grâce à la production simultanée de chaleur et d'électricité sur site et de manière décentralisée, les centrales de cogénération atteignent des rendements globaux allant jusqu'à 80-95 %, contre des rendements d'environ 50 % pour les processus de production séparés. Pour couvrir les besoins en chaleur, en électricité et même en froid dans le cadre d'une génération combinée unique et efficace, un système «trigénérationnel» peut également être appliqué dans les processus de production agroalimentaire.

### 2.2.3.3. Stratégie de minimisation – remplacer l'ampoule à incandescence par une ampoule à LED

Les ampoules modernes avec la technologie LED sont capables de fournir une lumière avec une luminosité, ou plus précisément, avec une lumière visible, de 1 000 lumen avec une puissance électrique de 20 Watt. L'ancienne technologie des ampoules à incandescence nécessite pour sa part cinq fois plus d'électricité pour fournir la même luminosité ou lumière visible. L'équation n° 1 permet de visualiser la différence en chiffres :

$$\frac{\text{Ampoule LED} = \text{Puissance} = \text{Luminosité} = 1\,000 \text{ lumens} = 50 \text{ lm}}{\text{Puissance d'entrée } 20 \text{ watts W}}$$

$$\frac{\text{Ampoule à incandescence} = \text{Sortie} = \text{Luminosité} = 1\,000 \text{ lumens} = 10 \text{ lm}}{\text{Puissance d'entrée } 100 \text{ watts W}}$$

La LED utilise la ressource d'entrée plus efficacement. Toutefois, cette comparaison n'est acceptable que lorsque le résultat ou le service sont réellement les mêmes dans les deux technologies. Dans le cas des ampoules, pour certaines personnes, la luminosité est le seul facteur important.

D'autres pourraient soutenir que la LED fournit une couleur de lumière différente et donc un service différent ou moins utile que l'ampoule à incandescence.

«Il convient donc de faire la distinction entre la qualité et la quantité du service obtenu. L'évaluation de la qualité des services est généralement difficile, surtout lorsque plusieurs services sont fournis par le système soumis à analyse» (Pérez-Lombard, *et al.*, 2012).

Par conséquent, l'accent est mis sur l'évaluation de la quantité de service obtenu, qui peut être mesurée plus facilement.

Il existe de bons exemples pertinents de la manière dont les petites et moyennes entreprises, et en l'occurrence des exploitations floricoles au Kenya, ont pu mettre en œuvre des stratégies de minimisation afin d'accroître l'efficacité énergétique. Cela a pris les formes suivantes :

- Les moteurs électriques standard ont été remplacés par des moteurs écoénergétiques.
- Des entraînements à vitesse variable ont été utilisés dans les pompes de fertigation et d'irrigation là où des quantités variables d'eau sont nécessaires.
- Un éclairage à haute efficacité a remplacé les lampes fluorescentes avec des ballasts magnétiques<sup>4</sup>. Dans le cas des exploitations floricoles, des luminaires à LED et des luminaires fluorescents T5<sup>5</sup> ont été utilisés, et les ballasts électromagnétiques existants ont été remplacés par des versions électriques.
- La rationalisation du pompage de l'irrigation n'est pas, techniquement, une stratégie de minimisation, mais elle permet de conserver l'énergie. Dans ce cas, le pompage a été révisé pour fournir la même quantité d'eau requise quotidiennement, avec une hauteur de refoulement appropriée aux points les plus éloignés et en évitant les étranglements. Ces mesures ont permis d'augmenter le rendement du pompage à 65 %. Ces mesures ont permis de réaliser d'importantes économies d'énergie et la période de retour sur investissement a été d'un mois.
- Des systèmes de récupération de chaleur ont été installés pour récupérer la chaleur des systèmes de réfrigération des chambres froides. La chaleur récupérée est utilisée pour préchauffer l'eau des pépinières floricoles.

Bien que ces stratégies de minimisation impliquent un investissement minimal de la part des exploitations floricoles, elles ne se sont révélées réellement efficaces qu'en conjonction avec d'autres mesures telles que la connexion au réseau, des installations pilotes de biogaz, etc.

De plus amples informations peuvent être trouvées dans « Kenyan Flower Industry - Potential for Renewable Energy Use », ministère allemand des affaires économiques et de l'énergie, Berlin, à l'adresse : [https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2015/studie\\_2015\\_subsector-flower-industry-kenya.pdf](https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2015/studie_2015_subsector-flower-industry-kenya.pdf).

4 Un ballast magnétique est un type de régulateur de puissance électrique utilisé dans les systèmes d'éclairage fluorescent. La puissance du ballast doit correspondre exactement aux besoins électriques de la lampe qu'il règle. Source : <https://www.maximumyield.com/definition/3116/magnetic-ballast>.

5 Les tubes à LED T5 sont actuellement proposés en version plug-and-play. Pour autant que le tube à LED soit compatible avec le ballast fluorescent, un équipement plug-and-play est aussi simple à utiliser que de brancher le tube. La plupart des tubes à LED sont compatibles avec les ballasts électroniques à démarrage programmé ou instantané, mais ce n'est pas toujours le cas. Source : <https://www.1000bulbs.com/category/t5-led-tube-lights/> <https://www.1000bulbs.com/category/t5-led-tube-lights>.

Il est important d'examiner de près le dénominateur de l'équation de l'efficacité (l'apport énergétique). Lorsque l'on compare différentes technologies, les appareils consommateurs (tels qu'une ampoule électrique) ne sont pas les seuls à pouvoir être changés ; ce peut aussi être le cas de la forme de l'intrant énergétique. Par exemple, changer un système dans lequel l'électricité et la chaleur sont traditionnellement générées dans des cycles de production séparés, tandis que la chaleur résiduelle reste inutilisée, en faveur a) d'un système plus efficace avec réutilisation et récupération de la chaleur, voire b) d'un système de production combinée de chaleur et d'électricité (centrales de cogénération).

i

#### 2.2.4. Utilisation d'un calculateur d'énergie

Dans une maison comme dans une entreprise, les efforts en matière d'efficacité énergétique commencent souvent par la visite sur place d'un conseiller professionnel qui effectue un **audit énergétique**. L'auditeur inspecte les processus et équipements énergivores et prépare un rapport décrivant les changements possibles susceptibles de réduire la consommation ou les coûts énergétiques. Cette approche n'est pas toujours accessible aux petits propriétaires fonciers ou aux entreprises des pays ACP, compte tenu de la logistique et des coûts qu'elle suppose.

Les petits propriétaires agricoles utilisent des quantités modestes d'énergie et ne peuvent justifier le coût d'un audit énergétique professionnel. Les exploitations agricoles sont des activités «holistiques» complexes. Dès lors, les changements apportés à un processus peuvent nécessiter d'en repenser ou d'en ajuster plusieurs autres. Les professionnels de l'ingénierie qui possèdent les compétences techniques nécessaires pour effectuer des audits énergétiques ont très souvent une expérience limitée, voire nulle, avec les exploitations agricoles.

Face à cette situation, les outils d'évaluation énergétique à faire soi-même présentent un attrait évident. Les producteurs ou les transformateurs agricoles sont souvent ingénieux et pragmatiques. Ils connaissent bien leurs équipements et sont donc généralement capables d'apporter leurs propres améliorations écoénergétiques. Une question importante se pose donc : dans quelle mesure les outils d'auto-assistance peuvent-ils remplacer la visite d'un professionnel de l'énergie et un audit ?

La réponse pour les petits propriétaires fonciers ou les petites entreprises est que, si la technologie est disponible, il est beaucoup plus pratique et rentable d'utiliser soi-même un simple calculateur d'énergie.



Calculez l'utilisation



Soyez mieux informés



Économisez de l'argent = Aidez la planète



Pour les grandes entreprises agroalimentaires, un **calculateur d'énergie** en ligne est un outil qui permet à l'utilisateur d'estimer la consommation et le coût de l'énergie et de déterminer les économies d'énergie possibles. La plupart des calculateurs actuels sont informatisés, et des outils ont récemment fait leur apparition par dizaines sur Internet. On ne sait pas encore grand-chose de l'utilité de ces outils pour les producteurs et/ou les transformateurs agricoles.

Le terme «calculateur» est utilisé ici de façon générale, afin d'inclure une large palette d'outils de sensibilisation à l'énergie et d'aide à la décision. La plupart de ces outils font bien plus que de simples calculs mathématiques. La plupart mettent l'accent sur l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie, bien que quelques outils d'énergie renouvelable et des calculateurs de gaz à effet de serre soient également disponibles.

L'objet d'un calculateur d'énergie agricole peut se réduire à un seul équipement, comme un chauffe-moteur de tracteur ou une pompe d'irrigation électrique, ou s'étendre à l'exploitation entière. Parmi les outils plus larges, certains replacent l'énergie dans un contexte plus général. Les calculateurs en ligne les plus simples comportent une liste de contrôle ou un questionnaire à choix multiples. L'utilisateur choisit parmi les options affichées à l'écran, souvent en fonction de ses connaissances générales concernant les coûts du carburant, les types d'équipement, les superficies ou l'emplacement. Certains calculateurs proposent des valeurs par défaut, tout en donnant à l'utilisateur la possibilité de saisir une valeur plus précise s'il la connaît.

Une approche légèrement plus interactive combine des cases à cocher avec des entrées numériques. Ces chiffres peuvent être facilement connus, comme les codes postaux ou les prix actuels du carburant, tandis que d'autres nécessiteront des recherches de base de la part de l'utilisateur, comme les tarifs mensuels d'électricité ou la puissance des équipements. Les calculateurs plus approfondis nécessitent plus de recherche et de gestion de dossiers, par exemple en ce qui concerne la puissance de l'éclairage ou le nombre d'heures de fonctionnement quotidien d'un équipement.

Plus complexe encore, la feuille de calcul en ligne, où l'utilisateur recherche les bonnes cases à remplir et y saisit des valeurs numériques. Certains calculateurs de type tableurs permettent à l'utilisateur de créer un compte et d'enregistrer des valeurs. Il peut ainsi exécuter plusieurs scénarios avec des saisies différentes ou revenir aux calculs ultérieurement.

À l'autre extrémité du spectre de la complexité se trouvent les logiciels disponibles en téléchargement sur Internet. Ces outils sont installés sur l'ordinateur de l'utilisateur, ce qui règle les problèmes de confidentialité. Cependant, ces programmes exigent

un engagement en temps, des compétences en informatique et de la mémoire informatique, ce qui peut décourager l'utilisateur occasionnel. (Pour de plus amples renseignements, veuillez consulter les Calculateurs d'énergie agricole, NCAT juin 2009, disponible à l'adresse [https://www.ncat.org/downloads/FE\\_Calculator\\_Report\\_Final.pdf](https://www.ncat.org/downloads/FE_Calculator_Report_Final.pdf)).

Vous trouverez ci-dessous un échantillon des divers types de calculateurs d'énergie disponibles en ligne, fournis par toute une palette d'organisations ou d'entreprises qui ont un intérêt à favoriser l'efficacité énergétique au sein des exploitations agricoles et en-dehors de celles-ci.

**Caterpillar Energy Solutions GmbH – <http://chtp-calculator.mem.net/>**

**Description :**

**calculateur en ligne pour cogénération de chaleur et d'électricité proposé par un fabricant réputé de systèmes de cogénération :**

<https://www.epa.gov/chp/chp-energy-and-emissions-savings-calculator>

<https://solarturbines.secure.force.com/cogeneration> ; <http://chp-calculator.mwm.net/>

S'applique aux applications industrielles et commerciales de 400-4500 kW. Cet outil inclut une analyse financière basée sur le retour sur investissement. L'accent est mis sur les moteurs à gaz, y compris le biogaz et les gaz d'échappement. Permet à l'utilisateur d'entrer le pays d'installation et le type de combustible.

**Accessibilité :** En ligne – Aucune inscription requise – Gratuite

**Téléchargements supplémentaires :**

- Directive de l'UE relative à la cogénération, avec une équation intéressante pour calculer les économies d'énergie primaires liées à la cogénération  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=celex:32004L0008>
- Mesure de l'efficacité de la cogénération de l'EPA (É.-U.) avec définitions :  
[https://www.arb.ca.gov/cc/ccei/presentations/chpefficiencymetrics\\_epa.pdf](https://www.arb.ca.gov/cc/ccei/presentations/chpefficiencymetrics_epa.pdf)
- Manuel et équations de l'EPA pour calculer la performance énergétique et environnementale d'une installation de cogénération par rapport à la production séparée de chaleur et d'électricité. Basés sur des unités américaines.  
[www.strath.ac.uk/research/energysystemsresearchunit/](http://www.strath.ac.uk/research/energysystemsresearchunit/)
- Calculateur de l'EPA sous la forme d'une feuille de calcul Excel à télécharger pour la cogénération :  
<https://www.epa.gov/chp/chp-energy-and-emissions-savings-calculator>
- Bonnes pratiques de conception de la cogénération pour les bâtiments et les exploitations en service commercial telles que les hôtels et les hôpitaux, et toute autre activité nécessitant de la chaleur industrielle et de l'électricité :  
[www.cwp-ltd.com/](http://www.cwp-ltd.com/)  
[www.wbdg.org/resources/combined-heat-and-power-chp](http://www.wbdg.org/resources/combined-heat-and-power-chp)

**Autres pages Web :**

- Site complet de l'EPA dédié à cogénération  
[www.epa.gov/chp](http://www.epa.gov/chp)
- Résumé de l'EPA concernant la cogénération  
[www.epa.gov/chp/methods-calculating-efficiency](http://www.epa.gov/chp/methods-calculating-efficiency)

eQuest – [www.equest.com/](http://www.equest.com/)

**Description :** Outil complet de conception de bâtiments et d'efficacité énergétique pour toutes les conditions climatiques. Le logiciel de bureau eQuest (100 Mo en téléchargement) se fonde sur le programme standard de simulation énergétique du bâtiment DOE-2 qui a été perfectionné au cours des vingt dernières années. Il ne contient que des données relatives aux États-Unis. L'utilisateur doit donc fournir ses propres données ou sélectionner une région climatique similaire aux États-Unis. Le logiciel est particulièrement utile pour les AE qui fournissent des services réguliers pour toutes sortes de bâtiments industriels, résidentiels et commerciaux.

**Accessibilité :** Téléchargement en ligne gratuit

**Autres téléchargements :**

- Vue d'ensemble du logiciel et de ses capacités :  
[www.doe2.com/download/equest/eQUESTv3-Overview.pdf](http://www.doe2.com/download/equest/eQUESTv3-Overview.pdf)
- Tutoriel d'introduction pour se faire une première idée des points importants  
[http://www.doe2.com/download/equest/eQ-v3-64\\_Introductory-Tutorial.pdf](http://www.doe2.com/download/equest/eQ-v3-64_Introductory-Tutorial.pdf)

**Autres pages Web :** Néant

**Calculateur d'énergie des technologies de l'air :**

[www.aircompressors.com/resources/energy-calculators/](http://www.aircompressors.com/resources/energy-calculators/)

**Description :** Calculateurs Excel très pratiques en unités américaines et Si pour l'énergie des compresseurs, les pertes de charge du filtre et le transfert d'huile, les tuyauteries d'installation, les cycles de charge, les rapports pression/volume et le coût des pertes de charge. Les formules ne sont pas fournies.

**Accessibilité :** Téléchargement en ligne gratuit

**Autres téléchargements :**

- Excellent manuel relatif à l'air comprimé pour la formation et l'enseignement en classe  
[www.atlascopco.com/images/Compressed\\_air\\_Manual\\_tcm30-1249312.pdf](http://www.atlascopco.com/images/Compressed_air_Manual_tcm30-1249312.pdf)
- Un exemple complet d'un véritable audit d'efficacité énergétique de l'air comprimé  
[www.plantservice.com/](http://www.plantservice.com/)  
<https://www.airbestpractices.com/system-assessments/compressor-controls/compressed-air-auditing-101>

**Autres pages Web :**

- Normes ISO sur l'évaluation de l'efficacité énergétique de l'air comprimé
- Récupération de la chaleur du compresseur d'air « User your energy twice »  
[https://www.carbontrust.com/media/147009/j7967\\_ctl166\\_how\\_to\\_recover\\_heat\\_from\\_a\\_a\\_compressed\\_air\\_system\\_aw.pdf](https://www.carbontrust.com/media/147009/j7967_ctl166_how_to_recover_heat_from_a_a_compressed_air_system_aw.pdf)  
[https://www.compair.com/pdfs/brochures/en/Heat\\_Recovery\\_Brochure.pdf](https://www.compair.com/pdfs/brochures/en/Heat_Recovery_Brochure.pdf)  
<https://www.airbestpractices.com/technology/air-compressors/air-compressor-heat-recovery>  
<https://www.pneumatictips.com/can-air-compressor-heat-recovered/>
- Calculateur de récupération de la chaleur perdue d'un compresseur d'air économique  
<http://www.kaeser.com/int-en/services/know-how/calculator/heat-recovery/>  
[https://www.engineeringtoolbox.com/ventilation-heat-recovery-d\\_244.html](https://www.engineeringtoolbox.com/ventilation-heat-recovery-d_244.html)
- Calculateurs relatifs à l'air comprimé de l'Autorité irlandaise de l'énergie durable. Ce site [www.seai.ie](http://www.seai.ie) fournit également d'autres calculateurs en ligne et un calculateur d'atténuation des émissions des plus utiles. Recherche sur le site pour « calculators »  
[www.seai.ie/Your\\_Business/Technology/Industry/Compressed\\_Air\\_Air\\_Option\\_Calculator.xls](http://www.seai.ie/Your_Business/Technology/Industry/Compressed_Air_Air_Option_Calculator.xls)

Source – Energy Audit Course Handbook for a 200-hours training course for engineers 2<sup>nd</sup> Edition, mai 2017

- Calculatrice simple avec tutoriel permettant d'estimer l'efficacité sans se baser sur aucune norme <https://www.tlv.com/global/TI/calculator/boiler-efficiency.html>.
- Calculateurs simples mais plus sophistiqués pour estimer l'efficacité d'une chaudière non basée sur une norme [https://www5.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_deployment/amo\\_steam\\_tool/equipBoiler](https://www5.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/amo_steam_tool/equipBoiler).

D'autres pratiques d'économie d'énergie moins intensives sur le plan technologique peuvent être mises en œuvre aux différents points d'entrée de l'exploitation et au-delà, le long des chaînes agroalimentaires pour accroître l'efficacité énergétique. Elles sont détaillées dans le Tableau 4 ci-dessous :

**Tableau 4 :** Pratiques d'économie d'énergie qui peuvent être mises en œuvre tout au long des filières agroalimentaires

QUELLE DEMANDE D'ÉNERGIE (DE SERVICE) ?	QUELS PROCESSUS/ CHÂÎNES DE VALEUR AGROALIMENTAIRES ?	QUELLES TECHNOLOGIES/ MESURES COMMUNES D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?
Alimentation en chaleur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agriculture sous serre</li> <li>• Transformation alimentaire (production laitière, séchage des fruits et légumes, conserves alimentaires, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCCE (production combinée de chaleur et d'électricité) / cogénération</li> <li>• Récupération de la chaleur perdue (par exemple par des échangeurs de chaleur qui utilisent la chaleur perdue pour le préchauffage d'autres procédés)</li> <li>• Chaleur résiduelle des centrales électriques (à proximité)</li> <li>• Isolation des réseaux/ canalisations, installations du bâtiment</li> <li>• Dans la mesure du possible/ si possible, utiliser des sources d'énergie renouvelables pour répondre aux besoins de chauffage (p. ex. solaire thermique, géothermique, pompes à chaleur, centrales thermiques bioénergétiques, etc.)</li> </ul>
Refroidissement et climatisation / entreposage frigorifique / chaînes du froid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans tous les secteurs agroalimentaires où la qualité des aliments doit être préservée après la récolte, pendant la transformation et pour le transport des produits agroalimentaires =&gt; production de lait/produits laitiers, production de riz, production de légumes, industrie des boissons, traitement et transformation de l'eau potable, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cogénération/ trigénération</li> <li>• Isolation des réseaux/ canalisations, installations du bâtiment</li> <li>• Minimiser la charge thermique à la fin de la phase de traitement de la chaîne du froid</li> <li>• Systèmes de réfrigération efficaces et « respectueux du climat » (il existe également des technologies nouvelles/renouvelables, telles que les refroidisseurs à absorption solaire)</li> <li>• Systèmes efficaces de ventilation des serres</li> </ul>

QUELLE DEMANDE D'ÉNERGIE (DE SERVICE) ?	QUELS PROCESSUS/ CHAÎNES DE VALEUR AGROALIMENTAIRES ?	QUELLES TECHNOLOGIES/ MESURES COMMUNES D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?
Engrais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans de nombreux secteurs/processus agroalimentaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduire les intrants énergétiques lourds dans la fabrication d'engrais et de pesticides</li> <li>• Amélioration de la précision et de la synchronisation des applications, avec des biocapteurs pour la surveillance de la fertilité des sols et la détection des gaz à l'état de traces. Cela peut réduire considérablement l'utilisation d'engrais et, par conséquent, la consommation d'énergie.</li> <li>• Améliorer la précision et la synchronisation de l'application des pesticides en prenant des mesures telles que l'étalonnage en temps opportun des pulvérisateurs à dos, mais aussi en appliquant l'IPM.</li> </ul>
Alimentation en eau/ pompage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De nombreux processus agroalimentaires (culture, récolte, transformation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sélection correcte de la vitesse et de l'accélérateur</li> <li>• Automatisation efficace (entraînements et moteurs électriques efficaces, ainsi que systèmes de surveillance et de contrôle automatisés) pour la production et le traitement</li> </ul>
Transport et distribution de denrées alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport de denrées alimentaires (lait en poudre, riz en vrac, fruits et légumes, etc.), en partie sous atmosphère contrôlée ou réfrigérée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systèmes de réfrigération efficaces et « respectueux du climat » (il existe également des technologies nouvelles/renouvelables, telles que les refroidisseurs à absorption solaire)</li> </ul>
Transformation et emballage des aliments	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De nombreuses chaînes agroalimentaires et leurs sites de transformation de produits agroalimentaires ou d'aliments/boissons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatisation efficace (entraînements et moteurs électriques efficaces, ainsi que systèmes de surveillance et de contrôle automatisés) pour la production et le traitement</li> </ul>

QUELLE DEMANDE D'ÉNERGIE (DE SERVICE) ?	QUELS PROCESSUS/ CHAÎNES DE VALEUR AGROALIMENTAIRES ?	QUELLES TECHNOLOGIES/ MESURES COMMUNES D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?
Énergies renouvelables et approvisionnement énergétique stable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tout au long de la chaîne de valeur dans de nombreux secteurs agroalimentaires</li> <li>• Là où il existe de bonnes ressources énergétiques locales</li> <li>• Lorsqu'une alimentation stable en électricité/énergie est nécessaire (p. ex. pour des besoins continus de refroidissement, de chauffage à haute température, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser l'électricité du réseau avec une part croissante d'énergies renouvelables (solaire, bioénergie, géothermie, etc.)</li> <li>• Amélioration et modernisation du réseau électrique (réseaux centralisés et décentralisés)</li> </ul>
(Éclairage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serres</li> <li>• Site de production, de transformation et de stockage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologies d'éclairage à économie d'énergie (p. ex. LED)</li> <li>• Automatisation efficace de l'éclairage (en fonction des besoins réels)</li> </ul>

Adapté de «Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development», disponible à l'adresse : <https://poweringag.org/mooc>.

Pour améliorer l'efficacité énergétique, il est important d'identifier les domaines où la consommation d'énergie peut être réduite. Voici quelques mesures qui peuvent être prises pour parvenir à l'efficacité énergétique :

- Examens réguliers de la consommation énergétique en prêtant attention aux factures d'énergie ou aux habitudes de consommation de carburants/combustibles antérieures.
- Entreprendre des évaluations de site pour consigner les équipements utilisés et les données sur le rendement.
- Effectuer une analyse technique et une analyse des coûts. Pour l'analyse technique, un bilan énergétique simple peut être réalisé.
- Ébaucher des plans d'action afin de déterminer quelles mesures d'efficacité énergétique peuvent être prises pour améliorer les coûts et les économies d'énergie.



### 2.2.5. Étapes de rationalisation des intrants et des coûts

Comme nous l'avons déjà dit, l'efficacité énergétique est un cycle continu, comme nous l'expliquons à la Figure 8 ci-dessous. Par conséquent, il est très important de surveiller et de trouver des moyens d'économiser davantage d'énergie à l'aide des outils et des méthodes fournis dans cette section. Ainsi qu'en développant un système de gestion de l'énergie pertinent et complet pour les entreprises de toutes tailles. En apprenant comment et quand l'énergie est consommée au sein de l'exploitation et au-delà, il est possible de dégager de nouvelles façons d'ajuster les pratiques de la chaîne agroalimentaire pour économiser davantage. Ces données serviront de base pour la prochaine série d'améliorations de l'efficacité énergétique.

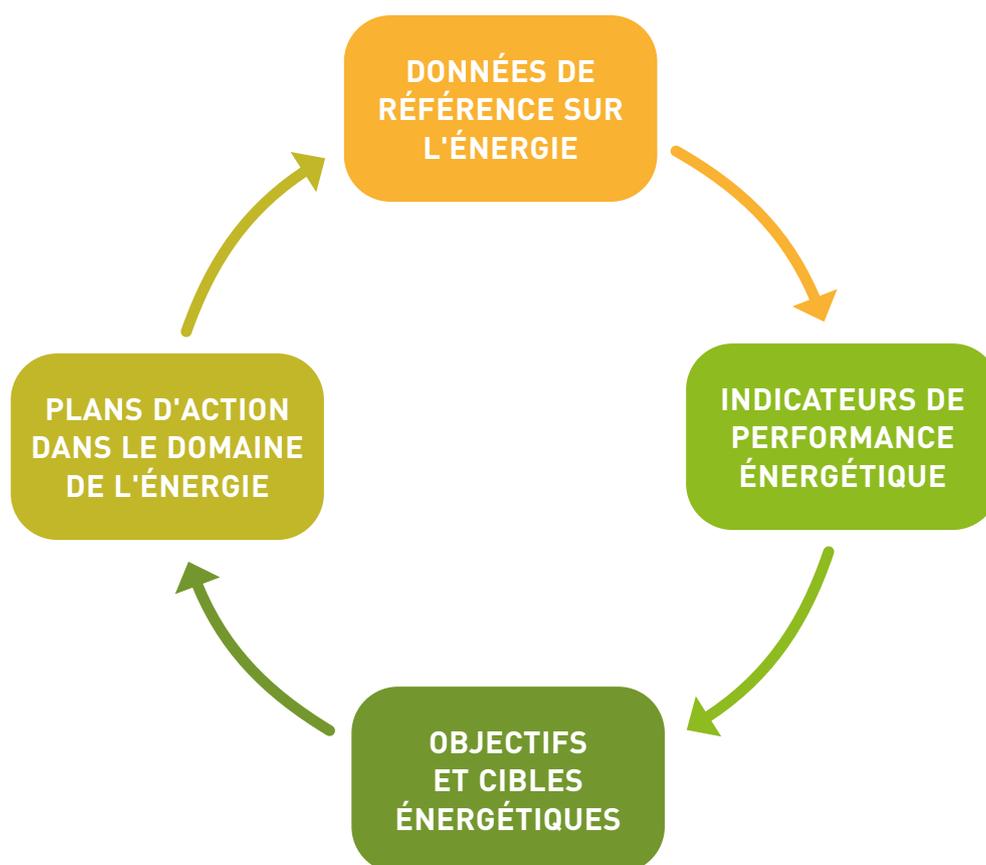


Figure 8 - Cycle de l'efficacité énergétique

Pour les petites et moyennes entreprises ou les entreprises qui s'occupent de transformation, d'emballage, de transport ou de commercialisation complexes, il peut être utile de former un ou plusieurs membres du personnel chargés de la gestion de l'énergie (voir le chapitre 1 pour plus de détails à ce sujet) afin d'établir un **référentiel énergétique** fondé sur des **indicateurs de performance énergétique** qui sera intégré aux systèmes de gestion énergétique ou servira de base aux audits énergétiques.

### 2.2.5.1. Référentiel énergétique

Le référentiel énergétique est un résumé de la consommation totale d'énergie définie pour la période de référence et les paramètres de référence de la production. L'idée est de prendre les informations de l'examen initial de la consommation d'énergie tout en considérant une période de référence adéquate pour la consommation et l'utilisation de l'énergie de l'entreprise. Les changements dans le rendement énergétique sont mesurés par rapport aux données de référence initiales sur l'énergie. Les niveaux de référence doivent être ajustés dans le cas d'un ou de plusieurs des éléments suivants :

- Les **indicateurs de performance énergétique** ne reflètent plus l'utilisation et la consommation d'énergie de l'entreprise,
- Il y a eu des changements majeurs dans les **processus, modèles opérationnels ou systèmes énergétiques**,
- Selon une **méthode prédéterminée** telle que définie dans la procédure.

### 2.2.5.2. Indicateurs de performance énergétique

Vous ne pouvez pas gérer ce que vous ne mesurez pas ! Les données de mesure peuvent être obtenues à partir d'un audit énergétique (le chapitre 1 propose une explication détaillée du processus d'audit énergétique). Avant de pouvoir effectuer des mesures, il est nécessaire de définir certains éléments connus sous le nom d'**indicateurs**.

L'entreprise doit recenser les indicateurs de performance énergétique (EnPI) appropriés pour la surveillance et la mesure du rendement énergétique du système. La méthode utilisée pour déterminer et mettre à jour les EnPI est établie dans les procédures du système de gestion de l'énergie, et les dossiers sont tenus à jour. Les EnPI sont régulièrement réévalués et comparés au référentiel énergétique, s'il y a lieu.

Les opérations fortement industrialisées sont généralement complexes, en ce sens qu'elles comportent de nombreuses sous-activités avec un haut niveau de variabilité. Par conséquent, les indicateurs devraient être définis aussi précisément et exactement que possible, en décrivant à la fois leur périmètre et leurs limites et en déterminant la mesure appliquée. Les indicateurs devraient de préférence être conformes aux exigences de la norme ISO 50001 pour permettre la comparaison et l'étalonnage interne et externe. Lors de l'évaluation de l'efficacité énergétique fondée sur des indicateurs, il s'agit de veiller à comparer des catégories semblables. Les valeurs des indicateurs refléteront l'efficacité énergétique obtenue grâce à des optimisations du système et à des projets d'amélioration particuliers, mais les valeurs globales varieront grandement en fonction de nombreux facteurs. Les différents types d'indicateurs utilisés sont les suivants :

- **Indicateurs basés sur des données opérationnelles (avancés et différés)**: la performance énergétique est généralement évaluée à l'aide d'« indicateurs retardés », qui sont des mesures rétrospectives basées sur des données opérationnelles réelles, reflétant la situation de la performance énergétique « was-is ». Les indicateurs avancés pilotent la performance, et les indicateurs

retardés la suivent. En d'autres termes, le premier type d'indicateur définit la voie que suit la performance des actifs, des équipes ou des ressources, et permet une gestion proactive. Tandis que le second montre le chemin qu'elle a suivi et permet de réagir.

- **Indicateurs de niveau opérationnel**: ces indicateurs sont généralement des fonctions de processus relativement simples, calculées sur une base semi-continue ou continue afin de **mesurer et de surveiller la consommation d'énergie à court terme**, jusqu'au niveau d'une unité ou d'une installation unique. Par exemple, dans le cas d'une débroussailleuse, un indicateur peut être la consommation de fuel de chauffage par mètre carré de mauvaises herbes fauchées en une semaine. Des indicateurs de niveau opérationnel sont communément développés pour chaque site et chaque entité de transformation en fonction de la situation locale spécifique (voir la norme ISO 50001/2).
- **Indicateurs au niveau du site**: ces indicateurs sont basés sur des **données agrégées** provenant du site et sont généralement calculés sur une **base trimestrielle ou annuelle**. Ils servent à mesurer et à surveiller l'efficacité énergétique du site au fil du temps et/ou par rapport à ses pairs. La **consommation d'énergie absolue** (en unités d'énergie par an) peut être utilisée à des fins de gestion et/ou d'information financière, mais elle présente peu d'intérêt en tant qu'indicateur de performance énergétique car elle ne fait pas référence au niveau d'activité correspondant. **Consommation d'énergie spécifique**: (exprimée en unités d'énergie par unité de production transformée) est un indicateur couramment utilisé. Elle est souvent appelée «intensité énergétique». Cette donnée est d'une utilité limitée pour la comparaison ou l'analyse comparative d'installations de complexité différente ou de types d'actifs différents (zones de production et de traitement, bâtiments, stockage, etc.). Par conséquent, chaque zone d'exploitation a sa propre consommation d'énergie structurelle qui reflète les tâches spécifiques qu'elle accomplit.

Un examen et une analyse systématiques de la consommation d'énergie constituent la base d'une meilleure efficacité énergétique. Plus la consommation est élevée, plus la mesure doit être détaillée et, par conséquent, plus il est facile de déterminer le potentiel d'économie. Ces mesures sont limitées par leurs coûts, qui ne devraient bien sûr pas dépasser les bénéfices.

Outre les données relatives à la consommation, d'autres facteurs pertinents doivent être pris en compte pour permettre une évaluation complète des données. Dans un souci de clarté, il est logique de tenir compte de l'ensemble d'une opération, ainsi que des domaines individuels (p. ex. équipements, sites et installations), des systèmes et des processus. Toutefois, le périmètre du système et les conditions d'exploitation doivent toujours être déterminés. Exemples :

- Intervalle de mesure (temps, durée) et précision de la mesure
- Étapes de production, type de produit, emplacements ou même zones d'équipements et appareils (éclairage, ventilation, etc.)

Il devrait toujours être possible d'expliquer les irrégularités. C'est pourquoi, parallèlement aux données relatives à la consommation et à l'utilisation de l'énergie, il est utile d'enregistrer les chiffres de production, le chiffre d'affaires et les ventilations.

Au cours de l'examen de la consommation d'énergie, indiquez l'âge de votre équipement et de vos ressources, ainsi que tout défaut visible. Afin de déterminer le potentiel d'économies et de relever les changements possibles, le flux énergétique complet de l'entreprise doit être enregistré et documenté.

### *2.2.5.3. Objectifs et cibles énergétiques*

Les objectifs et cibles énergétiques pour les fonctions, processus, installations et niveaux pertinents au sein d'une entreprise sont préparés, documentés et mis en œuvre comme indicateurs de performance fondés sur la politique énergétique. Les cibles doivent se baser sur tous les paramètres qui ont un impact décisif sur la consommation d'énergie. Tous les objectifs et cibles doivent être mesurables et conformes à la politique énergétique de l'entreprise, y compris les engagements à respecter le cadre juridique applicable et les autres exigences qui constituent la base de l'amélioration continue. Il convient également de définir un calendrier réaliste pour la réalisation des objectifs et des cibles.

### *2.2.5.4. Plans d'action dans le domaine de l'énergie*

La préparation, la mise en œuvre et le maintien d'un plan d'action énergétique permettront d'atteindre tous les objectifs et cibles définis. Le plan d'action dans le domaine de l'énergie comprend :

- les points qui nécessitent une action, y compris les mesures qui doivent être prises ;
- les moyens (financiers) et le calendrier pour atteindre les objectifs et les cibles ;
- la fonction (personne) au sein de l'entreprise responsable de la réalisation des objectifs.

L'efficacité énergétique est un cycle continu. Il est dans l'intérêt des entreprises de toute taille de la chaîne agroalimentaire d'investir du temps, de l'énergie et de l'argent pour améliorer continuellement leur efficacité énergétique, en prêtant attention aux points suivants :



- Données de référence sur l'énergie
- Indicateurs de performance énergétique
- Objectifs et cibles énergétiques
- Plans d'action en matière de gestion de l'énergie

## 2.3. COMPRENDRE COMMENT LIMITER LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS UNE EXPLOITATION AGRICOLE/ENTREPRISE

La formule magique pour déterminer si le passage de l'énergie fossile aux énergies renouvelables, ou une combinaison des deux, est nécessaire pour améliorer l'efficacité énergétique dépend du « **bilan énergétique** » de l'entreprise.

Un **bilan énergétique** consiste à examiner l'apport, la production et la consommation ou la production d'énergie au niveau d'un procédé ou d'une étape. Lors de l'établissement du **bilan énergétique**, toutes les sources d'énergie thermique sont placées du côté « entrée » et toutes les sources d'utilisation de chaleur du côté « sortie ».

La règle d'or à appliquer dans de tels scénarios est que « **vous ne pouvez pas gérer ce que vous ne mesurez pas** ». La question à se poser est ; **si vous ne savez pas où vous dépensez combien pour quelle énergie, comment pouvez-vous détecter les économies ?** En d'autres termes, si vous ne savez pas quelle quantité d'énergie est perdue par le système, comment pouvez-vous déterminer la meilleure façon d'investir ou de gérer un système énergétique ?

Pour mieux comprendre la nécessité d'entreprendre un bilan énergétique, il est utile de s'inspirer de la première loi de la thermodynamique, qui dit :

**« L'énergie ne peut être ni créée ni détruite ».**

Comme nous l'avons vu précédemment dans ce chapitre, tout ce que les humains ou leurs machines font implique la conversion d'une forme d'énergie en au moins deux autres formes de d'énergie à la sortie. L'une de ces formes est la production d'énergie utile. Le solde correspond à la perte d'énergie (comme cela a été démontré à maintes reprises dans les sections précédentes ayant trait aux intrants énergétiques et aux pertes des chaînes agroalimentaires). Le seul objectif dans ce contexte est de modifier le système de manière telle que les pertes techniques soient réduites de façon rentable. La gestion des systèmes énergétiques doit donc relever deux défis fondamentaux :

- Comment définir précisément le système envisagé ?
- Comment quantifier les flux d'énergie entrant et sortant de ce système ?

### 2.3.1. Définir le périmètre du système

Le premier de ces défis consiste à définir les **limites du système**. Comme nous l'avons déjà mentionné, la définition appliquée au terme « système » est celle d'un bâtiment, d'une zone à l'intérieur d'un bâtiment, d'un système d'exploitation, d'un ensemble d'équipements ou d'un équipement unique, consommateurs d'énergie, qui peuvent être isolés de manière figurative. Ce qui se passe à l'intérieur des limites du système est peu intéressant du point de vue de la comptabilité énergétique. Ce sont les flux d'énergie qui **sortent du périmètre** qui doivent être pris en compte. **Il est donc essentiel que les limites du système soient définies en des termes très précis.**

### 2.3.2. Collecte des données

Le deuxième de ces défis est d'autant plus délicat d'un point de vue technique qu'il implique la collecte de données sur les flux d'énergie à partir de diverses sources, y compris des mesures directes. L'estimation des flux d'énergie qui ne peuvent être mesurés directement, comme les pertes de chaleur à travers le mur d'un bâtiment ou dans l'air évacué, est susceptible d'être également nécessaire. L'attention doit se porter sur les flux d'énergie qui sortent du périmètre du système tel qu'il a été défini. Les points suivants doivent être pris en compte lors de la quantification des flux d'énergie :

- Sélectionnez des unités de mesure pratiques et convertissez les différentes unités en une seule unité sélectionnée pour la consolidation des données (par exemple, exprimez le tout en kWh ou en MJ d'énergie équivalente).
- Sachez calculer l'énergie contenue dans le volume de matière et les débits massiques - comme dans l'eau chaude à évacuer, l'air refroidi à évacuer, l'énergie intrinsèque des matières traitées, etc.
- Sachez calculer la chaleur à partir des différentes formes d'énergie précurseur, comme dans le cas de l'électricité convertie en chaleur par le fonctionnement d'un moteur électrique (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2017).

### 2.3.3. Sensibilisation des travailleurs

Le troisième de ces défis a trait à la sensibilisation des collaborateurs à la finalité de la gestion de l'énergie. Si l'on veut que la gestion de l'énergie soit à la fois efficace et précise, les collaborateurs doivent être conscients des éléments suivants :

- Politique énergétique, objectifs et cibles
- Comment chacun peut contribuer à la gestion de l'énergie
- Informations sur la consommation d'énergie et les tendances au sein de l'entreprise
- Conformité aux exigences légales et autres
- Marge d'amélioration
- Avantages financiers et environnementaux de la gestion de l'énergie
- Personne(s) à contacter pour plus de détails

Des informations beaucoup plus détaillées peuvent être obtenues en consultant la norme ISO 50001 en ce qui concerne les exigences de communication interne pour les entreprises de la chaîne agroalimentaire et la gestion efficace de l'énergie. De plus, la valeur des programmes de formation ne doit pas être sous-estimée. Des programmes de formation bien conçus contribuent à encourager l'acquisition des compétences pertinentes et nécessaires chez les collaborateurs de l'entreprise, ainsi qu'à les sensibiliser à l'importance de la gestion de l'énergie.

### 2.3.4. L'établissement d'un bilan énergétique : un exemple pratique

En termes de pratique et d'application, les mesures à prendre pour établir un bilan énergétique sont les suivantes :

1. Dressez une liste de tous les intrants énergétiques
2. Recenser les endroits où des quantités importantes d'énergie sont utilisées
3. Déterminer les indicateurs de performance énergétique spécifiques
4. Élaborer un plan d'action énergétique
5. Lister les objectifs énergétiques spécifiques et déterminer comment les surveiller

Pour mieux comprendre l'importance d'un bilan énergétique («vous devez savoir ce que vous avez avant de pouvoir le gérer»), suivez l'exemple pratique ci-dessous.

#### 2.3.4.1. Introduction

Dushi est une entreprise familiale qui cultive des haricots verts depuis plus de trois générations. Jack et son épouse Jill – avec l'aide de trois salariés à temps plein et deux salariés à mi-temps – cultivent des haricots verts sur 5 hectares de terre. Ils en produisent 35 tonnes par an et ne fournissent que le marché local avec leurs délicieux haricots riches en nutriments, mais ils rêvent de les exporter en Allemagne. Pour leurs opérations quotidiennes, ils utilisent :

- un tracteur pour, entre autres, labourer la terre et transporter les haricots des champs à l'atelier de conditionnement ;
- deux débroussailleuses pour faucher les mauvaises herbes et l'herbe ;
- deux pompes pour l'irrigation des champs en saison sèche ;
- de l'éclairage, notamment pour l'atelier de conditionnement, la zone d'entreposage des pesticides, engrais, équipements, etc. ;
- du petit équipement pour le tri, le classement et l'emballage ;
- un entrepôt frigorifique pour l'entreposage des haricots emballés ;
- un système informatique et autres fournitures de bureau (électroniques) ;
- un petit camion frigorifique pour l'acheminement sous température contrôlée des haricots de l'entrepôt au client.

Jack et Jill ont entendu dire qu'il existait des moyens pour les petites exploitations agricoles de réduire leur facture énergétique. Ils participent avec d'autres agriculteurs de leur région à un projet visant à les aider à introduire les techniques de base de la gestion de l'énergie.

Les étapes pour mettre en œuvre ces techniques selon le manuel sont les suivantes :

1. Liste des intrants énergétiques : combien payons-nous réellement pour l'énergie ?
2. Utilisations énergétiques importantes : où l'énergie est-elle utilisée ?
3. Indicateurs de performance énergétique : comment pouvons-nous suivre notre consommation d'énergie à l'avenir ?

4. Plan d'action pour l'énergie : comment réduire nos coûts énergétiques ?
5. Objectifs et suivi en matière d'énergie : où voulons-nous aller – et sommes-nous sur la bonne voie ?

### 2.3.4.2. Dresser la liste de tous les intrants énergétiques

#### Combien payons-nous réellement pour l'énergie ?

Avant de commencer la collecte et l'analyse des données, vérifiez si la documentation suivante est disponible dans l'entreprise :

- Dossiers sur la consommation d'énergie et la structure des consommateurs (p. ex. listes de machines)
- Plans, programmes, rapports d'audit, mesures, etc.
- Relevés des compteurs de la compagnie d'électricité, etc.
- Factures, factures des entreprises de services publics, de fournisseurs de combustibles, etc.

Les données sur la consommation annuelle ainsi que les coûts doivent être rassemblés séparément pour chaque type d'énergie. Ces données sont disponibles dans les factures des fournisseurs d'énergie (électricité, chauffage urbain, gaz) ou des fournisseurs de mazout de chauffage ou de diesel, ainsi que dans les registres de la station-service ou de la centrale électrique de l'entreprise, etc.

Les données doivent être collectées séparément pour les types d'énergie suivants : électricité (fournisseur d'énergie), production d'électricité en usine (hydroélectricité, photovoltaïque), gaz naturel, mazout de chauffage (lourd, léger, extra léger), carburants (diesel, essence), biomasse, énergie solaire et chauffage urbain.

Jill recueille toutes les données sur les combustibles/carburants et l'électricité à partir des factures des services publics et des factures des fournisseurs des dernières années. Elle utilise un simple tableau Excel pour les lister :

Tableau 5 : Intrants énergétiques

Entrées d'énergie		Consommation				Coûts[US\$]			
Source d'énergie	Unité	2014	2015	2016	2017	2014	2015	2016	2017
Électricité	kWh	170876	199556	201877	214512	5126	6386	7066	8580
Diesel	Litre	1420	1400	1450	1500	994	1008	1088	1185
Essence	Litre	61	59	68	65	48	47	56	55
<b>Coûts totaux</b>						<b>6168</b>	<b>7441</b>	<b>8209</b>	<b>9820</b>

On constate qu'en 2017, le prix au détail moyen de l'électricité s'établit à 0,04 \$/kWh, le prix moyen du diesel à 0,79 \$/litre et le prix moyen de l'essence à 0,84 \$/litre.

La consommation d'énergie est mesurée en joules (J, kJ, MJ, GJ). Une autre unité courante est le kWh : 1 kWh équivaut à 3 600 kJ. Les sources d'énergie, comme les combustibles, sont également exprimées en kilogrammes (kg), en mètres cubes standard (m<sup>3</sup>) ou en litres (l). Les facteurs de conversion se trouvent dans le tableau Excel A3-1.

Outre la consommation d'énergie, la puissance est également un facteur important. Elle indique la quantité de travail effectuée dans un temps donné et est habituellement mesurée en watts (W, kW, MW, GW). Par exemple, l'électricité est généralement facturée sur la base de deux quantités distinctes :

- la puissance (kW) et
- la consommation = travail (kWh)

(Voir chapitre 1 pour en savoir plus sur les unités d'énergie et les facteurs de conversion)

Afin d'encore mieux comparer les différentes unités d'énergie, celles-ci peuvent être converties en kWh à l'aide de facteurs de conversion communs :

**Tableau 6 :** Consommation d'énergie en kWh

			Consommation [kWh]			
Source d'énergie	Unité	Facteur de conversion en kWh	2014	2015	2016	2017
Électricité	kWh <sup>1</sup>	1	170 876	199 556	201 877	214 512
Diesel	Litre	9,9	14 058	13 860	14 355	14 850
Essence	Litre	8,85	540	522	602	575
<b>Total</b>			<b>185 474</b>	<b>213 938</b>	<b>216 834</b>	<b>229 937</b>

À l'aide du tableau Excel du manuel, Jill peut produire des diagrammes pour mieux comprendre leur consommation d'énergie :

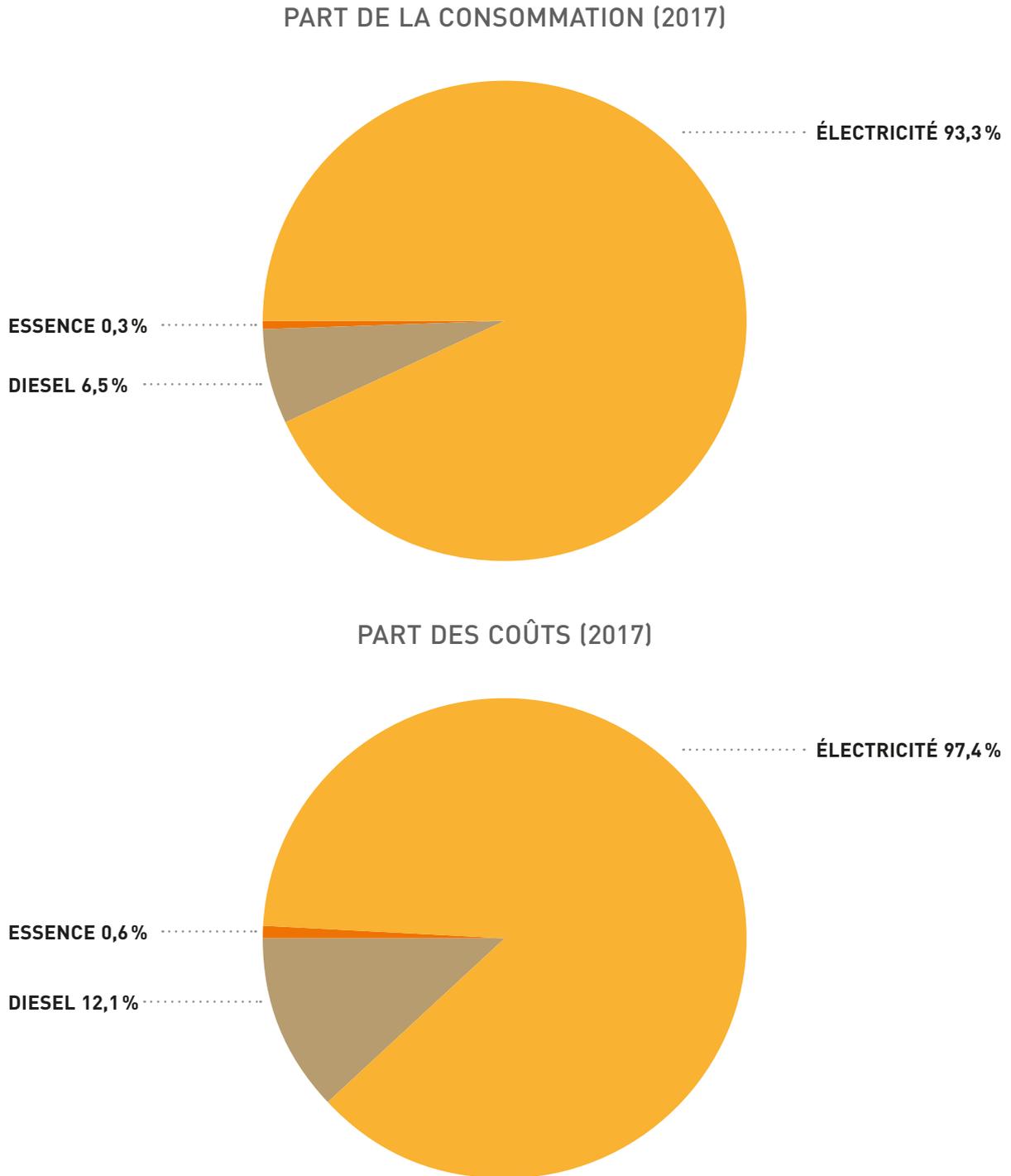


Figure 9 - Part de la consommation et part des coûts (2017)

En 2017, la plus grande part des sources d'énergie était l'électricité, suivie du diesel et de l'essence. En ce qui concerne les coûts de l'énergie, la part la plus importante était aussi l'électricité, puis le diesel, puis l'essence.

Jill peut déjà tirer une conclusion : l'électricité vaut la peine d'être analysée plus en profondeur parce qu'elle représente le facteur de coût le plus important.

En allant plus loin, Jill peut aussi se pencher sur l'évolution de la consommation d'énergie au cours des dernières années :

Électricité (sans puissance de crête ni de redressement) : consommation et coûts

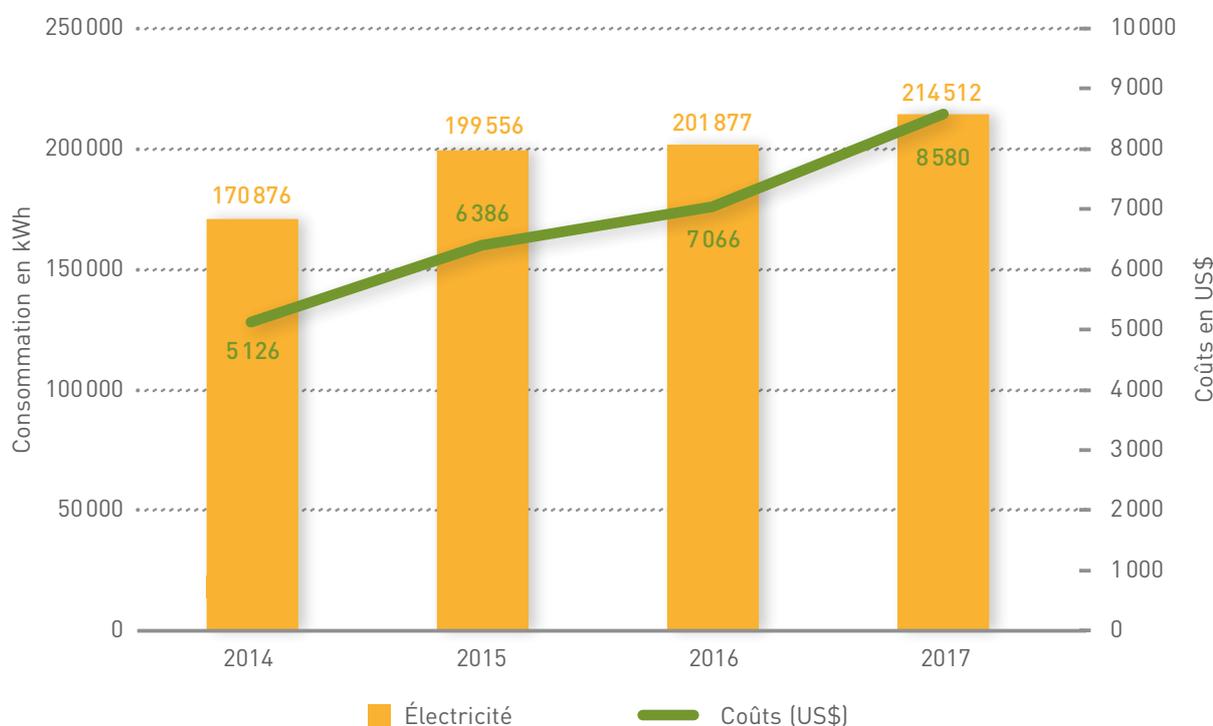


Figure 10 - Consommation d'électricité (sans puissance de crête ni de redressement) et coûts

La consommation d'électricité a augmenté régulièrement de 2014 à 2017. Les raisons en sont les suivantes :

- augmentation de la consommation réelle, par exemple en raison d'une augmentation de l'équipement électrique ou d'un allongement de la durée de fonctionnement de l'équipement, et/ou,
- détérioration de l'efficacité énergétique des équipements électriques (plus d'énergie est gaspillée),
- augmentation du tarif de l'électricité de 0,03 \$ en 2014 à 0,04 \$ en 2017.

En se basant sur les données recueillies jusqu'à présent, Jill décide d'enquêter davantage sur la provenance des coûts de l'énergie.

### 2.3.4.3. Calculer la quantité d'énergie utilisée par équipement

#### Où l'énergie est-elle utilisée ?

Les principales utilisations de l'énergie sont les machines, les équipements et les outils qui utilisent réellement l'énergie d'entrée – électricité, combustibles, carburants, chaleur – pour effectuer des travaux, par exemple les moteurs électriques, les pompes à eau ou les chaudières à chaleur pour fournir de l'eau chaude. Le tableau Excel A3-2 présente les principales consommations d'énergie, leur puissance nominale, les heures de fonctionnement et la consommation. Au final, un total d'au moins 80 % de l'énergie consommée doit être pris en compte.

Il est important de distinguer les consommateurs en fonction de leurs applications. Voir chapitre 1.

Pour faciliter la saisie des données, les tableurs Excel A3-3- à A3-9 (fichier Excel en annexe) fournissent des listes pour les applications les plus courantes. Vous devriez surveiller la puissance nominale et les heures à pleine charge. Si nécessaire, estimez-les pour les petites machines, les grandes machines sont généralement équipées de compteurs d'heures de fonctionnement. Calculez ensuite la consommation totale et attribuez cette valeur aux groupes de consommateurs et aux applications spécifiques. Utilisez la colonne «Notes» pour consigner les détails relatifs aux mesures d'économie d'énergie et les travaux de renouvellement ou d'entretien nécessaires recensés lors de la collecte des données.

Jill veut savoir où l'énergie – et en particulier l'électricité, car c'est le facteur de coût le plus élevé – est utilisée. Pour ce faire, elle demande à Jack de faire le point sur la consommation d'énergie de tout l'équipement et des machineries. Jack dresse un inventaire de tout l'équipement consommateur d'énergie :

Tableau 7 : Consommations d'énergie importantes

Utilisation	Puissance nominale [kW]	Coefficient de charge moyen [%]	Heures/jour	Jours/année	Heures/année	Consommation [kWh/a]	Part du total
Utilisations de l'électricité							
Ventilation et climatisation	50	40 %	14	250	3500	70000	33 %
Zone d'entreposage réfrigérée	10,7	70 %	24	365	8760	65612	31 %
Informatique et autres fournitures de bureau électroniques	2	50 %	24	365	8760	8760	4 %
Éclairage	15	100 %	14	250	3500	52500	25 %
1Small equipment for sorting, grading and packing	1	70 %	1	200	200	140	0,1 %
Divers	5	80 %	10	365	3650	14600	7 %

Utilisations du combustible thermique	Puissance nominale [kW]	Coefficient de charge moyen [%]	Heures/jour	Jours/année	Heures/année	Consommation [kWh/a]	Part du total	
Débroussailleuse	1,9	70 %	2	200	400	532	73 %	
Pompes à eau	1	70 %	2	200	400	202	27 %	
<b>Carburants de transport</b>								
Tracteur						8815	69 %	
Petit camion frigorifique						4000	31 %	
<b>Électricité totale</b>							<b>211 612</b>	<b>92 %</b>
<b>Combustible thermique total</b>							<b>734</b>	<b>0,3 %</b>
<b>Transport total</b>							<b>12 815</b>	<b>6 %</b>
Année	2017					<b>APPORT ÉNERGÉTIQUE TOTAL</b> 229 937		
<b>Part de la consommation totale d'énergie (%)</b>							<b>92 %</b>	

Jack obtient la puissance nominale en kW à partir des plaques signalétiques des équipements. Pour le coefficient de charge moyen, il a soit utilisé les valeurs standard du fabricant de l'équipement qu'il a trouvées dans les manuels, soit il en a discuté avec l'opérateur de la machine – et parfois, ce furent des discussions difficiles, mais comme aucune machine ne fonctionne constamment à 100 % – sauf l'éclairage – le technicien estime que les valeurs utilisées sont assez proches de la réalité.

Jill et Jack peuvent maintenant voir où va l'énergie : environ 89 % de l'électricité va à la ventilation et à la climatisation, à la réfrigération et à l'éclairage. Le reste (4 %) va à l'informatique et au petit matériel. Pour divers équipements (7 %), le technicien n'a pas saisi les données parce que le travail aurait été trop important – il était plus important pour lui de saisir les données des grosses machines.

## UTILISATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

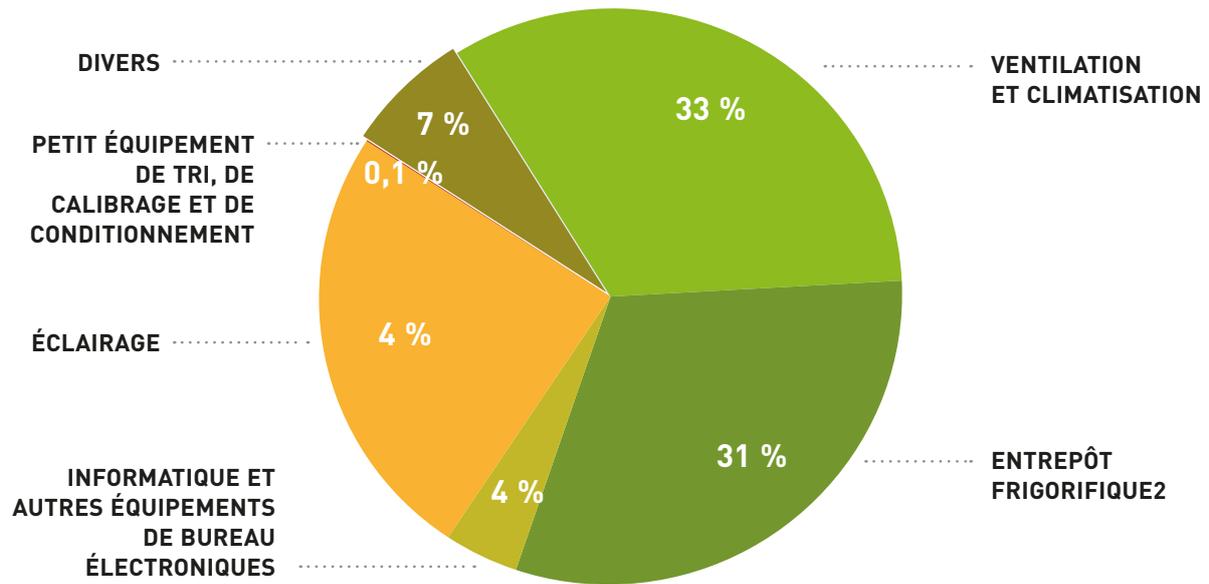


Figure 11 - Utilisations de l'électricité

La débroussailleuse utilise de l'essence pour alimenter un moteur à combustion, les pompes à eau utilisent quant à elles du diesel. Ces deux machines ne représentent que 0,3 % de l'énergie totale consommée. Le tracteur et le petit camion frigorifique représentent 6 % de l'apport énergétique total.

#### 2.3.4.4. Recenser les indicateurs de performance énergétique

##### Comment pouvons-nous suivre notre consommation d'énergie à l'avenir ?

Pour l'évaluation de la consommation d'énergie d'une entreprise, des valeurs de référence, appelées indicateurs de performance énergétique (EnPI), sont essentielles. Par exemple, dans le cas d'une brasserie, un indicateur peut être la consommation de mazout de chauffage par hectolitre de bière. Ces indicateurs peuvent varier considérablement selon le type d'énergie ou les caractéristiques de l'entreprise. Les valeurs de référence typiques sont le volume de production, le chiffre d'affaires, le nombre d'employés, la surface chauffée, le volume transporté, le kilométrage, etc.

Chaque entreprise doit s'efforcer de réduire sa consommation d'énergie spécifique. Pour les entreprises en expansion, les tendances de référence sont un indicateur fiable de l'efficacité énergétique, alors que la consommation globale d'énergie n'est pas vraiment significative.

La situation énergétique d'une entreprise peut être analysée et contrôlée sur la base de sa consommation d'énergie spécifique. Dans ce cas, les points suivants doivent être pris en compte.

- La consommation d'énergie spécifique a-t-elle changé? Constate-t-on une augmentation significative des coûts énergétiques?
- Les calculs de la consommation d'énergie spécifique sont-ils basés sur des chiffres et hypothèses corrects?
- Si la consommation d'énergie spécifique a augmenté: Quelle pourrait en être la raison? Quels sont les domaines qui ont pris de l'expansion? Cette expansion a-t-elle entraîné une consommation d'énergie spécifique plus élevée? Des sources d'énergie ont-elles été remplacées?
- Si la consommation spécifique d'énergie a diminué: La diminution est-elle due à des mesures spécifiques d'économie d'énergie? Les objectifs ont-ils été atteints? Ou la consommation a-t-elle diminué parce que des sources d'énergie ont été remplacées?
- Où puis-je trouver des repères appropriés?
  - Demandez à vos collègues de vous fournir les données d'un secteur particulier.
  - Demandez des données aux fabricants d'installations.
  - Faites des recherches dans la littérature (recherche, magazines).
  - Effectuez vos propres calculs.

Les EnPI sont des outils parfaits pour surveiller la consommation d'énergie d'une entreprise. Si on le fait régulièrement – disons tous les mois – on peut facilement déceler les écarts par rapport au maintien du *statu quo*. Vous pouvez utiliser le tableau Excel A3-12 pour établir et enregistrer les EnPI.

Jill et Jack savent maintenant quelle quantité d'énergie est consommée, combien ils ont dépensé en énergie et où l'énergie est utilisée. De plus, ils savent que la consommation d'énergie a augmenté au cours des dernières années.

Cette augmentation de la consommation d'énergie peut bien sûr être appropriée parce que l'entreprise a produit plus (production plus élevée = consommation d'énergie plus élevée). Cependant, ils n'en sont pas certains. Afin de découvrir ce qui a causé cette hausse de la consommation d'énergie, Jill établit un ensemble d'EnPI:

Tableau 8 : Indicateurs de performance énergétique

Énergie	Unité	Quantité				Coûts[US\$]			
		2014	2015	2016	2017	2014	2015	2016	2017
Électricité	kWh	170 876	199 556	201 877	214 512	5 126	6 386	7 066	8 580
Essence	kWh	540	522	602	575	994	1 008	1 088	1 185
Diesel	kWh	14 058	13 860	14 355	14 850	48	47	56	55
EnPI Consommation d'énergie	[kWh/tonne]	5 299	6 113	6 195	6 570				
EnPI Coûts énergétiques	[\$US/tonne]					176	213	235	281
Valeurs de référence									
Valeur		Unité	2014	2015	2016	2017			
Nombre de salariés		personnes	7	7	7	7			

		2014	2015	2016	2017
Nombre de salariés	personnes	7	7	7	7
Superficie de la ferme	ha	5	5	5	5
Jours ouvrables par an	j	250	250	250	250
Quantité produite	tonnes	35	35	35	35

Jill décide de corréliser sa consommation d'énergie à sa production réelle. Afin de voir d'autres différences éventuelles qui auraient pu être à l'origine de l'augmentation de la consommation d'énergie, ils indiquent également le nombre de salariés, la superficie de l'exploitation et le nombre de jours de travail par année.

Jill constate que la quantité produite n'a ni augmenté ni diminué au cours des dernières années – elle est restée stable à 35 tonnes. Néanmoins, comme ils le savaient déjà, la consommation d'énergie et les coûts énergétiques ont augmenté :

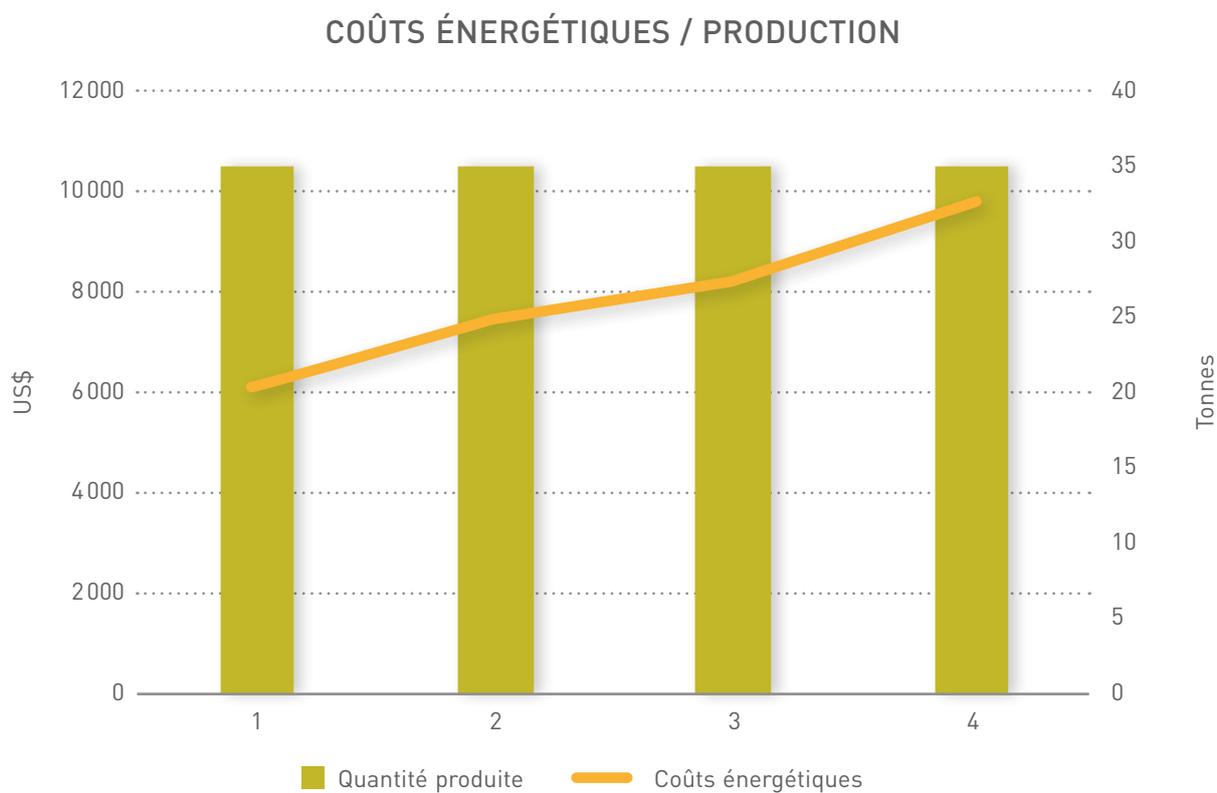
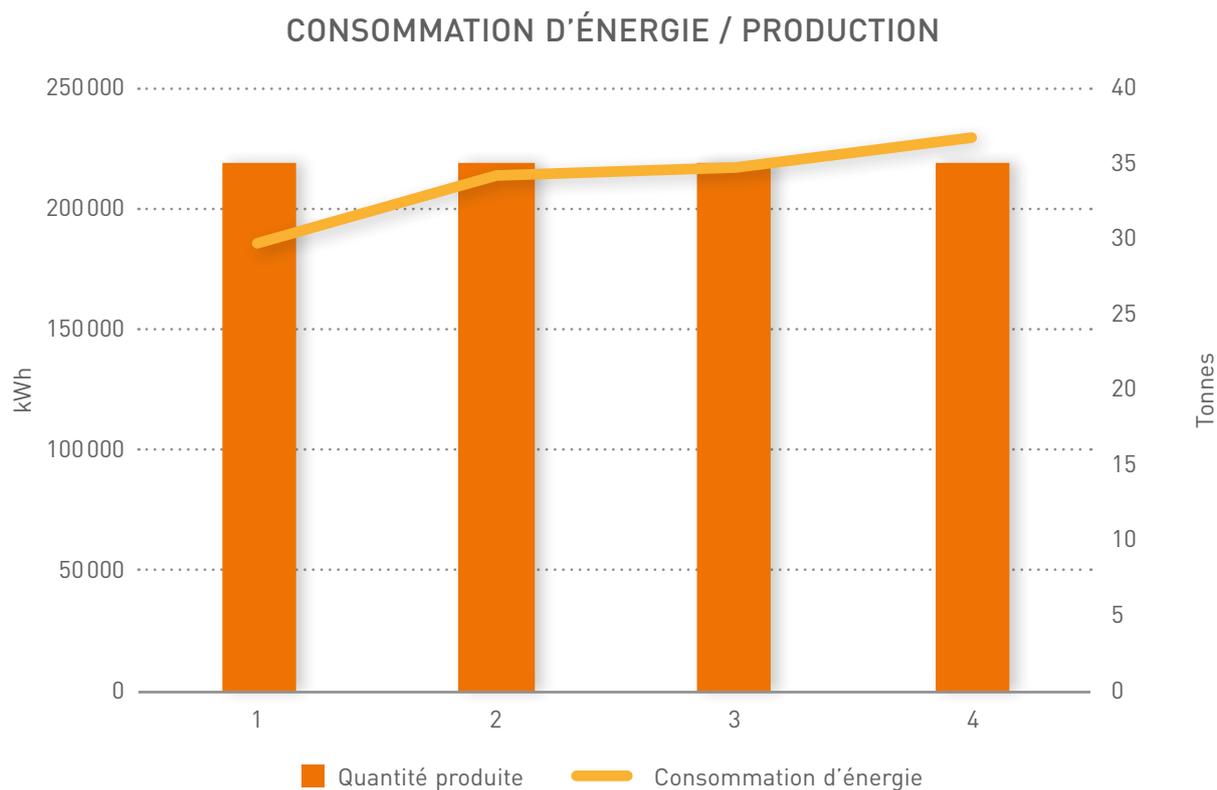


Figure 12 - Consommation d'énergie par rapport à la production

Jill utilise le tableau Excel pour calculer deux EnPI importants :

- Consommation d'énergie par rapport à la production en kWh/tonne et
- Coûts énergétiques par rapport à la production en \$US/tonne

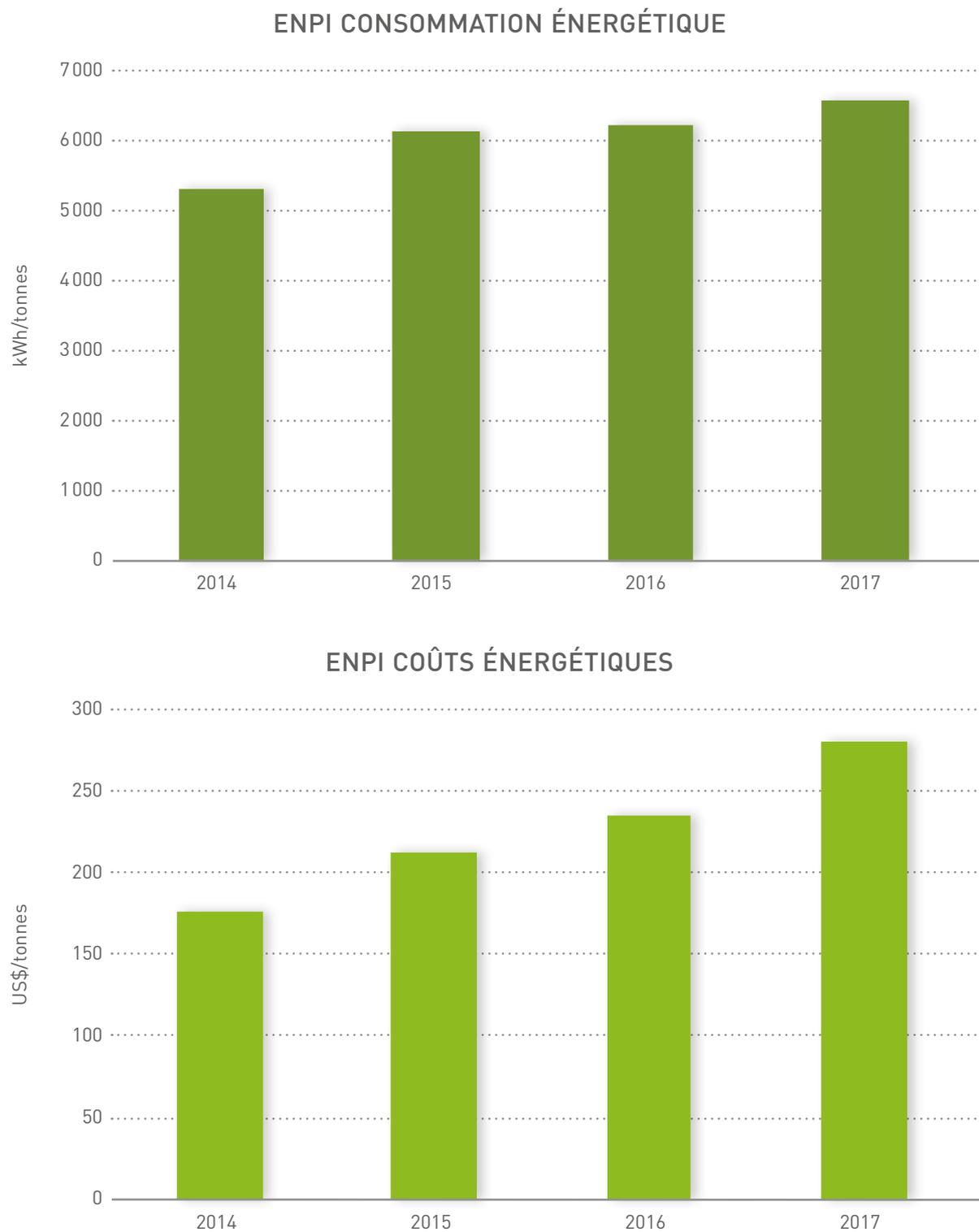


Figure 13 - EnPI Consommation d'énergie

L'EnPI Consommation d'énergie est passé de 5299 kWh/tonne à 6570 kWh/tonne malgré une quantité de production stable. En 2014, l'entreprise dépensait 176 \$ pour produire une tonne de haricots, alors qu'en 2017, elle a dépensé 281 \$ pour une tonne. Cela représente une augmentation de 47 % sur quatre ans !

Jill et Jack en sont surpris, et une question leur vient à l'esprit ; comment pouvons-nous réduire nos coûts énergétiques ?

#### 2.3.4.5. Rédiger un plan d'action énergétique

##### Comment pouvons-nous réduire nos coûts énergétiques ?

Comme nous l'avons déjà mentionné, il est important d'enregistrer et de documenter les données énergétiques des équipements et des machines. Sur la base des données collectées, leurs coûts énergétiques respectifs peuvent être calculés et répartis entre les différents consommateurs. De cette façon, les services concernés peuvent déterminer le potentiel d'économie.

Les fournisseurs donnent souvent des valeurs de référence de la consommation d'énergie des installations et des équipements (par exemple l'efficacité des chaudières, la consommation d'énergie des équipements frigorifiques, etc.). En comparant ces données à celles que vous avez recueillies, vous pouvez déterminer si votre machine fonctionne en dessous ou au-dessus de son rendement nominal. Avec des machines de plus de cinq ou dix ans d'âge, par exemple, il est possible d'économiser des quantités considérables d'énergie en installant de nouvelles technologies microélectroniques et de capteurs (par exemple, des convertisseurs de fréquence pour la régulation de vitesse).

En fonction de la structure de consommation, les mesures d'économie d'énergie peuvent être classées par ordre de priorité et des directives d'achat peuvent être établies. Les mesures potentielles d'efficacité énergétique (MEE) devraient être documentées sous la forme d'un plan d'action énergétique, voir le tableau Excel A3-0.

Jack veut savoir dans quelle mesure l'équipement est écoénergétique et comment les coûts énergétiques peuvent être réduits. Pour ce faire, il commence par les plus grands « consommateurs d'énergie » ; comme nous l'avons vu précédemment, l'électricité représente la plus grande part des coûts énergétiques. Les principales utilisations de l'électricité sont :

- la ventilation et la climatisation (33 %),
- la réfrigération (31 %) et
- l'éclairage (25 %).

Jack commence par la chambre froide. Elle fait 20 m<sup>2</sup> et l'air froid y est fourni par une unité centrale de climatisation d'une puissance de 10,7kW. La température de la chambre froide est réglée sur 2 °C. L'unité de climatisation est relativement récente puisqu'elle a été installée il y a seulement deux ans.

Jack a une bonne impression de l'efficacité de l'unité de climatisation. Cependant, il pense que le réglage de la température de 2 °C pourrait être inutilement bas. Habituellement, la température optimale de stockage pour leur type de haricots est de 7 °C. Comme il a appris qu'une augmentation de la température de refroidissement

de seulement 1 °C permettait une économie d'énergie électrique de 4 %, il veut faire passer la température de consigne de 2 à 7 °C.

Au total, cela donnerait une économie d'énergie de 5 °C x 4 % = 20 % de la consommation de l'unité de climatisation. Comme Jack l'a découvert plus tôt, la consommation de l'unité de climatisation est de 65 612 kWh par an. Une baisse de 20 % représenterait une économie d'énergie de 13 122 kWh par an. Avec un tarif d'électricité de 0,04 \$/kWh, cela se traduirait par une économie d'énergie de 524 \$ par année – gratuitement, car aucun investissement n'est nécessaire pour cela !

Jack est si heureux d'avoir trouvé sa première économie d'énergie qu'il poursuit son « enquête » sur les autres « énergivores ». Il examine ensuite le système d'éclairage de la zone de stockage des emballages, d'environ 300 m<sup>2</sup>. L'espace est éclairé par 20 lampes halogènes métalliques de 450 W chacune. Jack sait que les lampes sont anciennes, il les soupçonne d'être là depuis au moins 20 ans. La lumière qu'elles donnent est plutôt douce et ne convient plus à un espace de travail. Jack aimerait opter pour la toute dernière technologie écoénergétique à LED. Toutefois, il n'est pas certain qu'un tel investissement sera rentable à terme.

La puissance installée des lampes est de 20 x 450 W = 9 000 W ou 9 kW. Leur durée de fonctionnement annuelle est de 3 500 heures. Ainsi, la consommation annuelle d'électricité est de 9 kW x 3 500 h = 31 500 kWh. Au tarif de l'électricité, les coûts énergétiques annuels sont de 1 260 \$.

Jack sait qu'il peut remplacer les anciennes lampes à halogénure métallique par des LED. Habituellement, une lampe de 450 W peut être remplacée par une lampe à LED de 120 W pour une même luminosité. Ces lampes LED n'auraient donc qu'une puissance de 2,4 kW et ne consommeraient que 8 400 kWh par an. Leurs coûts énergétiques seraient de 336 \$, ce qui représenterait une économie de 924 \$ par an (Tableau 9).

**Tableau 9 :** Coûts totaux de l'énergie et de la puissance des lampes anciennes par rapport aux lampes neuves

	Qté	Puissance (W)	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heures)	Énergie (kWh)	Tarif (\$)	Coûts électriques (\$)
Lampes anciennes	20	450	9	3 500	31 500	0,04	1 260
Nouvelles lampes	20	120	2,4	3 500	8 400	0,04	336
						Économies	924

Tableau 10 : Entretien des lampes anciennes par rapport aux lampes neuves

	Qté remplacée chaque année	Prix (\$)	Coût d'entretien (\$)
Lampes anciennes	4	150	600
Nouvelles lampes	0	350	0
		<b>Économies</b>	<b>600</b>

Cependant, l'énergie n'est qu'un des facteurs de coût de l'éclairage. Jack a constaté qu'il lui fallait remplacer quatre lampes par an en raison de l'âge. Une lampe ancienne coûte 150 \$. La durée de vie des LED est plus du double de celle des vieilles lampes (voir Tableau 10).

Au total, l'économie annuelle serait de 1 524 \$, soit une réduction de 82 %! (Voir Tableau 11.) Jack peut calculer la période de retour sur investissement simple; le coût d'une lampe à LED est de 350 \$, ce qui représente un investissement de 7 000 \$, installation comprise. La période de retour sur investissement correspond à l'investissement divisé par les économies annuelles, TRI = 7 000 \$/1 524 \$ = 4,6 ans (voir Tableau 12). En moins de cinq ans, l'investissement serait amorti et l'entreprise économiserait. Considérant une durée de vie des lampes à LED de plus de six ans dans ce cas, c'est un investissement qui vaut la peine d'être fait. (Voir le chapitre 1 pour plus d'informations sur la période de retour sur investissement.)

Tableau 11 : Réduction des coûts totaux

	Énergie totale (kWh)	Coûts totaux (\$)
Lampes anciennes	31 500	1 860
Nouvelles lampes	8 400	336
<b>Économies</b>	<b>23 100</b>	<b>1 524</b>
<b>Pourcentage</b>	<b>73 %</b>	<b>82 %</b>

Tableau 12 : Période de retour sur investissement

	Qté	Prix (\$)	Installation (\$)	Investissement (\$)	Économies (\$)
Nouvelles lampes	20	350	(incl. dans le prix)	7 000	1 524
				<b>Période de retour sur investissement (ans)</b>	<b>4,6</b>

Un autre sujet qui a été abordé au cours de l'enquête était l'énergie solaire. Jack et Jill ont appris par les informations locales qu'il existait un programme de subvention proposé par le gouvernement régional. L'article disait que les agriculteurs et autres petites entreprises pouvaient recevoir une subvention de 30 % s'ils installaient de quoi utiliser l'énergie solaire pour produire de l'électricité. Comme les prix des

équipements solaires ont chuté drastiquement ces dernières années, ce n'est qu'un argument de plus en faveur de l'utilisation de l'énergie solaire. Jack et Jill examinent donc les avantages du photovoltaïque :

- C'est une technologie « verte » : pas d'émissions, pas besoin de carburant, pas de bruit, pas de fumée.
- Le soleil n'envoie pas de facture pour sa livraison d'énergie – il fournit ses rayons gratuitement avec la lumière du jour.
- Comme il n'y a pas de pièces mobiles comme dans un générateur, l'entretien et le fonctionnement de l'installation solaire sont presque gratuits (et sans problème).
- Cela rend l'entreprise un peu plus indépendante des services publics et des fournisseurs de carburant/combustible.
- Cela la rend particulièrement indépendante de l'inflation qui entraîne une hausse des prix de l'électricité et du combustible.
- L'énergie solaire est particulièrement efficace dans les endroits où il y a de longues heures d'ensoleillement et beaucoup d'espace – une exploitation agricole est l'endroit idéal pour cela.

L'énergie solaire peut être utilisée pour une variété d'applications dans une entreprise agricole ; fourniture d'électricité, pompage solaire de l'eau au lieu d'utiliser des pompes diesel, séchage solaire des fruits, des noix, etc., réfrigération solaire, chauffage solaire et bien plus encore.

Jack et Jill se demandent quelle quantité d'électricité solaire serait possible dans leur exploitation et combien cela coûterait. Parmi les facteurs qui pourraient influencer sur leur décision, citons les suivants :

- De combien d'argent avons-nous besoin pour investir dans un système photovoltaïque ?
- De combien d'espace disposons-nous pour son développement ?
- Notre fournisseur de services publics a-t-il des limites de capacité qui restreignent la taille de mon système ?
- Avons-nous des projets d'agrandissement de l'exploitation qui nécessiteraient l'ajout d'équipements électriques ou de bâtiments ?
- Notre consommation d'électricité est-elle relativement constante ou variable ?
- Devons-nous fournir de l'électricité pendant la nuit ?
- Puis-je réduire ma demande d'électricité en déployant l'efficacité énergétique ?

Bien que l'on puisse vouloir produire toute son électricité au moyen du soleil, de nombreux propriétaires de systèmes photovoltaïques commencent par un petit système pour compléter leur alimentation principale en électricité. Un petit système signifie moins de coûts initiaux et la possibilité d'évaluer la capacité de production nécessaire. De plus, la production d'une fraction de sa consommation est plus économique, en termes de kWh, que d'en produire près de 100 %.

Jack et Jill décident d'opter pour un petit système simple pour commencer, afin d'apprendre à connaître la technologie et de voir si les avantages promis se concrétiseront. Heureusement, le programme gouvernemental établit un contact avec une société d'experts en énergie solaire à proximité. Après sa visite à l'exploitation, l'expert propose d'utiliser l'électricité pour couvrir une partie de la demande d'électricité du bureau. Cette demande est assez stable pendant la journée. Comme nous l'avons vu dans le Tableau 7, la demande est de 8760 kWh par an. La façon la plus simple serait de couvrir les lumières et les ordinateurs puisqu'ils ne fonctionnent que le jour quand le soleil brille. Leur demande s'élève à 3700 kWh par an. Cependant, Jack estime qu'il peut économiser environ 10 % de cette somme en utilisant plus efficacement le bureau, par exemple en éteignant les lumières plus souvent. Ainsi, la demande requise se réduit à 3330 kWh.

Fort de ce chiffre, l'expert peut faire son travail en fournissant une offre pour le système solaire. Les étapes de l'estimation des propriétés du système sont les suivantes :

Tableau 13: Estimation d'un système photovoltaïque

Étape	Données	Calculs
1	Établir les kWh annuels qui seront couverts par le système solaire	3 700 kWh/an
2	Soustraire la réduction en kWh obtenue suite à un audit énergétique	Estimation : 10 % de réduction : 3 700 - 370 = 3 330 kWh/an
3	Trouver le rayonnement solaire sur place	Pour Paramaribo, au Suriname, il est de 1 600 kWh/an/kW
4	Diviser par kWh/an/kW	$3\,330 \text{ (kWh/an)} / 1\,600 \text{ (kWh/an/kW)} = 2,08 \text{ kW}$
5	Multiplier par 1,2 pour couvrir les inefficacités du système	$2,08 \text{ kW} \times 1,2 = 2,50 \text{ kW}$ de puissance électrique de pointe
6	Sélectionner les panneaux solaires et noter leur capacité	L'expert a choisi des panneaux de 250 W
7	Diviser par la capacité en kW de chaque panneau solaire	$2\,500 \text{ W} / 250 \text{ W} = 10$ panneaux
8	Calculer l'espace nécessaire pour installer les panneaux solaires	Environ 10 m <sup>2</sup> par kW : $2,5 \text{ kW} \times 10 \text{ m}^2 = 25 \text{ m}^2$ de surface nécessaire

Il ne s'agit là que d'une estimation très rudimentaire ; l'expert l'aura faite à l'aide d'un logiciel de modélisation approprié.

L'expert fournit également à Jack et Jill une analyse financière appropriée. Il estime le coût du système à 4 465 \$. Cela fait 1 785 \$ par kW ; déduction faite de la subvention de 30 %, l'investissement revient à 3 125 \$.

**Tableau 14 :** Prix du marché des équipements photovoltaïques  
(source : NREL, 2017)

	Échelle utilitaire >1 MW	Commercial >100 kW	Résidentiel <100 kW
Y compris panneaux, onduleur, matériel BOS, placement (hors terrain, taxes, frais généraux)	800 \$/kW	1 250 \$/kW	1 800 \$/kW

La période de retour sur investissement dynamique du système serait de 11 ans. Comme les panneaux solaires ont une garantie d'au moins 25 ans, c'est un bon investissement pour commencer. Selon l'évolution des prix de l'électricité et du carburant, la période de retour sur investissement pourrait même être beaucoup plus courte. En outre, les prix des panneaux solaires diminuent au fur et à mesure que la taille du système augmente.

Jack et ses collègues ont trouvé d'autres possibilités d'économiser de l'énergie et des coûts. Il les documente dans son plan d'action énergétique pour suivi et planification ultérieurs :

**Tableau 15 :** Plan d'action pour l'énergie

Poste	Action	Responsable	Date limite	Investissement (\$US)	État	Économies			Amortissement [années]
						ÉNERGIE (kWh)	CO <sub>2</sub> (tonnes)	BÉNÉFICE (\$US)	
Réfrigération	Augmenter la température de consigne de 2 à 7 °C dans la chambre froide.	Jack	Mai 2017	0	100 %	13 122	7,4	524	0,0
Éclairage	Remplacer 20 vieilles lampes à halogénures métalliques par des lampes à LED.	Jack	Oct. 2017	6 000	75 %	23 100	10	1 524	3,9

Poste	Action	Responsable	Date limite	Investissement (\$US)	État	Économies			Amortissement [années]
						ÉNERGIE (kWh)	CO <sub>2</sub> (tonnes)	BÉNÉFICE (\$US)	
Ventilation	Moderniser les deux moteurs de ventilateur de 7,5 kW avec un variateur de vitesse (VV)	Jack	Déc. 2017	3.000	50 %	15.000	8	600	5,0
Transport	Vérifier si la coopérative de producteurs de haricots peut fournir un nouveau camion de livraison pour toutes nos petites exploitations afin que nous puissions vendre notre camion frigorifique et économiser le carburant	Jill	1 <sup>er</sup> févr. 2018	0	0 %	4 000	5	316	0,0
Transport	Notre tracteur a presque 20 ans et est trop petit pour nos projets d'expansion – demander une offre à «Brunos Tractor Sales & Repair» pour un tracteur neuf et plus gros (il consommera peut-être moins de carburant ?!)	Jill	15 févr. 2018	ne peut pas encore dire	0 %	??	??	?? Le cas échéant ?	?

Poste	Action	Responsable	Date limite	Investissement (\$US)	État	Économies			Amortissement [années]
						ÉNERGIE (kWh)	CO <sub>2</sub> (tonnes)	BÉNÉFICE (\$US)	
Énergies renouvelables	«Smith Solar Works» nous a fait une offre pour l'utilisation d'un système photovoltaïque de 2,5 kW en vue alimenter les équipements informatiques et de bureau – nous pouvons obtenir une subvention de 30 % du programme « énergie solaire pour l'agriculture» du gouvernement !	Jill	30 mars 2018	3.125	50 %	aucune économie	2,6	285	11
Sensibilisation	Il y a de jolis autocollants à télécharger qui disent « Éteignez les lumières » et « Gardez les portes fermées » et autres conseils pour économiser l'énergie – nous devrions en mettre pour que tout le personnel se souvienne d'être attentif à l'énergie!	Jack	1 <sup>er</sup> janv. 2018	50	0 %	2000	1	200	0,3
<b>Total</b>				<b>12175</b>		<b>57 222</b>	<b>37</b>	<b>3664</b>	

### 2.3.4.6. Formuler les objectifs énergétiques et surveiller la consommation d'énergie

#### Où voulons-nous aller et sommes-nous sur la bonne voie ?

En se basant sur les possibilités d'amélioration recensées, l'entreprise peut maintenant déterminer des objectifs énergétiques réalistes et des procédures de suivi de ces objectifs. C'est ce que l'on appelle le suivi, ou « monitoring ».

Les objectifs énergétiques décrivent un but global mais doivent être quantifiés et échelonnés dans le temps. Les objectifs énergétiques sont susceptibles de découler du plan d'action pour l'énergie, mais peuvent aussi provenir d'autres sources. Ils devraient être axés sur les domaines prioritaires de réduction de la consommation d'énergie et d'amélioration de l'efficacité énergétique.

Un moyen facile de fixer un objectif énergétique consiste à définir une cible pour un EnPI, par exemple en vue de réduire la consommation d'énergie spécifique pour la production d'une tonne de produit au fil du temps.

Le suivi signifie par exemple vérifier si la consommation d'énergie diminue comme prévu, mais aussi, si les moyens sont disponibles pour cela. C'est aussi vérifier régulièrement l'efficacité des opérations et de l'utilisation de l'énergie. Les opérations énergétiques plus intensives devraient faire l'objet d'un suivi plus régulier, tout simplement parce que l'enjeu est plus important. Le suivi de la consommation énergétique est vital car « seul ce qui est mesuré peut être géré ».

Les plans de Jack et Jill pour l'avenir de leur exploitation comprennent l'expansion de la production pour être en mesure d'exporter leurs haricots. Puisqu'ils connaissent maintenant le coût de l'énergie – et la valeur des économies d'énergie – ils veulent se développer en augmentant le moins possible leur consommation d'énergie. Sur la base du plan d'action énergétique susmentionné, ils décident d'investir dans les mesures d'économie d'énergie suivantes :

- Augmenter la température de consigne de 2 à 7 °C dans la chambre froide.
- Remplacer 20 vieilles lampes à halogénures métalliques par des lampes à LED.
- Moderniser les deux moteurs de ventilateur de 7,5 kW en les dotant d'un variateur de vitesse (VV).
- Installer un système photovoltaïque de 2,5 kW pour alimenter l'équipement informatique et de bureau.
- Placer des autocollants pour économiser l'énergie.

À elles seules, ces mesures permettront de réaliser des économies d'énergie de 53 222 kWh, soit 3 348 \$ par année. Cela représente 23 % de leur consommation totale d'énergie en 2017 et 34 % des coûts totaux d'énergie en 2017.

Au moment de la mise en œuvre des mesures susmentionnées, la consommation totale d'énergie augmentera d'environ 10 % en raison des circonstances suivantes :

- un tracteur plus gros est nécessaire ;
- les terres agricoles vont s'agrandir et une pompe à eau plus grande est donc nécessaire.

En gardant l'expansion à l'esprit, ils se sont fixé les objectifs suivants à l'aide de leurs EnPI :

Tableau 16 : Objectifs énergétiques

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
EnPI Consommation d'énergie	[kWh/tonne]	5299	6113	6195	6570	6570	6000	5500
Réduction à l'année de référence 2017	%					0 %	10 %	15 %
EnPI Coûts énergétiques	[\$US/tonne]	176	213	235	281	281	255	225
Réduction à l'année de référence 2017	%					0 %	10 %	20 %
Quantité produite	tonnes	35	35	35	35	35	40	40

Les objectifs énergétiques de la petite exploitation Dushi sont les suivants :

1. Réduire la consommation d'énergie spécifique en kWh par tonne de 15 % d'ici 2020 (en commençant en 2017)
2. Réduire les coûts spécifiques de l'énergie en US\$ par tonne de 20 % d'ici 2020 (en commençant en 2017)

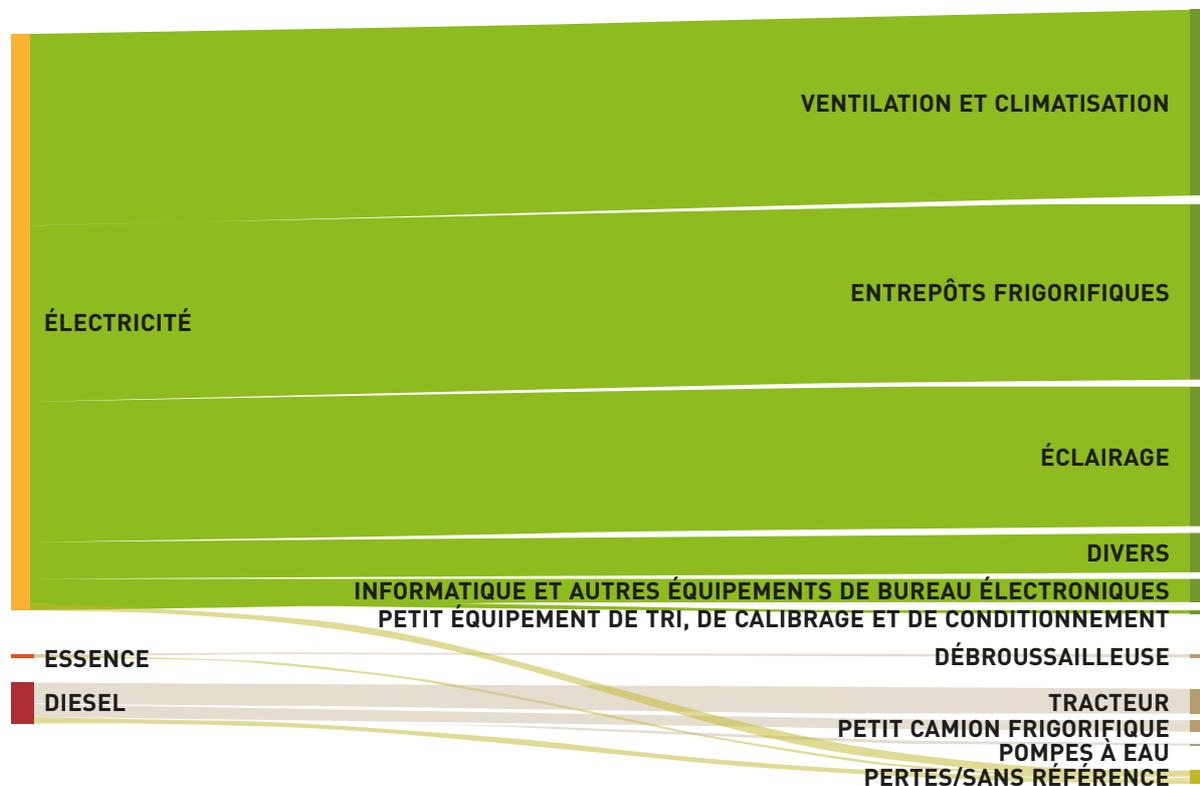


Figure 14 - Carte du bilan énergétique de Dushi

Le schéma ci-dessus, appelé « diagramme des flux d'énergie », illustre les résultats de l'analyse énergétique (étapes 1 et 2). Un tel diagramme peut être produit plus simplement en le dessinant à la main sur un papier ou en utilisant un logiciel courant comme Microsoft Draw ou Word. Celui-ci montre non seulement **où** va l'énergie (par exemple, l'électricité est utilisée pour la ventilation et la climatisation, la réfrigération, l'éclairage et ainsi de suite), mais aussi **quelle quantité** est utilisée et où. La largeur des flux représente la quantité d'énergie en kWh. Ainsi, il est évident que l'énergie la plus consommée est l'électricité, la deuxième est le diesel et la plus faible est l'essence. De l'autre côté du diagramme, nous pouvons voir que la plus grande quantité d'énergie va à la ventilation et à la climatisation, suivie par la réfrigération et l'éclairage. Le tracteur consomme la majeure partie de l'énergie diesel. De plus, nous pouvons calculer et représenter les pertes d'énergie, par exemple la chaleur perdue lors de la combustion du diesel dans un moteur à combustion. Nous pouvons en outre montrer les flux d'énergie qui ne sont pas pris en compte, c'est-à-dire l'écart entre l'intrant énergétique total (Tableau 6) et les utilisations d'énergie que nous pouvons comptabiliser (Tableau 7).



# Chapitre 3

## Transition énergétique, techniques de gestion et de production d'énergie renouvelable

3.1. Transition énergétique .....	118
3.2. Outils d'évaluation pour aider à la prise de décisions .....	146
3.3. Les énergies renouvelables décentralisées pour le stockage, la transformation, le transport et la distribution après récolte .....	159

## OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À la fin de ce chapitre, l'apprenant devrait :

- connaître le principe de la transition énergétique,
- connaître les différents types de technologies d'énergie renouvelable disponibles,
- connaître les outils disponibles pour la prise de décision et comment les utiliser,
- être à même de faire des choix/conseiller les opérateurs sur le type de technologie à adopter dans le but de réduire la consommation d'énergie.

### 3.1. TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

#### 3.1.1. Politiques, gouvernance et possibilités de financement qui soutiennent la transition énergétique dans les pays ACP

Les chapitres précédents se sont concentrés sur deux facteurs qui ont un impact sur les acteurs de toutes tailles impliqués dans les chaînes agroalimentaires. Premièrement, comprendre comment les entreprises agricoles utilisent l'énergie à la fois directement sous la forme de combustible/carburant (essence, diesel, gaz naturel) et d'électricité et indirectement par l'emploi d'intrants énergivores, comme les engrais et les pesticides, et comment l'énergie se perd lorsqu'elle est transformée d'une forme en une autre. Deuxièmement, les agriculteurs doivent vraiment adopter de nouvelles idées qui visent à utiliser l'énergie de manière efficace pour un certain nombre de raisons ; réduire les émissions de GES, assurer la sécurité alimentaire à long terme, réduire les coûts d'exploitation et augmenter les bénéfices dans les exploitations agricoles et au-delà. Avant que ces bénéfices connexes ne se concrétisent, une **transition énergétique, c'est-à-dire un changement structurel à long terme dans un système énergétique, doit avoir lieu** (Smil, 2017). Cela suppose de passer d'un système d'énergie purement fossile ou de systèmes où les pertes d'énergie sont considérées comme élevées, à un système **énergétique plus durable**.

Dans la plupart des pays ACP, l'agriculture et les activités agroalimentaires connexes sont au cœur des économies rurales, avec un pourcentage élevé de ménages employés dans la récolte, l'agrotransformation, le transport et la commercialisation des produits. Pourtant, ces communautés rurales sont toujours aux prises avec des ressources difficilement accessibles, sur le plan tant pratique qu'économique, et elles peuvent se limiter à produire des produits de piètre qualité et peu variés (IRENA, 2016). Bien que l'intégration de l'utilisation des terres à des fins agricoles et énergétiques s'intensifie, les obstacles à un plus grand déploiement des énergies renouvelables dans les zones rurales sont notamment les coûts d'investissement élevés, le manque de financement disponible, l'éloignement de la demande énergétique (y compris l'accès aux réseaux électriques et gaziers), la concurrence pour les terres, les contraintes de transport, les limitations de l'approvisionnement en eau, le manque de compétences et de connaissances des propriétaires et gestionnaires fonciers concernant la manière d'amorcer une transition énergétique (GIEC 2012).

Pour surmonter ce défi, diverses initiatives liées aux politiques et à la gouvernance ont été mises en place dans les Caraïbes et le Pacifique pour faire face à cette situation, comme indiqué au chapitre 1. En outre, la Facilité ACP-UE pour l'énergie a joué un rôle déterminant dans le financement d'initiatives politiques et de gouvernance sur l'ensemble du continent africain. Ces actions contribuent à l'introduction des technologies ER dans les zones rurales, dans le but d'accroître la productivité agricole, de réduire les pertes et les importations alimentaires, d'éliminer la malnutrition et d'accroître la résistance à la variabilité climatique.

La Facilité ACP-UE pour l'énergie a simplifié l'accès aux services énergétiques dans les zones rurales et périurbaines et amélioré la gouvernance énergétique et le développement des capacités des pays ACP africains :

- le Système d'échange d'énergie électrique ouest-africain (EEEOA, plus d'informations sur <http://www.ecowapp.org/fr>), qui est une institution spécialisée de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). Les objectifs de l'EEEOA peuvent se résumer comme suit : assurer un meilleur accès à l'énergie à moindre coût et avec une plus grande fiabilité. En outre, l'EEEOA a pour mission de coordonner le développement des infrastructures et de faciliter le commerce de l'énergie en Afrique de l'Ouest. Quatorze pays sont membres de l'EEEOA. La Facilité ACP-UE pour l'énergie a contribué au financement de projets d'infrastructures transfrontaliers, notamment dans le domaine du transport, ainsi qu'au soutien institutionnel. (Pour plus d'informations : <http://www.ecowapp.org/fr>).
- Le PEAC (Pool énergétique de l'Afrique Centrale, informations complémentaires disponibles sur <https://www.peac-sig.org/index.php/fr/>) est un organe spécialisé de la CEEAC (Communauté économique des États de l'Afrique Centrale) chargé de mettre en œuvre et de coordonner la politique énergétique et l'expansion des infrastructures, ainsi que de créer les conditions juridiques, techniques et commerciales pour accroître les investissements et les échanges d'énergie électrique dans la sous-région. Le PEAC est constitué des compagnies électriques des pays suivants : Angola, République démocratique du Congo, Congo/Brazzaville, Gabon, Guinée équatoriale, Sao Tomé-et-Principe, Cameroun, Tchad, Rwanda et Burundi. La Facilité pour l'énergie soutient les actions prioritaires suivantes : conseils sur l'exploitation des réseaux, sur le développement des marchés régionaux et des organismes de réglementation, et soutien à des programmes pilotes pour l'électrification transfrontalière. (Pour plus d'informations : <https://www.peac-sig.org/index.php/fr/>).
- Les membres de l'East Africa Power Pool (EAPP : informations complémentaires sur <http://eappool.org/about-eapp/>) sont des entreprises publiques ou des concessionnaires chargés de la production, du transport et/ou de la distribution d'électricité dans les pays d'Afrique de l'Est. L'EAPP a été fondé en février 2005, lorsque les ministres responsables de l'énergie de sept pays de la région (Égypte, Soudan, Éthiopie, Kenya, Rwanda, Burundi et République démocratique du Congo) ont signé le protocole d'accord intergouvernemental créant le pool. Son siège social se trouve à Addis-Abeba, en Éthiopie. (Pour plus d'informations : <http://eappool.org/>).

- Le Southern African Power Pool (SAPP: informations complémentaires disponibles sur <http://www.sapp.co.zw/>), dont le siège se trouve à Harare, a été créé en avril 1995 par le traité de la SADC, par lequel les pays membres ont convenu d'optimiser l'utilisation des ressources énergétiques disponibles dans la région et de se soutenir mutuellement en cas d'urgence énergétique. Au moment de la création du SAPP, les gouvernements de la SADC ont accepté de permettre à leurs compagnies nationales d'électricité de conclure les accords nécessaires pour réglementer l'établissement et le fonctionnement de celui-ci. L'adhésion au SAPP a donc été limitée aux compagnies d'électricité des États membres de la SADC. Les actions prioritaires financées par la Facilité Énergie pour le SAPP sont principalement le renforcement des capacités pour l'exploitation des réseaux, la planification des systèmes et la promotion des partenariats public-privé. (Pour plus d'informations : [www.sapp.co.zw](http://www.sapp.co.zw/)).

Il convient de noter que la norme ISO/CEI-13273 guide le développement d'activités liées à l'énergie et axées sur l'efficacité énergétique et les sources d'énergie renouvelables. Cette norme internationale est une norme horizontale conforme au Guide 108 de la CEI.



Elle traite des principes et concepts fondamentaux de l'efficacité énergétique et de la terminologie de la gestion de l'énergie, qui sont pertinents pour un certain nombre de comités techniques, dans le but d'améliorer la cohérence et les caractéristiques communes des termes énergétiques. Cette norme internationale ne traite pas de termes spécifiques à des sujets tels que la viabilité environnementale ou l'énergie nucléaire, mais plutôt d'une terminologie transversale de l'énergie. Elle s'adresse davantage aux organismes de réglementation qui sont engagés dans l'élaboration de normes en matière d'efficacité énergétique et de sources d'énergie renouvelables. (<https://www.iso.org/fr/standard/62606.html>)

Des informations supplémentaires et plus détaillées concernant les politiques, la gouvernance et les possibilités de financement qui soutiennent la transition énergétique dans les pays ACP sont disponibles sur le site :

- Facilité ACP-UE pour l'énergie : <http://energyfacilitymonitoring.eu/> (en anglais et en français)
- GIZ Énergies renouvelables, efficacité énergétique et accès aux services énergétiques (en anglais) <https://www.giz.de/en/worldwide/20886.html>
- USAid Energy (en anglais) <https://www.usaid.gov/what-we-do/economic-growth-and-trade/infrastructure/energy>
- Banque mondiale Énergie <http://www.banquemondiale.org/fr/topic/energy/overview>
- Banque de développement des Caraïbes Énergies renouvelables et efficacité énergétique <https://www.caribank.org/our-work/sectors/energy-generation-distribution-and-efficiency>
- Banque africaine de développement Fonds des énergies durables pour l'Afrique <https://www.afdb.org/fr/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/sustainable-energy-fund-for-africa/>
- Secrétariat du Programme régional océanien de l'environnement PROE <http://www.sprep.org/Pacific-Islands-Greenhouse-Gas-Abatement-through-Renewable-Energy-Project/about-piggarep>

### 3.1.2. Avantages associés à une transition énergétique

Les chapitres 1 et 2 soulignent que l'épuisement des stocks de combustibles fossiles et l'impact de l'utilisation des combustibles sur le réchauffement climatique sont les deux facteurs qui poussent les pays, peu importe leur PIB, à fonder leur économie sur des systèmes énergétiques plus durables. Les pays des régions couvertes par les programmes de financement ACP sont pour la plupart signataires de l'Accord de partenariat ACP-Cotonou et, à ce titre, ont l'obligation de veiller à ce que l'activité agricole au niveau national soit restructurée dans la mesure où les budgets nationaux peuvent soutenir cette évolution. Des exemples de la manière dont la transition énergétique s'est effectuée dans certaines entreprises agricoles des pays ACP ont été présentés comme points de référence dans les chapitres précédents.

Compte tenu de tout ce qui précède, pour les acteurs des chaînes agroalimentaires, les processus de transition énergétique pourraient non seulement contribuer à réduire les émissions de GES et les pertes d'énergie, mais aussi profiter aux entreprises pour :

- développer leurs activités de manière beaucoup plus durable,
- améliorer leur propre santé et celle de leurs employés, et
- aider à créer des emplois au niveau local.

Et ce ne sont là que quelques exemples d'avantages potentiels. D'autres avantages liés à la productivité et à la production, tant dans les exploitations agricoles qu'en dehors, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1 :** Avantages de l'utilisation des ER tout au long de la chaîne agroalimentaire. Adapté d'IRENA, 2013.

Productivité accrue grâce à	Production accrue grâce à	Activité dans la chaîne agroalimentaire	Exemple concernant la génération de revenus
Augmentation de la production pouvant être vendue	Rendements accrus en quantité et en qualité	Pompage pour l'irrigation	Des projets d'irrigation en Tanzanie ont permis d'augmenter les revenus grâce à une productivité agricole accrue. Un projet d'irrigation a déclenché la création d'une pépinière produisant des semis qui sont vendus dans la région et au-delà à des groupes d'agriculteurs, des entreprises et des particuliers (Terrapon-Pfaff <i>et al.</i> 2014).
	Réduction des déchets grâce à un meilleur stockage	Séchage	Un séchoir solaire au Malawi permet de sécher 80 kg de grains de maïs par lot et offre une période de retour sur investissement de moins d'un an si le grain excédentaire est séché et vendu sur le marché (Banque mondiale <i>et al.</i> , 2011).
		Réfrigération	La réfrigération hors réseau peut permettre d'économiser environ 35 à 55 % de déchets alimentaires générés par le manque de réfrigération dans la chaîne d'approvisionnement (Fridgehub n.d.).
Temps réduit	Réduction du temps et du coût de l'agrotransformation	Agrotransformation	Une batteuse de riz en Afrique subsaharienne produit 6 tonnes de riz/jour contre 1 tonne/jour avec une batteuse manuelle (Banque mondiale <i>et al.</i> 2011).
Réduction des coûts	Réduction des dépenses en carburants traditionnels	Agrotransformation	Il est possible de réaliser des économies sur les dépenses annuelles en diesel en améliorant les moulins à eau utilisés pour la transformation des céréales.

### 3.1.3. Technologies des énergies renouvelables (ER) pour les chaînes agroalimentaires

Comme nous l'avons vu au chapitre 1, l'énergie renouvelable est une énergie dérivée de processus naturels (p. ex. la lumière du soleil, le vent, l'hydrologie, la géothermie, la biomasse ou les sources marémotrices) qui se renouvellent à un rythme plus rapide que leur consommation. Nous avons déjà démontré comment l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier dans les zones rurales éloignées de nombreux pays à faible PIB, peut aider les agriculteurs à accroître la productivité agricole et à gagner plus d'argent, tout en ajoutant de la valeur à leurs produits. Toutefois, l'agriculteur ou le propriétaire de l'entreprise doit pouvoir choisir la source d'énergie renouvelable appropriée ou la combinaison optimale de sources. Le type de source d'énergie privilégiée dépendra toujours des ressources disponibles sur place et de l'investissement financier requis pour ce type de transition énergétique.

Les technologies utilisées pour exploiter les ressources énergétiques renouvelables et les convertir en formes d'énergie utiles sont appelées technologies des énergies renouvelables (ER). Pour les agriculteurs, il existe plusieurs solutions technologiques en matière d'énergies renouvelables qui pourraient être intégrées dans le processus agricole et qui permettraient d'améliorer l'efficacité énergétique, de réduire l'impact environnemental et de diminuer les coûts de production.

Les technologies ER et les interventions d'efficacité énergétique peuvent se trouver à différents stades de la chaîne de valeur agroalimentaire, de la production à la commercialisation, comme le montre la figure ci-dessous.

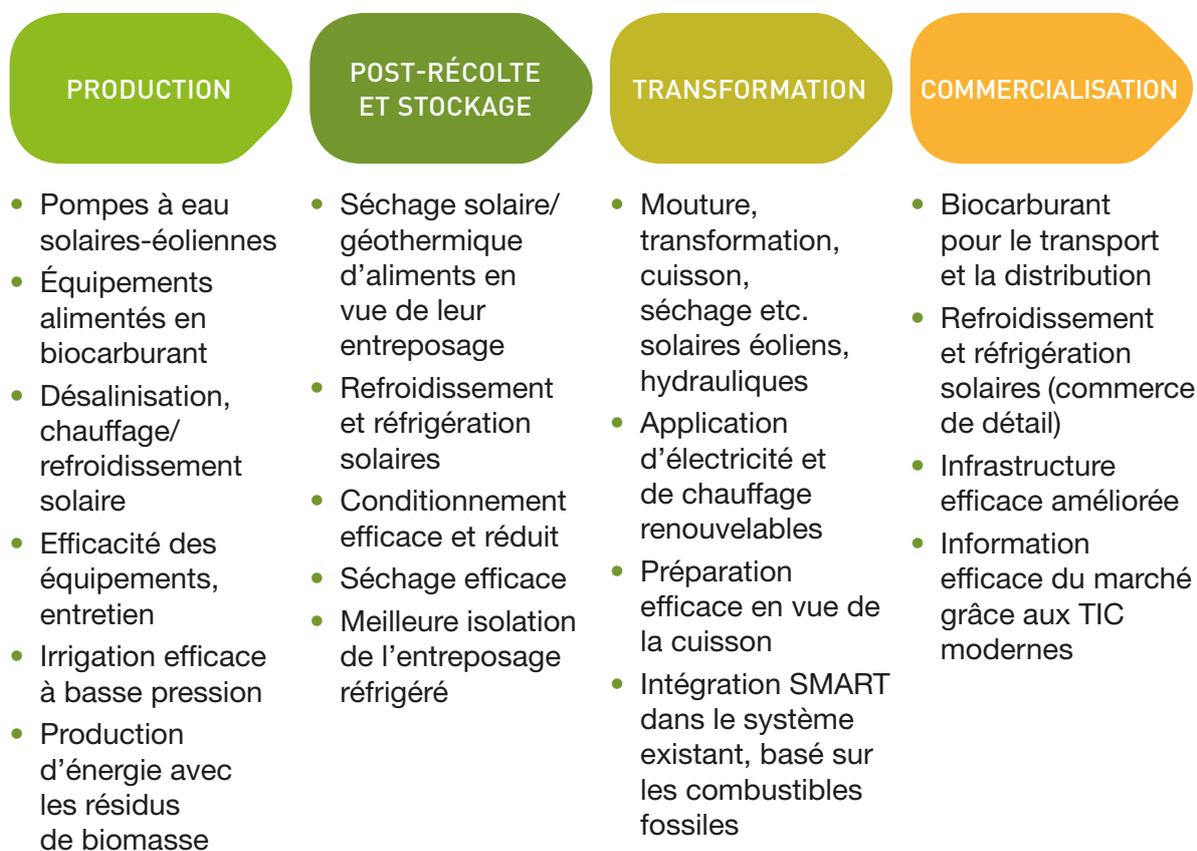


Figure 1 - Exemples d'énergie propre dans les chaînes agroalimentaires. [Source : Adapté de CLOM «Sustainable Energy for Food» de Power Agriculture, disponible à l'adresse suivante <https://poweringag.org/mooc/>]

Quelques exemples de technologies d'ER facilement disponibles et fréquemment utilisées :

- Hydroélectricité
- Énergie éolienne
- Énergie dérivée de la biomasse ou de la bioénergie
- Énergie solaire
- Énergie géothermique
- Énergie marémotrice

### 2.1.3.1. Hydroélectricité

L'hydroélectricité est la source d'énergie renouvelable la plus largement utilisée parce qu'elle présente d'importants avantages par rapport aux autres ressources d'ER. L'énergie est d'une densité plus élevée, généralement moins chère et plus fiable. La taille des centrales hydroélectriques peut varier de kilowatts (kW) à plusieurs gigawatts (GW). Les petites centrales hydroélectriques sont largement utilisées pour l'électrification rurale et peuvent être facilement intégrées aux chaînes agroalimentaires dans de nombreux types de lieux différents.

#### Principes :

En termes simples, la petite hydroélectricité (jusqu'à 1 MW) fonctionne selon un principe simple : l'eau des ruisseaux ou des rivières traverse une turbine qui entraîne une pompe, un moulin ou un outil similaire, ou un générateur qui produit à son tour de l'électricité. Une bonne connaissance pratique des ressources en eau locales est nécessaire pour l'utilisation de l'hydroélectricité afin de pouvoir choisir la conception appropriée pour le système.

#### Avantages et inconvénients

##### Avantages :

- L'hydroélectricité est une source d'énergie alimentée par l'eau, c'est donc un combustible propre. L'hydroélectricité ne pollue pas l'air comme les centrales électriques qui brûlent des combustibles fossiles, comme du charbon ou du gaz naturel.
- L'hydroélectricité repose sur le cycle de l'eau, qui est mis en branle par le soleil. C'est donc une source d'énergie renouvelable.
- L'hydroélectricité est généralement disponible en fonction des besoins, c'est-à-dire que le débit d'eau traversant les turbines pour produire de l'électricité est généralement réglable à la demande.
- D'autres avantages peuvent inclure l'approvisionnement en eau et la lutte contre les inondations.

**Inconvénients :**

- L'hydroélectricité peut avoir une incidence sur la qualité et le débit de l'eau.
- Les centrales hydroélectriques peuvent causer une faible dissolution de l'oxygène dans l'eau, un problème qui nuit aux biotopes ripicoles (rives). Selon la taille de la centrale, l'eau peut nécessiter plus d'oxygène. Le maintien d'un débit minimal d'eau en aval d'une installation hydroélectrique est également essentiel à la survie des biotopes ripicoles.
- Les centrales hydroélectriques peuvent être touchées par des périodes de sécheresse.
- Les nouvelles installations hydroélectriques ont un impact sur l'environnement local et peuvent concurrencer d'autres utilisations des terres.
- Ces autres utilisations peuvent être plus valorisées que la production d'électricité.
- Les humains, la flore et la faune peuvent perdre leur habitat naturel.  
(Plus d'informations sur <http://www.envirothonpa.org/documents/19bHydropowerAdvantagesandDisadvantages.pdf>)

**Exemple**

Généralement, les principales composantes d'un petit système hydroélectrique sont : le déversoir où l'eau est surélevée et détournée de sa source ; la retenue préliminaire où l'eau est recueillie et la conduite forcée qui transporte l'eau dans la centrale électrique. La turbine et la génératrice sont généralement situées à l'intérieur de la centrale (Figure 2).

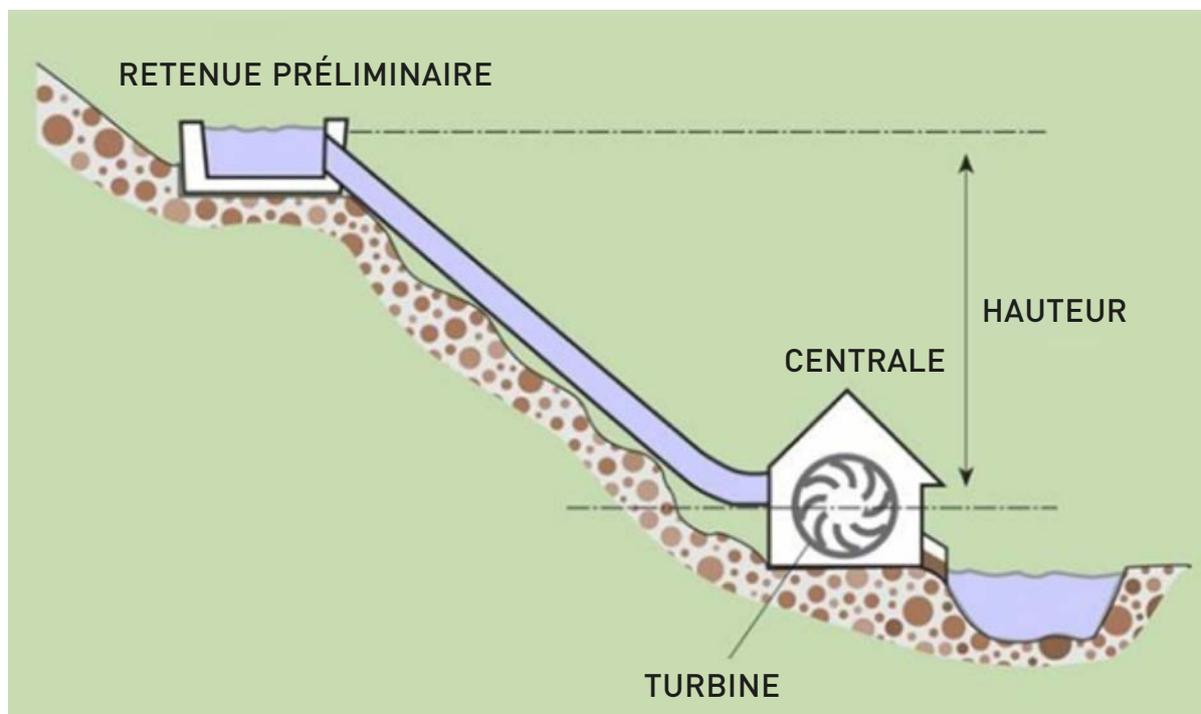


Figure 2 - Schéma de principe de la centrale hydroélectrique – source inconnue

### 3.1.3.2. Énergie éolienne

#### Principes :

Le vent, résultat de différences de température mondiales et locales, représente une autre source d'énergie renouvelable. Le principe fondamental de l'énergie éolienne est la transformation des flux du vent en mouvements rotatoires. Cela suit le même schéma que les systèmes hydroélectriques. La puissance de sortie d'un aérogénérateur est généralement estimée en multipliant la vitesse du vent disponible par la surface balayée par le rotor. Comme l'hydroélectricité, la force de rotation peut être utilisée soit directement (pompes d'irrigation, moulins, etc.), soit pour entraîner un générateur et produire de l'électricité. Les possibilités d'utilisation en agriculture sont donc nombreuses. Bien sûr, le vent ne souffle pas aussi constamment que les rivières ne coulent. Par conséquent, l'estimation du rendement énergétique annuel peut varier selon les saisons ou les périodes (Powering Agriculture : An Energy Grand Challenge for Development disponible à l'adresse <https://poweringag.org/mooc>).

#### Avantages et inconvénients

##### Avantages :

- En général, les coûts énergétiques spécifiques par kWh produit diminuent avec l'augmentation de la taille de la turbine, de sorte que les petites turbines sont relativement chères par kW de puissance installée. Les micro-éoliennes peuvent se réduire à 50 W et ne produire qu'environ 300 kWh/an. L'électricité est généralement stockée dans des batteries, ce qui permet de l'utiliser pour de petites unités de réfrigération, des clôtures électriques, l'éclairage et d'autres applications à faible consommation. Les petites éoliennes situées à des endroits où la vitesse du vent est faible (4 à 5 m/s) pourraient produire jusqu'à 1 500 kWh/an et économiser environ 0,75 t d'équivalent CO<sub>2</sub> en remplaçant un générateur diesel. Les petites turbines de 20 kW avec un rotor de 9 m de diamètre peuvent produire environ 20 MWh par an pour les exploitations agricoles et les petites entreprises agroalimentaires.
- En raison de ce qui précède, il n'y a pas d'exigences spécifiques concernant la taille du terrain pour les éoliennes.
- L'énergie éolienne est une énergie propre (pas d'émissions de gaz, pas de particules).
- Les installations d'éoliennes en mer sont plus durables car le vent est presque constant.

Les développements technologiques de ces dernières années ont permis d'améliorer l'efficacité et la fiabilité des éoliennes. Comme pour plusieurs autres formes de technologies d'énergie renouvelable, les avantages des éoliennes sont notamment les suivants :

- elles ne produisent pas de gaz à effet de serre, même si, comme tout produit manufacturé, elles ont une empreinte carbone ;
- elles peuvent apporter une contribution importante à l'approvisionnement électrique régional et à la diversification de l'approvisionnement en électricité, ainsi qu'à la fourniture d'électricité à des endroits éloignés hors réseau ;

- un court délai entre la planification et la construction par rapport aux projets au charbon, au gaz et au nucléaire, bien que l'obtention d'une autorisation pour la construction d'un grand parc comportant de nombreuses éoliennes puisse prendre du temps selon les perceptions des impacts possibles sur les communautés locales ;
- flexibilité en cas de demande croissante d'énergie puisqu'il est possible d'installer facilement plus d'éoliennes dans un parc existant ;
- et utilisation des ressources locales en termes de main-d'œuvre, de capitaux et de matériaux pour les tours, les routes et les fondations, même si la totalité ou une partie des éoliennes sont importées.

#### **Inconvénients :**

- Le vent étant une source intermittente, la production d'énergie est variable.
- L'installation d'une éolienne nécessite différents critères (vents fréquents, surface suffisante, pas d'obstacles au vent, accès facile, proximité du réseau électrique, pas de contraintes environnementales telles que monuments historiques, éloignement des habitations, autorisations réglementaires).
- Si le sol n'offre pas de support fiable, un minimum de 10 Has. est requis pour installer une éolienne, ce qui n'est pas rien. Les règlements diffèrent en ce qui concerne les exigences relatives aux espaces entre les turbines.
- La pollution visuelle et sonore, ainsi que la perturbation des ondes électromagnétiques (télévision, radio, portable) sont des obstacles à l'installation d'éoliennes à proximité immédiate des zones résidentielles.
- Le coût de production est toujours supérieur au prix total de l'éolienne.
- Bien que cette énergie soit propre, les coûts associés à la production d'énergie peuvent être élevés.
- Bien que les éoliennes offshore soient un atout important, l'installation d'éoliennes devrait être relativement proche de la côte (environ 10 km) en raison de la perte d'énergie dans les conduits électriques.

#### **Exemple : pompe éolienne pour l'irrigation**

Les pompes éoliennes ou moulins à vent sont utilisés depuis le 9<sup>e</sup> siècle pour irriguer les champs ou drainer les terres. Aujourd'hui, cette technologie est surtout utilisée pour des solutions de pompage dans des zones sans connexion au réseau mais avec des conditions de vent stables. La conception de l'installation d'une pompe éolienne dépend toujours de l'application. Tout d'abord, il convient de faire la distinction entre les pompes éoliennes mécaniques et électriques.

1. Pompes éoliennes mécaniques: l'énergie du vent est directement utilisée pour pomper l'eau (Figure 3). Elles sont généralement plus efficaces que les pompes éoliennes électriques.
2. Pompes éoliennes électriques: l'énergie éolienne est utilisée pour produire de l'électricité. Cette électricité alimente une pompe électrique qui pompe l'eau. Leur avantage est que les pompes peuvent être placées à distance de l'éolienne.



Figure 3 - Pompe à eau mécanique entraînée par le vent - projet de construction mécanique de pompes à eau éoliennes VAWT, 2013-2014

Les pompes centrifuges fonctionnent généralement mieux avec des éoliennes tournant plus rapidement, tandis que les pompes à piston et à membrane fonctionnent mieux avec des éoliennes tournant lentement. Dans les zones hors réseau où il y a suffisamment de vent ( $> 5$  m/s) et d'eaux souterraines, les pompes éoliennes offrent souvent une méthode rentable pour l'approvisionnement en eau domestique et communautaire, l'irrigation à petite échelle et l'utilisation de l'eau pour le bétail. (GTZ, 2007).

Plus récemment, les éoliennes produisant de l'électricité de 0,3 kW à 6 MW sont devenues fiables et rentables. De nombreuses propriétés rurales disposent de ressources éoliennes considérables, qui sont encore inexploitées. La quantité d'électricité produite sur un site est liée aux ressources éoliennes, et l'électricité produite par une turbine est déterminée par le cube de la vitesse du vent. Ainsi, si une éolienne est située sur un site où la vitesse annuelle moyenne du vent est de 10 m/seconde (36 km/h – facteur de capacité d'environ 45 à 50 %), elle produira environ trois fois plus d'électricité en un an que si elle était située sur un site où la vitesse moyenne est de 7 m/seconde (28 km/h – facteur de capacité d'environ 20 à 25 %). En règle générale, les éoliennes peuvent être compétitives lorsque la vitesse moyenne du vent est de 5 m/s ou plus (18 km/h). Habituellement, les sites sont présélectionnés sur la base d'un atlas éolien, puis validés par des mesures de vent sur site avant le développement d'un parc éolien. Pour l'intégration au réseau, la variabilité du vent peut être surmontée en ayant des réseaux flexibles lorsque les niveaux de pénétration sont faibles à modérés (Sims *et al.*, 2011).

Le pompage de l'eau pour l'irrigation consomme beaucoup d'énergie, généralement sous la forme d'électricité ou de diesel pour les moteurs à combustion interne, pour alimenter les pompes. Les pompes solaires et éoliennes connaissent un succès grandissant et devraient être encouragées là où il existe de bonnes sources

d'énergie solaire et éolienne. Mais d'abord, c'est important pour mieux gérer le système d'irrigation.

La demande en énergie pour l'irrigation peut être réduite :

- en utilisant l'alimentation par gravité dans la mesure du possible ;
- en utilisant des moteurs électriques de conception efficace ;
- en dimensionnant les systèmes de pompage en fonction des besoins réels en eau de la culture ;
- en choisissant des pompes à eau efficaces et bien adaptées à la tâche à accomplir ;
- en entretenant régulièrement la pompe ;
- en utilisant des systèmes d'arrosage par aspersion à faible hauteur de chute ou des systèmes d'irrigation goutte à goutte dans les cultures en ligne ;
- en surveillant l'humidité du sol pour guider les taux d'épandage dans l'eau ;
- en choisissant des variétés de cultures appropriées et résistantes à la sécheresse ;
- en s'appuyant sur les prévisions météorologiques lors de l'arrosage par rotation dans différents champs ;
- en variant les taux d'irrigation d'un champ en fonction des conditions du sol et de l'humidité à l'aide de systèmes de régulation automatique basés sur le système de positionnement global (GPS) ;
- en conservant l'humidité du sol par l'application de paillis, de brise-vent, etc. ;
- en maintenant tous les équipements, les sources d'eau, les grilles de prise d'eau, etc. en bon état de fonctionnement ;
- en éliminant les inefficacités du système (Sims *et al.* 2015).

Les décisions concernant le choix de l'éolienne doivent être prises à l'avance, en tenant compte de la technologie de pompage et de la profondeur d'extraction. Pour choisir une pompe éolienne appropriée, les informations suivantes sont nécessaires ; vitesse moyenne du vent, hauteur manométrique totale, besoin quotidien en eau, tirant d'eau, qualité de l'eau et besoins de stockage.

En résumé, il convient de noter que l'utilisation de l'énergie éolienne dans les agro-entreprises est encore quelque peu limitée. Comme les éoliennes ne produisent pas toujours une énergie constante, il y aura des moments où elles ne produiront pas du tout d'électricité. En conséquence, dans la majorité des exploitations agricoles, seule l'énergie mécanique des éoliennes est utilisée pour le pompage de l'eau et/ou l'irrigation.

### 3.1.3.3. Bioénergie

#### Principes

La bioénergie a un lien direct avec l'agriculture, car les activités et les processus agricoles ont besoin d'énergie, et les technologies de production d'énergie pourraient utiliser les déchets agricoles comme ressources. Les ressources bioénergétiques sont généralement toutes les ressources énergétiques d'origine biologique sous forme solide, liquide ou gazeuse.

La **bioénergie est classée selon qu'elle est traditionnelle ou moderne**, en fonction de son histoire d'utilisation et de sa complexité technologique :

- La **bioénergie traditionnelle** peut inclure des utilisations de basse technologie telles que la combustion directe de bois de chauffage, de charbon de bois ou de fumier animal pour la production de chaleur principalement et de lumière accessoirement. Dans les pays en développement, des millions de personnes dépendent des biocombustibles traditionnels pour leurs besoins les plus élémentaires en matière de cuisson et de chauffage (par exemple, les combustibles ligneux dans les fourneaux traditionnels ou le charbon de bois). La dépendance à l'égard de la bioénergie traditionnelle est associée à de faibles niveaux de revenu et, dans certains pays, la part de la biomasse dans la consommation d'énergie peut atteindre 90 %.
- La **bioénergie moderne** est généralement composée de chaleur et d'électricité produites à partir de biomasse solide, liquide ou gazéifiée et de biocarburants liquides pour le transport. Les biocarburants liquides destinés au transport peuvent être classés en biocarburants de première génération, produits à partir de cultures agricoles contenant de l'amidon, de sucre ou de l'huile, et en biocarburants de nouvelle génération.
- La bioénergie de **nouvelle génération (également appelée deuxième, troisième ou quatrième génération)** est dérivée d'une variété de matières issues de la biomasse, par exemple les cultures énergétiques spéciales, les résidus agricoles et forestiers et autres matières cellulosiques. L'une de ces bioénergies de nouvelle génération réside dans les biocarburants comme le bioéthanol et le biodiesel, qui sont actuellement produits à partir de combustibles de première génération ou de la biomasse traditionnelle comme le maïs, les autres céréales, la canne à sucre, le soja, le manioc, le colza et le palmier à huile.

Les principales sources de bioénergies sont présentées dans la figure ci-dessous.



Figure 4 - Principales sources de biomasse

Ces bioénergies de nouvelle génération ne produisent pas seulement des biocarburants, mais aussi de l'électricité et de la chaleur grâce à des systèmes de digestion. L'utilisation de digesteurs de biomasse à petite échelle et d'applications industrielles à plus grande échelle s'est développée au cours des dernières décennies. La production d'électricité à partir de la biomasse est la plus importante source non hydraulique d'énergie renouvelable. Celle-ci provient principalement du bois, des résidus et des déchets.

Les principales technologies de conversion de la biomasse sont d'ordre thermo-chimique et biologique.

1. Les **technologies thermo-chimiques** comprennent la combustion directe de la biomasse (seule ou en co-combustion avec des combustibles fossiles) et la gazéification (pour obtenir du gaz de synthèse).
2. Les **technologies biologiques** comprennent la digestion anaérobie de la biomasse pour produire du biogaz, un mélange principalement composé de

méthane et de dioxyde de carbone (le méthane est un gaz combustible et a un pouvoir calorifique de 34,4 MJ/m<sup>3</sup>). Les digesteurs de biomasse à l'échelle domestique qui fonctionnent avec des déchets organiques locaux comme le fumier animal peuvent produire de l'énergie pour la cuisson, le chauffage et l'éclairage dans les zones rurales. Néanmoins, ce type de bioénergie peut présenter des défis techniques en matière d'entretien et de ressources, notamment concernant les besoins en eau des digesteurs (IAASTD EU, 2011).

### Avantages et inconvénients

#### *Avantages :*

- Comme les matières premières de la biomasse sont largement disponibles, la bioénergie offre un complément intéressant aux combustibles fossiles et peut donc atténuer les préoccupations de nature géopolitique et de sécurité énergétique. Actuellement, environ 2,3 % de l'énergie primaire mondiale est fournie par des sources modernes de bioénergie telles que l'éthanol, le biodiesel, l'électricité et la chaleur industrielle.
- Les technologies bioénergétiques sont particulièrement utiles lorsque les déchets issus de la production ou de la transformation agricole peuvent être utilisés pour produire de l'électricité.
- Les concepts d'économie circulaire tels que le recyclage permanent font souvent appel à la bioénergie comme technologie de base.

#### *Inconvénients :*

- Seule une petite partie de la biomasse disponible dans le monde peut être exploitée de manière durable sur les plans économique, environnemental et social.
- Les boues organiques et les effluents sont souvent retournés dans les champs pour aider à pailler et fertiliser le sol. L'économie de la bioénergie, et en particulier les externalités sociales et environnementales positives ou négatives, peut varier fortement selon la source de biomasse, le type de conversion, la technologie et les circonstances et les institutions locales.
- De nombreuses questions restent sans réponse en ce qui concerne le développement et l'utilisation de la bioénergie.
- De ce fait, des recherches sur les bioénergies sont en cours. Les connaissances, la science et la technologie agricoles (AKST) peuvent jouer un rôle crucial dans l'amélioration des avantages et la réduction des risques et des coûts potentiels, mais davantage d'efforts sont nécessaires dans les domaines des politiques, du renforcement des capacités et des investissements pour faciliter une économie durable sur le plan social, économique et environnemental en matière d'alimentation humaine et animale, de fibres et de carburants. (IAASTD-EU, 2011). Des informations détaillées sont disponibles à l'adresse : [http://www.etipbioenergy.eu/images/WWF\\_Sustainable\\_Bioenergy\\_final\\_version.pdf](http://www.etipbioenergy.eu/images/WWF_Sustainable_Bioenergy_final_version.pdf).

## Exemple

Le biogaz (ou des biocombustibles solides) peut alimenter les pompes à eau, bien qu'il soit plus couramment utilisé pour des applications de chauffage comme la cuisine. Le biogaz est idéal pour les fermes d'élevage, car il peut servir de solution de gestion du fumier animal – celui-ci peut en effet être utilisé comme matière première pour le digesteur. Des moteurs bicarburants (tant pour le biogaz que pour le biodiesel) sont également utilisés pour la production d'électricité, en vue d'assurer un fonctionnement continu lorsque la production de déchets est insuffisante (Figure 5).

Production de biogaz

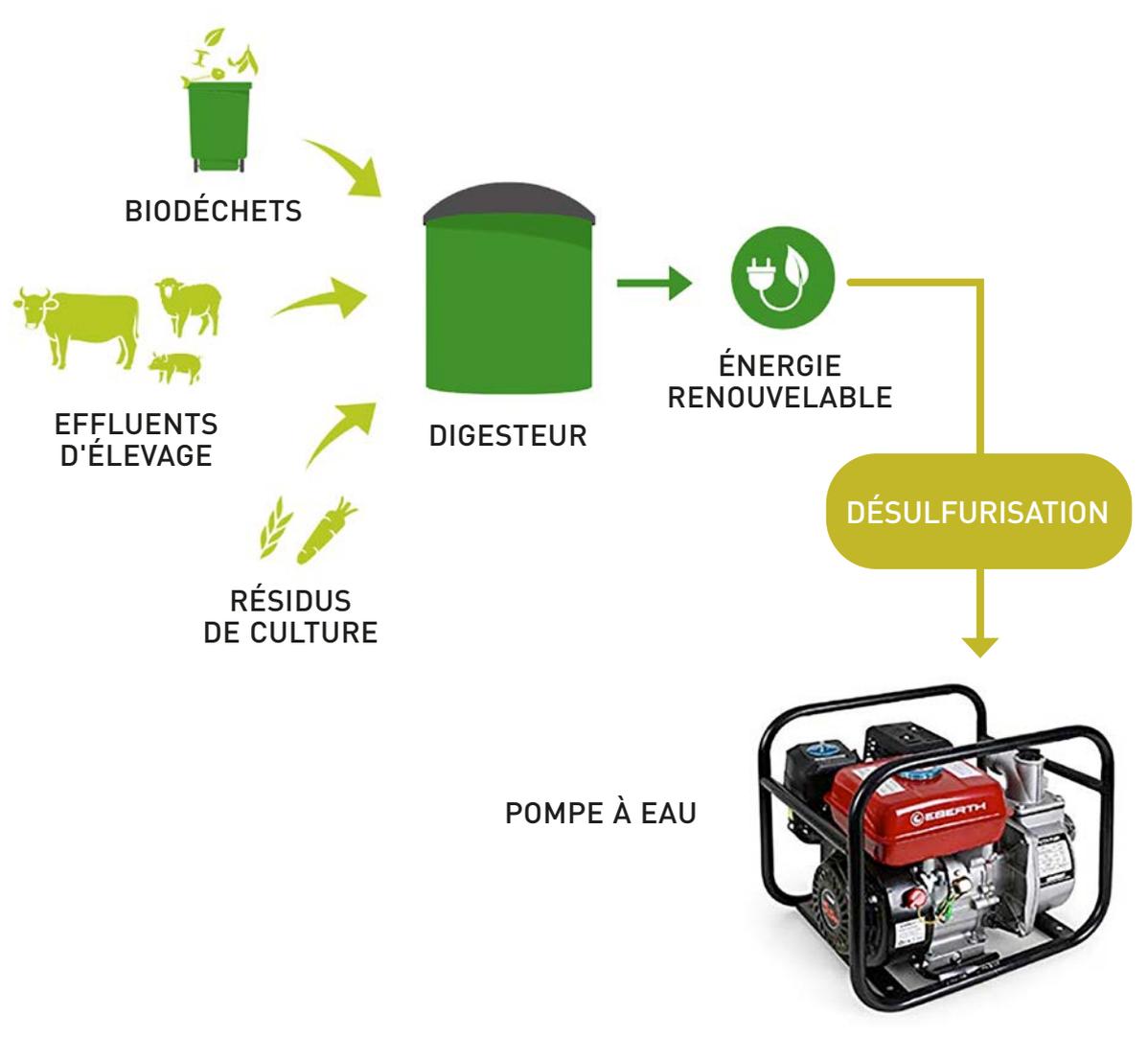


Figure 5 - Pompe à eau à biogaz

Source <https://www.jovoto.com/projects/greenpeacechallenge/ideas/30966>

### 3.1.3.4. *Énergie solaire*

#### Principes

L'énergie solaire qui touche la terre chaque jour est supérieure à ce que la population actuelle peut utiliser en un an. L'énergie solaire est une forme naturelle d'énergie produite à partir de la chaleur et de la lumière puissantes dérivées du soleil. Cette énergie obtenue sous la forme de rayonnements électromagnétiques est transformée en énergie utilisable pour alimenter les appareils électroménagers, les batteries de voiture et pour éclairer la maison. C'est une source d'énergie bon marché puisqu'elle est obtenue à partir d'une source naturelle. L'énergie solaire est très pratique à utiliser pendant la saison estivale, quand les rayons du soleil sont très forts. Beaucoup d'énergie solaire peut ainsi être produite. De plus, c'est une source d'énergie propre puisqu'elle est créée directement à partir du soleil. **L'énergie solaire peut avoir deux applications** : solaire thermique et photovoltaïque.

- **Solaire thermique**

Les technologies solaires thermiques sont composées de capteurs plans destinés aux applications basse température. Les chauffe-eau et les réchauffeurs d'air solaires pour le chauffage ou le séchage des locaux en sont des exemples. Les capteurs à concentration sont utilisés pour des applications haute température (par ex. pour la production d'énergie). Dans ce cas, le rayonnement solaire incident sur une plus grande surface est concentré sur un récepteur d'une superficie plus petite au moyen de miroirs réfléchissants. Ces centrales à concentration sont plus complexes que les simples capteurs plans (voir les exemples fournis au chapitre 1, Séchoir solaire à Grenade, et au chapitre 2, Capteur plan simple). La cuisine solaire est également pratiquée dans de nombreux pays, bien qu'à une échelle encore pilote. La pratique agricole la plus courante de l'utilisation de l'énergie solaire thermique est le séchage solaire.

Différents processus thermiques dans les agro-industries pourraient bénéficier de l'énergie solaire thermique, y compris le refroidissement solaire. Comme indiqué au chapitre 1, «Systèmes d'alimentation énergiquement intelligents» (réfrigération solaire en Angola), des informations supplémentaires concernant les capteurs solaires qui peuvent être utilisés pour le chauffage ou le refroidissement ont été fournies au chapitre 2.

- **Photovoltaïque**

Le photovoltaïque est l'une des technologies d'énergie renouvelable les plus populaires. L'électricité ainsi produite peut être utilisée de diverses façons. Jusqu'à présent, elle n'est appliquée à grande échelle que dans les pays développés, principalement pour la production et la fourniture d'électricité au réseau. Dans les pays en développement, le photovoltaïque est utilisé dans des applications hors réseau, principalement pour l'électrification rurale. Les systèmes hors réseau fonctionnent de façon autonome, à l'aide de systèmes de stockage sur batterie. L'utilisation du PV pourrait être étendue au-delà de l'éclairage, à différentes activités agro-industrielles dans de nombreux pays, et par exemple l'alimentation de petites charges utilisées dans les agro-entreprises, comme le pompage d'eau ou le refroidissement des produits.

Le photovoltaïque est une technologie qui utilise des cellules solaires pour produire de l'énergie. Celles-ci sont faites de matériaux semi-conducteurs qui convertissent la lumière du soleil directement en électricité. Lorsque la lumière du soleil est absorbée par ces matériaux, les électrons s'écoulent à travers les conducteurs générant un courant électrique continu (CC).

Il existe deux grandes catégories de cellules solaires (également appelées cellules photovoltaïques), les cellules cristallines (mono et poly) et les couches minces. Les caractéristiques de ces catégories sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Caractéristiques des cellules solaires

Type de cellule solaire		Taux d'efficacité	Avantages	Inconvénients
Cristallin	Monocristallin	Env. 20 %	Rendement élevé : optimisé pour une utilisation commerciale ; grande valeur de durée de vie	Prix élevé
	Polycristallin	Env. 15 %	Prix plus bas	Sensible aux températures élevées, durée de vie plus courte et rendement spatial légèrement inférieur
Couche mince		env. 7 à 10 %	Coûts relativement bas : facile à produire et flexible	Garanties et durée de vie plus courtes

Adapté de <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>

Les composants clés d'une installation photovoltaïque sont :

- les cellules solaires interconnectées pour former un module photovoltaïque (le produit commercial),
- la structure de montage des modules ou du tableau (plusieurs modules montés et interconnectés entre eux pour produire la tension et le courant souhaités – capacité de puissance),
- l'onduleur (essentiel pour les systèmes raccordés au réseau et requis pour de nombreux systèmes hors réseau),
- la batterie d'accumulateurs et
- le régulateur de charge (pour les systèmes hors réseau uniquement).

Le rendement des modules PV dépend de la quantité de rayonnement solaire reçue à la surface du module, qui varie selon l'emplacement et la saison. Pour cette raison, les systèmes doivent normalement être conçus avec soin pour des sites spécifiques. En outre, des informations détaillées sont disponibles sur Powering Agriculture Sustainable Energy for Food <https://poweringag.org/docs/mooc-reader>.

La Figure 6 ci-dessous donne une indication des régions du monde où l'énergie solaire pourrait être intégrée dans les systèmes énergétiques, compte tenu de l'intensité de l'énergie solaire en heures/jour à chaque endroit.

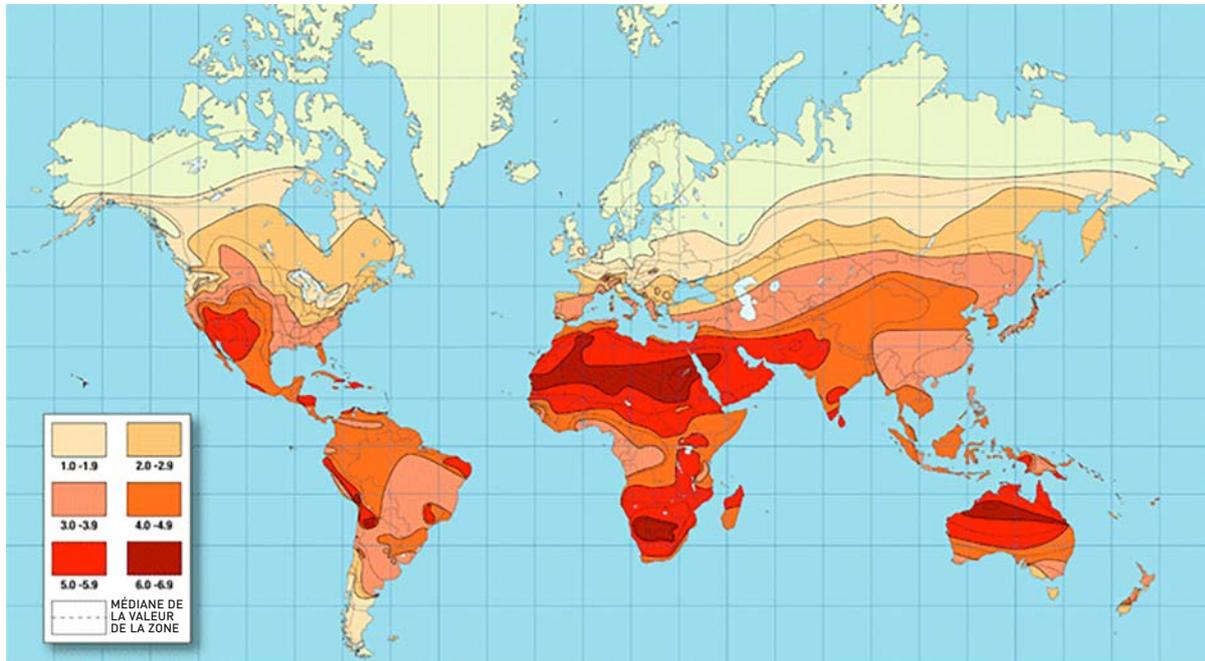


Figure 6 - Carte d'irradiation solaire

Cette carte montre le nombre d'heures d'énergie solaire reçues chaque jour sur une surface inclinée de façon optimale pendant le mois le plus défavorable de l'année. Source AltE Store disponible sur <https://www.altestore.com/howto/solar-insolation-map-world-a43/>  
Vidéos, webinaires, articles et outils pour l'énergie solaire et éolienne <https://www.altestore.com/learn/>

## Avantages et inconvénients

### Avantages :

- L'énergie solaire n'est pas polluante et n'augmente donc pas les gaz à effet de serre après installation.
- Réduit la dépendance à l'égard des importations de pétrole et de combustibles fossiles.
- Fournit une énergie propre et renouvelable disponible en tout temps.
- Le retour sur investissement (ROI) est généralement positif.
- Une fois installés, les panneaux solaires nécessitent très peu d'entretien.
- L'énergie excédentaire peut être stockée dans des piles ou vendue.
- Peut être utilisé hors réseau parce que les panneaux solaires peuvent être installés pratiquement n'importe où.

### Inconvénients :

- Coûts initiaux élevés pour le matériel et l'installation et long retour sur investissement.
- Nécessite beaucoup d'espace car l'efficacité n'est pas encore de 100 %.

- Pas d'énergie solaire la nuit, donc besoin d'un grand banc de batteries.
- Les appareils qui fonctionnent directement sur le courant continu sont plus chers.
- Selon l'emplacement géographique, la taille des panneaux solaires varie pour la même production d'électricité.
- Les journées nuageuses ne produisent pas beaucoup d'énergie.
- Baisse de la production pendant les mois d'hiver (plus d'informations sur <https://www.sepco-solarlighting.com/blog/bid/115086/Solar-Power-Advantages-and-Disadvantages>).

### Exemple : pompage de l'eau grâce à la technologie solaire

Les sécheresses et l'irrégularité des précipitations ont augmenté dans le monde entier, contribuant à la perte d'au moins 12 millions d'hectares de terres arables chaque année (UNCCD, 2011). L'irrigation fait partie des mesures qui peuvent réduire la vulnérabilité à des régimes pluviométriques irréguliers, améliorer considérablement les rendements et potentiellement doubler, voire tripler, la quantité de cultures par an (FAO, 2011).

Le pompage de l'eau pour l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail nécessite de l'énergie. Dans les régions qui n'ont pas accès à l'électricité, on utilise des systèmes de pompage d'eau alimentés par des moteurs diesel ou essence, mais ceux-ci sont coûteux en raison des besoins de transport et d'entretien du carburant. C'est pourquoi des pompes à eau abordables basées sur les énergies renouvelables, comme les pompes solaires (Figure 7), sont de plus en plus populaires dans les régions éloignées.

L'adoption des pompes solaires a été principalement motivée par la baisse drastique du coût de l'énergie photovoltaïque, d'environ 80 %, entre 2012 et 2015 (IRENA, 2016a). Les coûts du système peuvent varier considérablement selon l'ampleur et l'emplacement du projet et selon que le service après-vente est inclus ou non. L'amélioration technologique continue des systèmes de pompage, qui permet au marché de proposer des solutions de pompage adaptées aux exigences et aux conditions spécifiques, y compris l'intégration de pompes photovoltaïques dans des systèmes hybrides, est un autre facteur à l'origine de l'adoption généralisée des pompes PV.

Au niveau de l'exploitation agricole, les avantages économiques se traduisent par des revenus supplémentaires provenant de l'augmentation des rendements, de la possibilité de récolter plusieurs fois par an et de la production de cultures de grande valeur. Dans les cas où les pompes diesel sont remplacées par des pompes solaires, la réduction des dépenses en carburant comme le diesel constitue un autre avantage. De plus, les pompes solaires ont une empreinte environnementale plus faible que les options traditionnelles telles que l'électricité du réseau et les pompes diesel.



Figure 7 - Pompe à eau simple à énergie solaire – pas de source

Quelle que soit la technologie utilisée, le pompage de l'eau basé sur les énergies renouvelables peut permettre une irrigation propre susceptible d'augmenter les revenus des agriculteurs. Toutefois, une attention particulière doit être accordée au risque d'un prélèvement d'eau excessif. La baisse rapide des coûts de la technologie, la baisse des coûts d'exploitation des pompes basées sur les énergies renouvelables par rapport à d'autres sources d'énergie (diesel ou réseau) et le nombre croissant de pays qui annoncent des plans de pompage à grande échelle reposant sur les énergies renouvelables, pris ensemble, augmentent le risque de surcapacités de pompage. Le tableau ci-dessous détaille les avantages et les inconvénients des différentes technologies de pompage basées sur les énergies renouvelables.

**Tableau 3 :** Avantages et inconvénients des différentes technologies de pompage basées sur les énergies renouvelables.

	Avantages	Inconvénients
<b>Pompes manuelles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faciles à entretenir</li> <li>• Peuvent être fabriquées localement</li> <li>• Faible coût d'investissement</li> <li>• Pas de frais de carburant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de productivité humaine</li> <li>• Exploitation souvent inefficace des forages</li> <li>• Faibles débits</li> </ul>
<b>Pompes éoliennes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionnement sans surveillance</li> <li>• Faciles à entretenir</li> <li>• Longue durée de vie</li> <li>• Fabrication locale possible</li> <li>• Pas de frais de carburant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage de l'eau nécessaire pour les périodes de faible vitesse du vent</li> <li>• Besoins élevés en matière de conception de systèmes et de planification de projet</li> <li>• Pas faciles à installer</li> </ul>
<b>Pompes PV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faciles à entretenir</li> <li>• Faciles à installer</li> <li>• Fonctionnement sans surveillance</li> <li>• Longue durée de vie</li> <li>• Pas de frais de carburant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts d'investissement élevés</li> <li>• Stockage de l'eau nécessaire pour les jours nuageux et après le coucher du soleil</li> <li>• Les réparations nécessitent souvent l'intervention de techniciens qualifiés</li> </ul>
<b>Pompes à biogaz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation de fumier au profit de la gestion des déchets</li> <li>• Fabrication locale possible</li> <li>• Pas de frais de carburant</li> <li>• Peuvent être jumelées au diesel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Petites quantités d'excréments nécessaires</li> <li>• L'opération doit être surveillée</li> </ul>
<b>Pompes essence et diesel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapides et faciles à installer</li> <li>• Faibles coûts d'investissement</li> <li>• Largement utilisées</li> <li>• Peuvent être portables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'approvisionnement en carburant est irrégulier et coûteux</li> <li>• Coûts d'entretien élevés</li> <li>• Courte durée de vie</li> <li>• Pollution par le bruit et les fumées</li> </ul>

Source : Adapté d'IRENA (2016).

### 3.1.3.5. Énergie géothermique

#### Principes

L'énergie géothermique est définie comme la chaleur de la terre qui peut être utilisée pour le chauffage ou pour la production d'électricité. Géothermie signifie littéralement «chaleur de la terre», dont il se trouve des quantités extrêmes au cœur de la terre. La température du noyau terrestre est estimée à environ 5000 °C et celle du noyau extérieur à environ 4000 °C (Figure 8). Le flux constant d'énergie thermique provenant de l'intérieur de la Terre, qui équivaut à environ 42 millions de mégawatts (MW) d'électricité, devrait se poursuivre pendant des milliards d'années (Íslandsbanki, 2011).

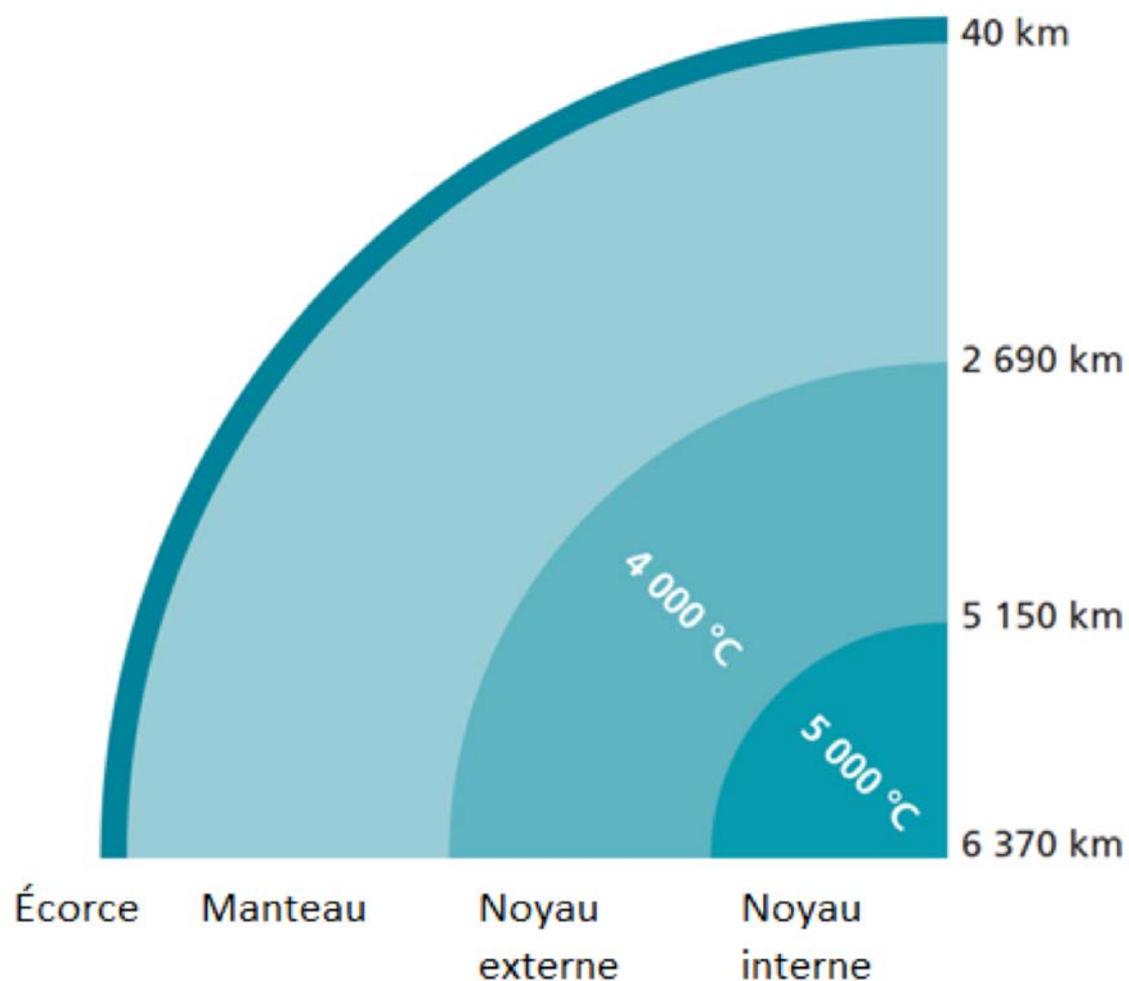


Figure 8 - Températures de l'écorce terrestre, du manteau, du noyau externe et du noyau interne.  
[Source : P.G. Pálsson, 2013].

Une partie des ressources de l'énergie géothermique est constituée de roches chaudes que l'on trouve à quelques kilomètres sous la surface de la Terre, et plus profondément encore, jusqu'aux températures extrêmement élevées de la roche en fusion appelée magma. Cependant, le magma ne remonte pas toujours à la surface de la terre. S'il reste emprisonné dans les couches de la terre, il peut chauffer l'eau souterraine. Cette eau chaude est une autre source d'énergie géothermique.

Si l'eau chauffée dans les sols n'atteint pas la surface de la Terre, elle conserve la forme de concentrations souterraines d'eau chaude et de vapeur, appelées **réservoirs géothermiques** (Figure 9). En puisant dans les réservoirs géothermiques, nous pouvons chauffer efficacement nos maisons et nos entreprises et même produire de l'électricité.

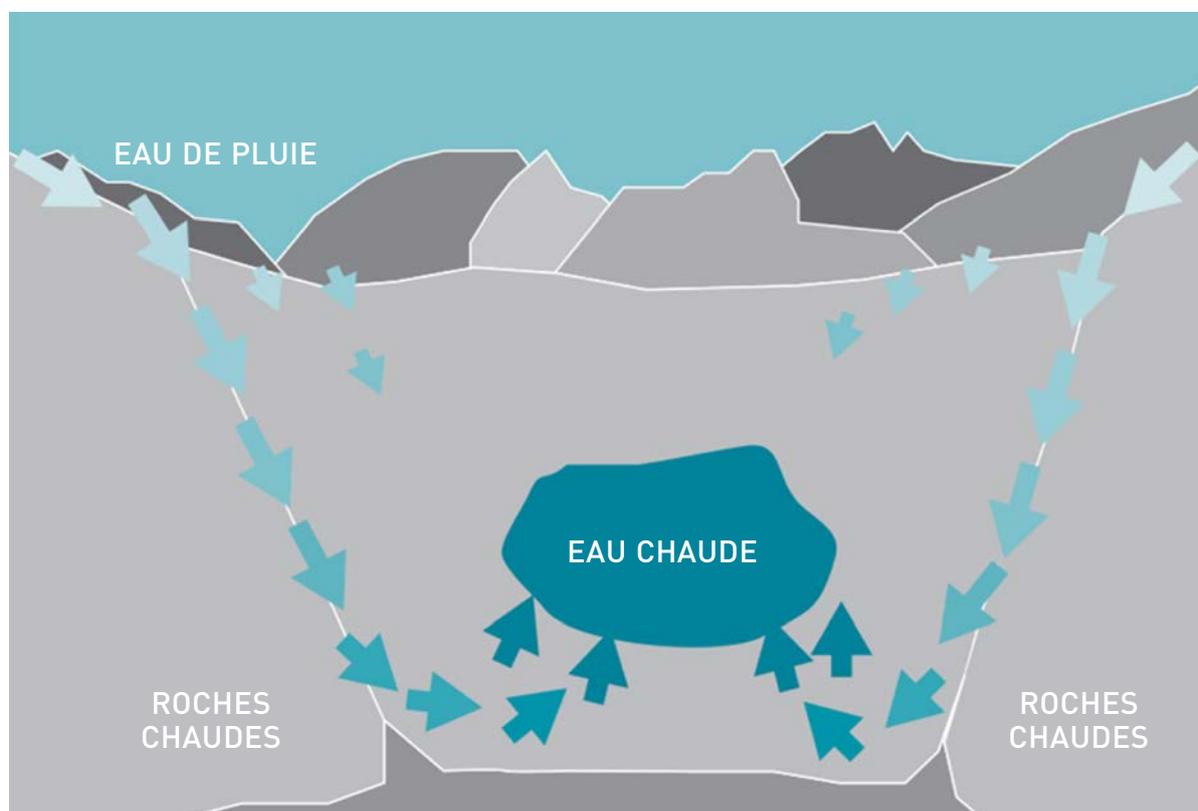


Figure 9 - Formation d'un réservoir géothermique [Source : P.G. Pálsson, 2013].

## Avantages et inconvénients

### Avantages :

- L'exploitation de la géothermie comporte quelques aspects polluants, et l'empreinte carbone d'une centrale géothermique est considérée comme minimale. Une centrale géothermique moyenne émet l'équivalent de 122 kg de CO<sub>2</sub> pour chaque mégawattheure (MWh) d'électricité qu'elle produit, soit un huitième des émissions de CO<sub>2</sub> associées aux centrales au charbon types pour la même quantité d'énergie produite.
- Les réservoirs géothermiques se reconstituent naturellement. Selon certains scientifiques, l'énergie contenue dans nos réservoirs géothermiques durera des milliards d'années. Bien que les combustibles fossiles soient frappés d'une date d'expiration, les sources renouvelables comme l'énergie géothermique ne disparaîtront pas de sitôt.
- La production d'énergie d'une centrale géothermique peut être prévue avec précision et n'est pas sujette aux mêmes fluctuations de basse énergie que le soleil ou le vent.

**Inconvénients :**

- Les gaz à effet de serre sous la surface de la Terre peuvent potentiellement migrer vers la surface et dans l'atmosphère. Ces émissions tendent à être plus élevées à proximité des centrales géothermiques, qui sont associées à des émissions de dioxyde de soufre et de silice. De plus, les réservoirs peuvent contenir des traces de métaux lourds toxiques comme le mercure, l'arsenic et le bore.
- La construction de centrales géothermiques peut affecter la stabilité du terrain. En janvier 1997, la construction d'une centrale géothermique en Suisse a provoqué un tremblement de terre d'une magnitude de 3,4 sur l'échelle de Richter.
- Bien qu'il y ait un retour sur investissement prévisible, celui-ci ne se produit pas rapidement.
- Les réservoirs géothermiques abondants sont difficiles à trouver. L'Islande et les Philippines couvrent près d'un tiers de leurs besoins en électricité grâce à la géothermie.
- Certaines études montrent que les réservoirs peuvent s'épuiser si l'eau y est pompée plus rapidement qu'elle ne se remplace.

Des informations plus détaillées sont disponibles sur Planetsave <http://planetsave.com/2016/02/11/geothermal-energy-advantages-and-disadvantages/>

**Exemples**

- **Pompes à chaleur géothermiques**

Les pompes à chaleur géothermiques sont des systèmes qui utilisent la température stable du sol pour chauffer et refroidir les bâtiments. À quelques mètres sous la surface de la terre, la température reste à environ 10 degrés Celsius toute l'année. Les pompes à chaleur géothermiques s'appuient sur cette température relativement constante pour chauffer et refroidir les bâtiments.

De l'eau et d'autres fluides circulent à travers un circuit de conduites enterrées, comme décrit à la Figure 10. En hiver, la chaleur du sol est aspirée dans le bâtiment et circule dans un système de conduits. En été, le processus est inversé. La chaleur du bâtiment est captée par les fluides circulant à l'intérieur des tuyaux et transférée au sol, ce qui contribue à refroidir le bâtiment.

Les pompes à chaleur géothermiques peuvent également être utilisées pour produire de l'électricité.

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE

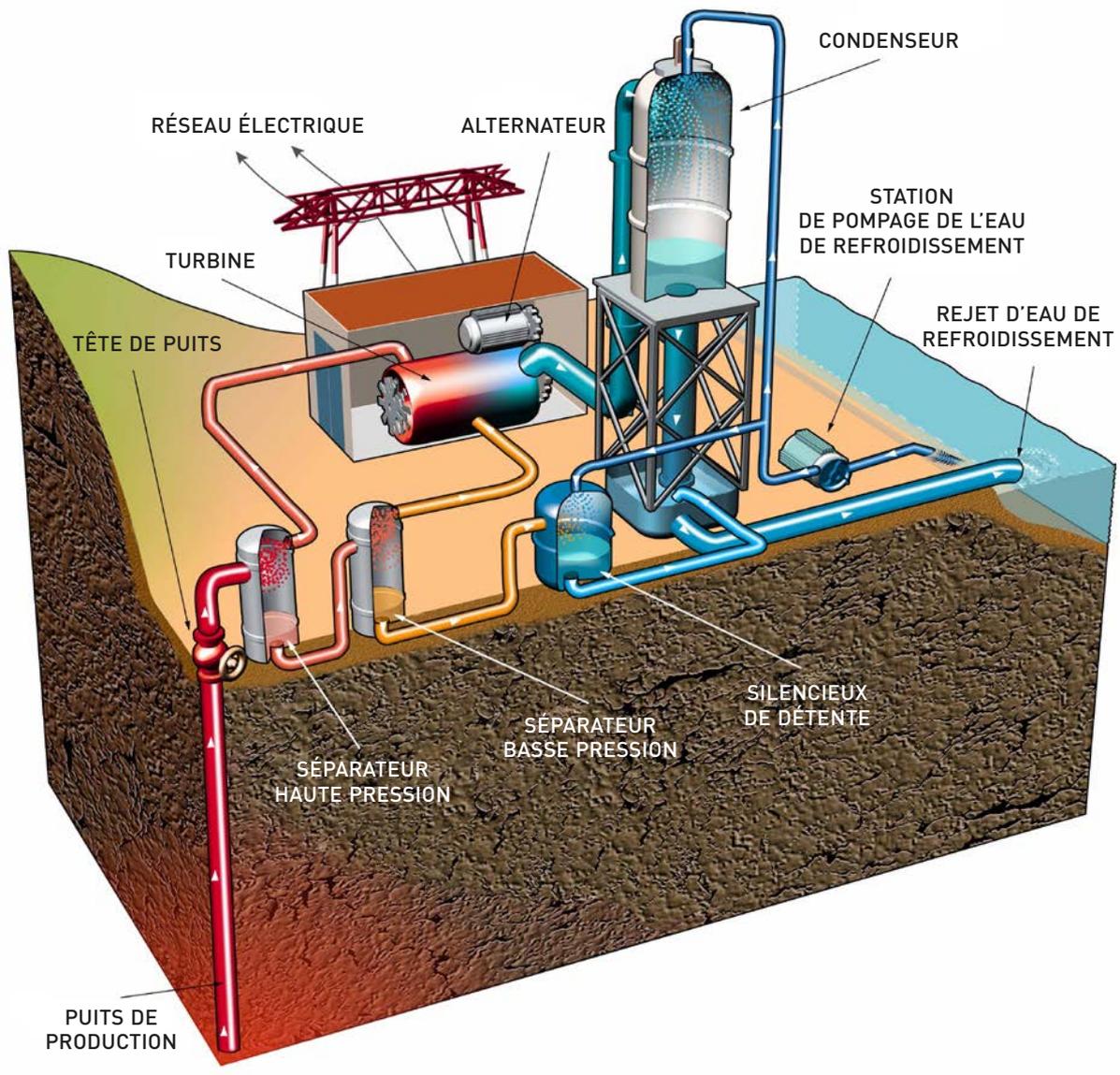


Figure 10 - Principes de base d'un système géothermique – source : ADEME

- Centrales géothermiques

Ce sont des installations qui convertissent la chaleur naturelle de la Terre en électricité. Ces centrales forent des puits dans des réservoirs géothermiques pour amener de l'eau chaude et de la vapeur des profondeurs de la Terre à sa surface. Toutes les centrales géothermiques utilisent de la vapeur pour faire tourner des turbines fixées à des groupes électrogènes. Cependant, il existe trois types différents de centrales géothermiques. Celui retenu pour une localité particulière dépendra de la température et de la pression du réservoir géothermique disponible.

1. Une **centrale à vapeur sèche** utilise directement la vapeur pour faire tourner une turbine. Ces systèmes utilisent très peu d'eau, d'où l'adjectif « sèche ». Il s'agit de la plus ancienne et de la moins complexe des trois conceptions, mais comme il s'agit d'un système ouvert, il peut libérer des substances dangereuses, comme le sulfure d'hydrogène, dans l'atmosphère.

2. Les **centrales à vapeur de vaporisation** déplacent de l'eau géothermique à haute pression dans des réservoirs à basse pression pour produire une vapeur de Vaporisation qui entraîne une turbine. Une fois la vapeur utilisée, elle est refroidie et recondensée en eau, puis réinjectée dans le réservoir.
3. Une **centrale à cycle binaire** utilise de l'eau géothermique pour chauffer un fluide secondaire qui entraîne une turbine. L'avantage d'une installation à cycle binaire est que l'eau géothermique à basse température peut être utilisée pour produire de l'électricité. Avec ce système, l'eau modérément chaude passe à travers un échangeur de chaleur, où elle chauffe un liquide secondaire qui a un point d'ébullition plus bas que l'eau. Ce fluide s'évapore alors pour entraîner la turbine.

Des informations plus détaillées sont disponibles sur [Study.com https://study.com/academy/lesson/geothermal-and-tidal-energy-advantages-and-disadvantages.html](https://study.com/academy/lesson/geothermal-and-tidal-energy-advantages-and-disadvantages.html).

### 3.1.3.6. *Énergie marémotrice*

#### Principes

L'énergie marémotrice est une source d'énergie renouvelable. Cette source d'énergie est le résultat des champs gravitationnels du soleil et de la lune, combinés à la rotation de la terre autour de son axe, ce qui produit des marées hautes et basses. La marée ou vague fait référence à l'élévation et à la baisse périodiques du niveau d'eau de la mer. Les marées sont dues à l'attraction de l'eau de mer par la lune. Lorsque l'eau est au-dessus du niveau moyen de la mer, on parle de marée montante. Lorsque le niveau d'eau est inférieur au niveau moyen, on parle de marée descendante.

Les marées contiennent une grande quantité d'énergie potentielle qui peut être utilisée pour la production d'électricité. C'est cette différence d'énergie potentielle qui est à la source de la production d'électricité à partir de l'énergie marémotrice, qu'il s'agisse de générateurs de courant, de barrages marémoteur ou, plus récemment, de la technologie de l'énergie marémotrice dynamique (DTP).

À marée haute, l'eau s'écoule de la mer dans le bassin de marée à travers la turbine hydraulique. La hauteur de la marée est supérieure à celle du bassin de marée. Par conséquent, la turbine fonctionne et produit de l'électricité, puisqu'elle est directement couplée à un générateur.

À marée basse, l'eau s'écoule du bassin de marée vers la mer, car le niveau de l'eau dans le bassin est supérieur à celui de la mer. Pendant cette période également, l'eau courante entraîne la turbine et la génératrice.

La disposition de ce système est illustrée à la Figure 11 : les marées océaniques montent et descendent, et l'eau peut être stockée pendant la période de montée et peut être évacuée pendant la descente. Un barrage séparant le bassin de marée de la mer est construit, de manière à obtenir une différence de niveau d'eau entre le bassin et la mer.

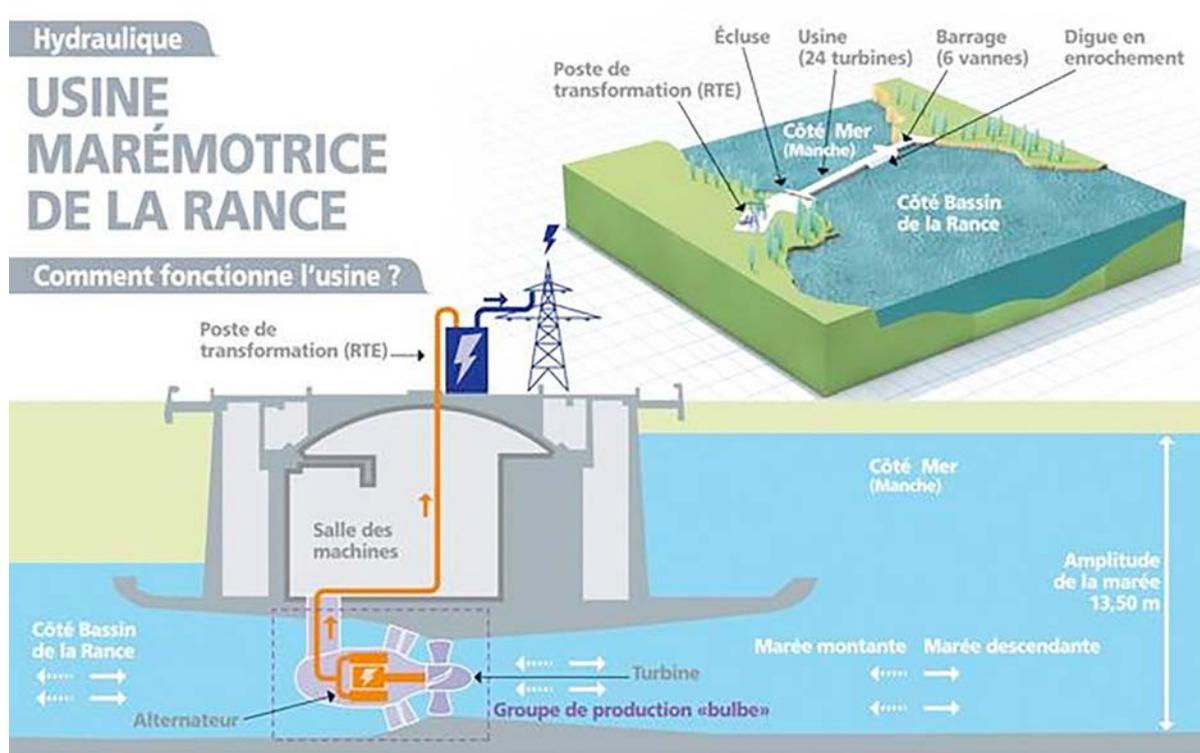


Figure 11 - Principes à la base des centrales marémotrices – Source : EDF, Usine de La Rance

La production d'énergie ne s'arrête que lorsque le niveau de la mer et le niveau du bassin de marée sont égaux. Pour produire de l'électricité de façon économique en utilisant cette source d'énergie, il faut une hauteur de marée minimale et un site approprié. La centrale de Kislaya, en Russie, d'une capacité de 250 MW, la centrale de Rance, en France et celle de Pentland Firth entre l'Écosse continentale et les Orcades, d'une capacité calculée d'environ 1,9 GW, sont quelques exemples de ce type de centrale.

## Avantages et inconvénients

### Avantages :

- Contrairement aux combustibles fossiles ou aux réserves nucléaires, les champs gravitationnels du soleil et de la lune, ainsi que la rotation de la terre autour de son axe, ne disparaîtront pas de sitôt.
- L'énergie marémotrice est une source d'énergie écologique. De plus, elle n'émet pas de gaz à effet de serre et ne prend pas beaucoup de place.
- Cependant, il existe actuellement très peu d'exemples de centrales marémotrices réelles et de leurs effets sur l'environnement. Des études et des évaluations plus poussées sont donc importantes.
- Les courants de marée sont très prévisibles. La marée haute et la marée basse se développent avec des cycles bien connus, ce qui facilite la construction de systèmes bien dimensionnés, puisque nous savons déjà à quel type de puissance l'équipement sera exposé.

- Raison pour laquelle, même si les turbines utilisées (c'est-à-dire les génératrices à courant de marée) sont très semblables aux éoliennes, la taille physique et la capacité installée affichent des limitations bien différentes.
- L'eau a une densité 1 000 fois plus élevée que l'air, ce qui permet de produire de l'électricité à basse vitesse. Les calculs montrent que de l'électricité peut être générée même à 1 m/s.

**Inconvénients :**

- Les effets des centrales marémotrices sur l'environnement ne sont pas encore complètement connus.
- Les barrages marémoteurs dépendent de la manipulation du niveau de l'océan et ont donc potentiellement des effets environnementaux semblables à ceux des barrages hydroélectriques. Des solutions technologiques qui permettront de résoudre certains de ces problèmes sont en cours d'élaboration.
- Les centrales marémotrices doivent être construites à proximité de la terre. C'est aussi un domaine où des solutions technologiques sont à l'étude.
- Il est important de comprendre que les méthodes de production d'électricité à partir de l'énergie marémotrice sont des technologies relativement nouvelles. À en croire les prévisions, l'énergie marémotrice devrait être commercialement rentable d'ici 2020 grâce à une meilleure technologie et à des échelles plus grandes. Des informations plus détaillées peuvent être trouvées sur le site Energy informative disponible à l'adresse suivante : <http://energyinformative.org/tidal-energy-pros-and-cons>.

### 3.2. OUTILS D'ÉVALUATION POUR AIDER À LA PRISE DE DÉCISIONS

Il est important que les agriculteurs choisissent la technologie la mieux adaptée aux besoins énergétiques de son exploitation et de son entreprise. Les agriculteurs peuvent choisir des systèmes d'énergie renouvelable pour des raisons très différentes, et la taille et l'emplacement de la propriété peuvent influencer sur les types de systèmes d'énergie renouvelable qu'ils peuvent choisir.

La première chose qu'un agriculteur doit prendre en compte est de savoir si un système d'énergie renouvelable fournira la production requise. Ensuite, il doit se demander comment intégrer au mieux les activités agricoles déjà existantes avec les solutions technologiques renouvelables disponibles. Par conséquent, de nombreux facteurs doivent être pris en considération :

- De quelle quantité d'énergie l'entreprise a-t-elle besoin ? Où est-elle implantée ?
- Combien l'agriculteur est-il prêt à dépenser ?
- Des subventions et des outils de financement sont-ils disponibles ? De quelle ampleur ?

Tous ces facteurs auront un rôle à jouer dans le processus décisionnel pour les différentes tailles d'entreprises de la chaîne agroalimentaire :

- Niveau de subsistance: il s'agit du plus petit système dans lequel des ménages sont engagés dans des formes élémentaires d'activités agricoles à petite échelle. Ils produisent uniquement pour leur propre consommation. Les agriculteurs de subsistance utilisent très peu d'intrants énergétiques, généralement dérivés de l'énergie humaine et animale. Ces intrants énergétiques sont difficiles à mesurer et ne sont pas inclus dans les statistiques énergétiques mondiales (FAO, 2011). Pour les agriculteurs de subsistance, les priorités sont l'accès à l'énergie et la garantie de moyens de subsistance adéquats. Le manque de ressources financières limite leur capacité à répondre à ces priorités et à investir dans des solutions énergétiques durables. Néanmoins, des réseaux coordonnés d'agriculteurs de subsistance peuvent bénéficier de systèmes d'énergie renouvelable tels que de petites centrales hydroélectriques, éoliennes et solaires.
- Petites unités familiales : celles-ci sont généralement engagées dans diverses activités, y compris la culture de petits potagers ou rizières, l'entretien de vergers, l'élevage du bétail et l'entretien de troupeaux laitiers (FAO, 2011). Dans la plupart des pays, les petits agriculteurs fournissent des aliments frais aux marchés locaux et/ou aux usines de transformation. Selon le degré de modernisation, différentes technologies d'énergie renouvelable et options d'efficacité énergétique existent pour ces petites entreprises. Par exemple, les petites exploitations agricoles peuvent utiliser la chaleur solaire pour le séchage des cultures, le biogaz produit à la ferme pour la cuisson et l'électricité produite par un système photovoltaïque (PV) (FAO, 2011).
- Petites entreprises : la différence entre les petites entreprises et les petites unités familiales réside dans le fait que les petites entreprises peuvent être gérées par la famille, mais qu'elles sont généralement des propriétés privées. Elles opèrent habituellement à une échelle légèrement plus grande et emploient plusieurs personnes. Comme ces entreprises disposent de plus de capitaux, elles ont la possibilité de réduire leur dépendance à l'égard des combustibles fossiles en investissant dans l'énergie renouvelable sur site, ce qui pourrait également procurer des avantages supplémentaires à la collectivité locale environnante.
- Entreprises de taille moyenne: celles-ci émergent typiquement de la croissance lente et régulière qui résulte du succès d'une petite entreprise. À mesure qu'une entreprise engrange plus de revenus, elle met de côté le capital nécessaire pour des bâtiments, des équipements et un renforcement de ses effectifs, ce qui finit par combler l'écart entre les petites entreprises et les grandes sociétés. Les entreprises de taille moyenne ont tendance à afficher des tendances de croissance continue.

La première étape du processus décisionnel consiste à effectuer une étude de faisabilité, aussi appelée analyse de faisabilité.

### 3.2.1. Analyse de faisabilité

Lors de la planification d'un investissement, l'exploitant ou le gestionnaire de projet doit d'abord effectuer une analyse de faisabilité. Cet outil aide à déterminer si un projet peut être mené à bien ou non, en tenant compte des facteurs juridiques, économiques, technologiques, de calendrier et autres. Il permet d'analyser les résultats positifs et négatifs possibles d'un projet avant d'y avoir investi trop de temps et d'argent.

La première étape consiste à contextualiser l'investissement dans un cadre économique, institutionnel, social et technique. Les contraintes et les défis liés à l'utilisation de l'énergie durable dans les industries agricoles et alimentaires des pays à faible PIB peuvent en effet provenir de ces domaines. Un test préliminaire de la valeur de l'investissement nécessite une **identification** claire **des possibilités et des risques financiers, économiques, institutionnels, sociaux et techniques**.

Certains de ces obstacles seraient examinés en détail dans l'analyse économique, mais il faut d'abord recenser les contraintes. En fait, déterminer les obstacles ou contraintes importants pourrait rendre un investissement dans une technologie spécifique irréalisable dans un environnement particulier, même s'il semble financièrement intéressant dans un autre.

Dans le cas d'investissements dans les technologies renouvelables, voici quelques exemples de contraintes :

- Manque d'accès au financement
- Coût élevé du capital
- Défaillances du marché
- Pannes de réseau
- Insuffisance du cadre juridique et institutionnel
- Manque de personnel qualifié
- Facteurs sociaux, culturels et comportementaux
- Contraintes géographiques et problèmes de durabilité

### 3.2.2. Analyse technique

L'adoption de la technologie ou de la pratique, que ce soit au sein de l'exploitation agricole ou au-delà, passe par différentes étapes :

- sensibilisation d'une entreprise ou d'un agriculteur qui se familiarise avec la technologie ou la pratique ;
- évaluation de la technologie en termes de coûts et d'avantages par une entreprise ou un agriculteur ;
- adoption par une entreprise/un agriculteur qui décide de l'adopter intégralement mais qui la modifie ou l'adapte à la situation locale et à ses besoins particuliers.

L'adoption de l'option technologique dépend également du risque perçu par l'agriculteur/l'entreprise, de sorte que la participation des parties prenantes peut également être pertinente. La faible connectivité entre les acteurs, les préjugés sociaux et les traditions peuvent constituer un obstacle à l'adoption de technologies énergétiques durables.

La méthodologie pour effectuer une analyse technico-économique de l'investissement est la même quelle que soit la technologie et l'étape de la chaîne de valeur. L'analyse effectuée lors de cette conférence couvre les investissements de la production à la transformation, mais ne tient pas compte de l'étape de la commercialisation.

Une entreprise agricole et alimentaire qui décide d'investir ou non dans des technologies d'énergie renouvelable et l'efficacité énergétique comparerait cette option avec la source d'énergie ou la technologie actuellement utilisée (p. ex. les combustibles fossiles). L'analyse de nombreuses installations de démonstration et de centrales commerciales d'énergie renouvelable montre que les coûts des projets sont **très spécifiques à chaque site**. Il convient de noter que, comme il a été expliqué au chapitre 1, le **LCOE** de nombreuses technologies d'énergie renouvelable devient de plus en plus compétitif par rapport aux coûts moyens actuels de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles (chaleur, transports et combustibles) qu'elles remplacent. De plus, les coûts des technologies d'énergie renouvelable diminuent à mesure que la taille de leurs marchés augmente.

Afin d'évaluer quantitativement l'attrait d'un investissement, les outils économiques/financiers, **ACA, ACCV ou ACV**, selon l'importance de l'investissement ou du projet proposé, doivent être appliqués pour fournir les indicateurs qui détermineront la viabilité à long terme de la proposition. **(Voir la section appropriée du chapitre 1).**

Les coûts totaux moyens actualisés de l'énergie produite représentent les coûts d'un système de production d'énergie sur sa durée de vie. Ils sont souvent cités comme une mesure sommaire pratique de la compétitivité globale des différentes technologies de production. Ces coûts sont calculés comme le prix unitaire auquel l'énergie doit être produite à partir d'une source spécifique au cours de sa durée de vie pour atteindre le seuil de rentabilité (recouvrer tous les coûts, y compris le financement et un rendement présumé de l'investissement). Le LCOE inclut généralement tous les coûts privés qui s'accumulent en amont dans la chaîne de valeur, mais ne comprend pas le coût de livraison au client final en aval, le coût de l'intégration ou les coûts externes environnementaux ou autres. Les subventions et les crédits d'impôt ne sont pas non plus inclus.



### Scénario «avec» et «sans» – analyse comparative

L'analyse technique, financière et/ou économique de l'investissement nécessite une comparaison avec un point de référence qui permettra de comparer les situations potentielles «avec» ou «sans» le projet.

1. La première étape consiste à déterminer et à décrire à la fois le scénario de référence (généralement, l'utilisation de technologies basées sur des combustibles fossiles et/ou inefficaces) et le scénario post-intervention énergétique (où la technologie est adoptée).  
Par exemple, un système d'irrigation peut être alimenté par une pompe diesel (scénario de référence) ou par une pompe photovoltaïque (scénario post-intervention énergétique). L'analyse financière d'un investissement dans la pompe PV nécessiterait une comparaison entre les deux scénarios.
2. La deuxième étape consiste à déterminer les résultats des investissements, y compris les coûts en capital et les coûts d'exploitation, ainsi que les avantages monétisés. Étant donné que les coûts et les avantages ne se produisent pas en même temps – les coûts précédant généralement les avantages et les dépassant pendant les premières années du projet – la comparaison nécessite des techniques d'actualisation.
3. La troisième étape consiste à déterminer les flux nets différentiels du projet (financiers et/ou économiques), qui résultent de la comparaison des coûts et des avantages du projet avec le scénario de référence. Il est possible de calculer les indicateurs de rentabilité des projets correspondants avec ces éléments.

Toutefois, si la proposition ou le projet sont suffisamment importants, les informations techniques, économiques et financières doivent être examinées dans le contexte des impacts sociaux et environnementaux.

L'évaluation *Nexus* de la FAO (FAO, 2014) est un outil qui peut être utilisé pour introduire dans l'analyse les externalités sociales et environnementales fondamentales d'une intervention technique. Cette évaluation consiste en une méthodologie facilement applicable permettant d'évaluer rapidement les interventions possibles dans un contexte spécifique par rapport à des objectifs de développement globaux, tels que la sécurité alimentaire et la durabilité de l'approvisionnement en énergie et en eau, leur utilisation et leur gestion. Une version simplifiée de cet outil, le *Nexus Rapid Appraisal Water-Energy-Food* (WEF), peut être utilisée pour une évaluation documentaire des impacts d'une intervention sur l'eau, l'énergie, l'alimentation, le travail et les coûts dans le contexte d'un pays donné. (Parler en marchant sur le Nexus: Évaluer le lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation dans le contexte de l'initiative Énergie durable pour tous (PDF) (FAO, 2014).



### 3.2.3. Modèles commerciaux

Les modèles commerciaux ne concernent pas seulement les nouvelles entreprises, mais peuvent aussi porter sur des changements au sein d'une entreprise existante, par exemple l'introduction de mesures d'efficacité énergétique dans les entreprises de la chaîne agroalimentaire. Bien qu'un modèle commercial soit un élément fondamental de l'activité financière, le terme est interprété et défini de nombreuses façons différentes. Pour faire simple, **un modèle d'affaires décrit la stratégie de base d'une organisation pour générer de l'argent et détermine ainsi comment l'entreprise produit, distribue, évalue et promeut ses produits**. Un modèle commercial peut également être défini comme «la combinaison spécifique du produit fabriqué et vendu par l'entreprise, de la technologie utilisée, de l'ampleur de la production, des liens avec le marché en amont et en aval et des arrangements financiers» (*ValueLinks Association*, 2009 disponible sur <http://valuelinks.org/>).

Toutes les nouvelles entreprises sont porteuses d'une idée qui doit être traduite dans la réalité. C'est là que commence la modélisation commerciale. En outre, les entreprises établies développent elles aussi de nouveaux modèles commerciaux. Ainsi, l'optimisation d'un processus de base affecte le modèle commercial en place. L'amélioration de l'accès à l'énergie en un exemple. Imaginez un centre de collecte laitier qui serait désormais capable de refroidir le lait en utilisant des énergies propres et, partant, d'augmenter sa valeur ajoutée. La création d'une nouvelle entreprise ou la transformation d'une start-up en une entreprise prospère à long terme exige un modèle commercial bien défini. Celui-ci sera élaboré en suivant les étapes illustrées dans le canevas présenté à la Figure 12.

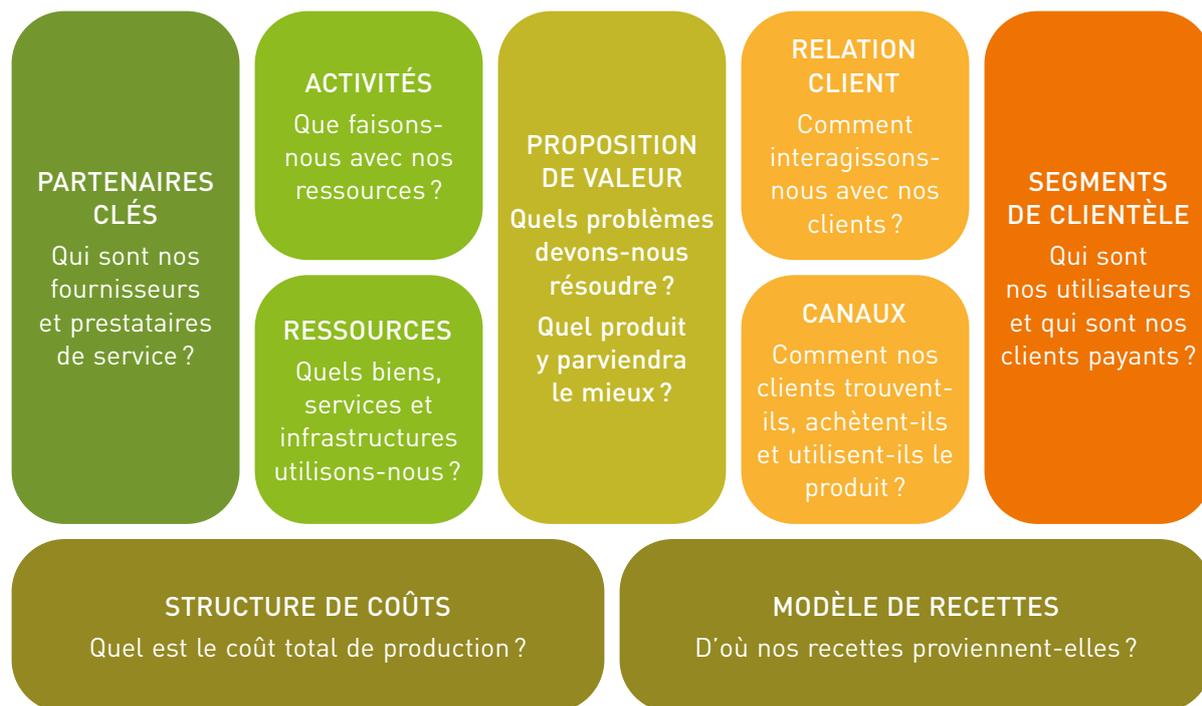


Figure 12 - Canevas générique pour la création d'un modèle ou d'un écosystème commercial\*

**\*Écosystème commercial** – Un modèle de planification stratégique, populaire depuis le développement des technologies de l'information, selon lequel un réseau de fournisseurs, de distributeurs, de concurrents et de clients travaillent tous en concurrence et en coopération pour faire progresser les ventes de produits.

Pour être en mesure de répondre aux questions posées dans le canevas du modèle commercial, il est recommandé qu'une certaine étude de marché et analyse soit effectuée. Parlez à des personnes actives dans des entreprises similaires et demandez-leur de partager leurs expériences. Parlez à des clients potentiels et découvrez ce qu'ils pensent de votre idée d'activité, demandez-leur quels services ou caractéristiques supplémentaires qu'ils apprécieraient. L'analyse de marché suppose aussi d'identifier ses concurrents et de déterminer les caractéristiques des clients potentiels, y compris leur disposition à payer. En outre, les coûts de production doivent être recensés, car ils auront une incidence sur les marges bénéficiaires qui peuvent être obtenues en vendant le produit ou le service.

Autre possibilité : vous exploitez déjà une entreprise. L'intégration d'une **solution énergétique propre** dans vos processus pourrait être une possibilité pour augmenter l'efficacité énergétique et/ou la productivité de l'entreprise. La modification des processus peut avoir une incidence sur le modèle commercial, car des aspects comme la structure des coûts et les ressources clés doivent être modifiés.

Par exemple, si les générateurs diesel d'un système d'irrigation sont remplacés par une installation PV, le coût du diesel est éliminé des **coûts indirects**. Les coûts d'achat et d'exploitation de l'installation photovoltaïque doivent quant à eux plutôt être pris en compte dans les **coûts directs**. L'installation d'un système d'irrigation photovoltaïque améliorera la productivité agricole. Tous ces facteurs affecteront bien entendu les aspects financiers de votre modèle commercial, dont la terminologie est expliquée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Définition des termes financiers

Terme	Définition
Coût direct	Coûts directement liés à la production d'un service ou d'un bien particulier, p. ex. matériaux, main-d'œuvre et autres dépenses de production.
Coûts indirects	Coûts qui surviennent mais ne peuvent pas être rapportés à un bien ou à un service particulier. Ils sont nécessaires pour que l'entreprise reste opérationnelle. Exemples: services publics, loyer, entretien des installations, coûts administratifs, etc.
Coût d'opportunité	Il s'agit du « coût » encouru en perdant les avantages d'une solution de second ordre.
Coût en capital	Dépenses ponctuelles pour l'établissement d'une usine ou d'un projet.
Taux d'intérêt	Coût d'un emprunt, tel qu'il est calculé sur une base annuelle.
Profit	Total des recettes - total des coûts.
Chiffre d'affaires	Revenu engrangé par une entreprise grâce à la vente de services ou de biens.
Flux de trésorerie	Entrées et sorties de fonds d'une entreprise.
Taux d'actualisation	Ce taux est généralement utilisé pour ramener les flux monétaires futurs à leur valeur marchande actuelle. Il s'agit d'un indicateur du « risque » associé à un investissement proposé.

Adapté du CLOM « *Sustainable energy for food* » de *Powering Agriculture*, disponible sur <https://poweringag.org/mooc>

Des outils qui peuvent être déployés pour faciliter le développement de modèles commerciaux sont disponibles ici :

- *Boston Matrix* : pour vous aider dans vos décisions quant aux produits dans lesquels vous pourriez investir en analysant leur part de marché.
- *PEST(LE)* (politique, économique, social, technologique, légal et environnemental) ; ce cadre permet d'analyser les facteurs macro-environnementaux externes susceptibles d'influencer votre entreprise. Les résultats peuvent être utilisés pour l'analyse SWOT.
- *Analyse FFOM* (forces, faiblesses, opportunités, menaces) : pour la planification et la stratégie marketing. Elle vous aide à analyser vos capacités commerciales internes par rapport aux réalités de l'environnement commercial, afin de jeter les bases d'une entreprise prospère.

Disponible sur

<https://www.jisc.ac.uk/guides/managing-strategic-activity/prioritisation>

Dans la plupart des cas, les solutions énergétiques propres pour les chaînes de valeur agricoles nécessitent un investissement important. Par conséquent, l'accès au financement est crucial, et c'est souvent le plus grand défi pour les agriculteurs ruraux, ainsi que pour les développeurs de projets d'énergies renouvelables et les prestataires de services. Habituellement, il existe deux façons pour les investisseurs de se procurer du capital ; soit via un emprunt auprès d'une banque, soit par le biais de capitaux propres (c.-à-d. en vendant une participation dans l'entreprise). L'ampleur de l'investissement dépendra de la taille du système énergétique proposé, allant par exemple de petites installations de biogaz pour les petits exploitants agricoles à des chambres froides plus grandes alimentées par PV pour les légumes, en passant par des parcs éoliens pour la production d'énergie pour les exploitations horticoles. Différents types de véhicules/outils de financement seront nécessaires pour une transition énergétique, et leur choix dépendra de l'ampleur de la proposition et de l'investissement requis.

### 3.2.4. Participation communautaire aux projets d'électrification rurale hors réseau

En général, les projets d'électrification sont établis et exploités soit par des services publics, soit par des propriétaires privés. Cependant, le niveau d'investissement requis pour établir des installations hors réseau appartenant à l'un ou l'autre type d'entité et exploitées par l'un ou l'autre sans qu'il y ait une quelconque organisation donatrice ou participation communautaire est élevé, et les tarifs seront hors de portée de nombreux petits propriétaires fonciers ou exploitants uniques.

Dans les pays à faible PIB, les projets d'électrification rurale, en particulier les projets d'électrification hors réseau à petite échelle, sont souvent parrainés par des donateurs bilatéraux ou multilatéraux ou des organisations internationales. Dans ce cas, une ONG internationale ou locale peut assumer la responsabilité du développement de la centrale électrique et du réseau de distribution, et elle transférera souvent la responsabilité de l'exploitation des centrales lorsqu'elles auront été entièrement développées à un service public local ou à une coopérative communautaire.

#### 3.2.4.1. Coopératives communautaires

Les coopératives communautaires, ou réseaux électriques en copropriété, sont principalement utilisées pour des programmes de mini-réseaux dans des régions isolées qui ne suscitent pas l'intérêt du secteur privé ou des services publics.

Ici, les coopératives deviennent propriétaires et exploitantes du système et fournissent des services d'entretien, de perception des tarifs et de gestion.

Une caractéristique forte des coopératives communautaires est que les propriétaires sont aussi les clients et qu'ils ont donc un intérêt marqué pour le service et la qualité de la production. De plus, les tarifs sont taillés sur mesure pour les clients. Les inconvénients des coopératives communautaires sont qu'elles manquent souvent de compétences techniques pour concevoir et gérer les systèmes d'énergie et de compétences en affaires. Néanmoins, elles sont souvent moins bureaucratiques que les services publics, peuvent créer des emplois dans la communauté locale et réaliser/mettre en œuvre un business plan durable. Ce modèle nécessite donc une

assistance technique substantielle. La capacité locale d'exploitation et d'entretien doit être évaluée dès le début d'un projet, et un mécanisme d'allocation des ressources pour l'exploitation et l'entretien doit être convenu. C'est également important dans d'autres types de propriété, mais c'est particulièrement important pour les coopératives communautaires, car elles assument une tâche complètement nouvelle.

Un autre défi du modèle communautaire réside dans le risque élevé de conflits sociaux au sein de la communauté. Les différends sur la question de savoir qui a payé quoi et qui devrait en bénéficier et à quel prix devraient être évités par des approches sociologiques, techniques et économiques, y compris la formation sociale des comités et les règles de direction. En général, les projets d'électrification rurale communautaire nécessitent une longue période de préparation et beaucoup de renforcement des capacités techniques et sociales pour fonctionner.

#### 3.2.4.2. *Appropriation et participation communautaire*

L'appropriation et la durabilité dépendent de la participation de la communauté à toutes les phases du projet, depuis le démarrage jusqu'au transfert du projet, en passant par sa mise en œuvre. Les trois phases du projet dans lesquelles la participation de la communauté est nécessaire afin d'assurer la durabilité de tout type de projet communautaire d'ER hors réseau sont illustrées dans la figure ci-dessous.



Figure 13 - Les trois phases d'un projet

#### 3.2.4.3. *Avantages et inconvénients de la participation et de l'appropriation communautaires*

La participation de la communauté peut avoir des conséquences positives tant pour la communauté que pour l'exécutant du projet. La communauté aura un certain contrôle sur le projet, elle obtiendra peut-être un rendement financier du projet ou d'autres avantages tangibles, et si le projet réussit, il lui procurera un sentiment de satisfaction. L'exécutant du projet obtiendra des informations précieuses pour la conception du projet. De plus, l'implication de la communauté peut permettre de régler certaines questions liées à la demande, par exemple en expliquant à quoi l'électricité peut servir. La participation de la communauté peut être un processus utile pour surmonter les critiques et l'insatisfaction pendant la mise en œuvre du projet et, dans certains cas, même pour éviter les vols et le vandalisme.

Le défi, concernant la participation communautaire, réside dans le fait qu'il s'agit souvent d'un processus très chronophage. Sans compter que les tentatives sincères d'associer la communauté comportent le risque que celle-ci ait d'autres besoins

et espoirs que ceux prévus ou planifiés par les exécutants du projet, ce qui a pour conséquence que les plans et objectifs du projet doivent être révisés pendant sa mise en œuvre. Enfin, le responsable de la mise en œuvre du projet doit être conscient du fait que l'implication crée des attentes et que si ces attentes ne sont pas rencontrées, les bénéficiaires risquent d'être déçus et insatisfaits.

La participation et l'acceptation de la communauté peuvent être consolidées dès le début de la conception du projet. En d'autres termes, si la collectivité participe à la conception du projet dès le départ, la viabilité à long terme du projet est plus susceptible d'être assurée. Les quatre premières étapes du démarrage d'un projet sont décrites dans la figure ci-dessous.



Figure 14 - Quatre étapes du démarrage d'un projet

Des informations plus détaillées sur la conception, la mise en œuvre et la gestion des projets d'énergie renouvelable hors réseau sont disponibles à l'adresse <http://energyfacilitymonitoring.eu/> et [https://ec.europa.eu/europeaid/regions/african-caribbean-and-pacific-acp-region/acp-multi-country-cooperation/energy\\_en](https://ec.europa.eu/europeaid/regions/african-caribbean-and-pacific-acp-region/acp-multi-country-cooperation/energy_en) (en anglais).

Ce qu'il est important de noter et de garder à l'esprit au sujet de toute participation communautaire à un projet d'intégration hors réseau ou d'ER, c'est qu'il s'agit d'une « participation communautaire » dans un sens total si l'on veut qu'elle soit durable à long terme. Par conséquent, il est impératif que les initiateurs de telles entreprises communautaires soient non seulement conscients de la nécessité de la participation communautaire à toutes les étapes de l'élaboration et de l'exécution du projet, mais qu'il y ait aussi des professionnels compétents dans les processus participatifs. Dans l'encadré ci-dessous, vous trouverez de plus amples détails sur une initiative communautaire et sur l'approche adoptée en matière de participation.

### Malawi - 9 ACP RPR 49/29 : projet d'énergie durable de Msamala

Dans le cadre de projet, Concern Universal utilise le modèle de développement participatif REFLECT\*.

Cette approche du développement est utilisée pour autonomiser la communauté. Le projet forme des facilitateurs

REFLECT issus de la communauté aux approches participatives. Ceux-ci aident la communauté à analyser les problèmes et à déterminer les mesures à prendre. Les solutions recensées conduisent au développement de micro-projets. Certains de ces projets peuvent être réalisés par la communauté sans assistance. D'autres exigent une aide extérieure. Concern Universal aide la communauté à mettre en œuvre des micro-projets tels que l'élaboration de plans de gestion forestière participative et la plantation d'arbres localement pour surmonter un problème de déforestation.



Source : Facilité ACP-UE pour l'énergie, fiche thématique n° 8  
«Durabilité II : Appropriation et participation communautaire».

\*Des informations détaillées sur le développement participatif réfléchi sont disponibles à l'adresse :

- <http://www.participatorymethods.org/method/reflective-practice>
- Rural Invest - A Participatory Approach to Identifying and Preparing Small/Medium Scale Agricultural and Rural Investments: développé par le Centre d'investissement de la FAO, il fournit un appui aux communautés locales, aux entrepreneurs privés ou aux associations de producteurs pour concevoir et mettre en œuvre leurs propres projets d'investissement à travers une série de matériels et de cours de formation comprenant des manuels techniques, logiciels personnalisés, guides utilisateur et matériels pour les formateurs disponibles sur [http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/RuralInvestBrochure\\_fr.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/RuralInvestBrochure_fr.pdf)

De plus amples informations sur tous les aspects de la participation communautaire et du développement de projets d'ER hors réseau peuvent être trouvées sur le site :

SE4ALL

[http://www.se4all.org/sites/default/files/2017\\_SEforALL\\_FR4\\_PolicyPaper.pdf](http://www.se4all.org/sites/default/files/2017_SEforALL_FR4_PolicyPaper.pdf)

IAER (initiative africaine pour les énergies renouvelables)

<http://www.arei.org/> fournit des rapports en anglais et en français

Renewable Energy Caribbean

<https://renewableenergycaribbean.com/tag/project-financing/>

Fonds vert pour le climat (îles du Pacifique)

<http://www.greenclimate.fund/-/pacific-islands-renewable-energy-investment-program>



### Sources d'informations complémentaires pour le financement de projets communautaires :

- AFD «Ligne de crédit verte» : Inciter les banques commerciales à explorer les marchés des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.  
<https://www.afd.fr/fr>
- Energypedia «Financing Portal». Informations sur le financement et les possibilités de financement pour combler les lacunes dans le secteur financier des énergies renouvelables  
[https://energypedia.info/wiki/Portal:Financing\\_and\\_Funding](https://energypedia.info/wiki/Portal:Financing_and_Funding)
- GIZ «Financement de la croissance verte» : Un examen des politiques du secteur financier vert dans les économies émergentes et en développement (couvrant à la fois les investissements à petite et grande échelle dans les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique)  
<http://www.greengrowthknowledge.org/resource/financing-green-growth-review-green-financial-sector-policies-emerging-and-developing>
- PAEGC «*An Energy Grand Challenge for Development*» : Appuie les approches nouvelles et durables pour accélérer le développement et le déploiement de solutions énergétiques propres dans les pays en développement  
<https://poweringag.org/about>
- PNUE, «*Financing Renewable Energy in Developing Countries*» : Drivers and barriers for private finance in sub-Saharan Africa  
[http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/Financing\\_Renewable\\_Energy\\_in\\_subSaharan\\_Africa.pdf](http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/Financing_Renewable_Energy_in_subSaharan_Africa.pdf)
- PNUE, «*Private Financing of Renewable Energy – A Guide for Policymakers*» : Comment la finance fonctionne généralement / le rôle des différentes parties du secteur financier / les questions que les financiers prennent en compte lorsqu'ils investissent, y compris le rôle de la politique et de la réglementation / autres -  
<http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/media/financeguide20final.pdf>
- Banque mondiale, «*Readiness for Investment in Sustainable Energy*» : Comparer le climat d'investissement des pays en matière d'accès à l'énergie, d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables <http://rise.worldbank.org/>

Des ressources supplémentaires relatives aux micro-évaluations de l'investissement dans les énergies renouvelables peuvent être consultées à l'adresse suivante

#### Vidéo

[www.giz.de/gc21/pa\\_video\\_lectures](http://www.giz.de/gc21/pa_video_lectures)

#### Matériel

<https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp385P/2624/index.php/additional-materials/>

#### Références

<https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp385P/2624/index.php/references/>

### 3.3. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES DÉCENTRALISÉES POUR LE STOCKAGE, LA TRANSFORMATION, LE TRANSPORT ET LA DISTRIBUTION APRÈS RÉCOLTE

Près d'un tiers de la production alimentaire destinée à la consommation humaine, soit environ 1,3 milliard de tonnes, est perdu ou gaspillé chaque année, pour une valeur de 1 000 milliards de dollars (FAO, 2012). On estime que l'absence d'installations adéquates de stockage, de transformation et de transport après récolte entraîne des pertes globales allant jusqu'à 45 % pour les fruits et légumes, les racines et tubercules, 35 % pour les fruits de mer et le poisson, 30 % pour les céréales, et 20 % pour les produits laitiers, la viande, les oléagineux et les légumes secs.

#### 3.3.1. Séchoirs et poêles

Les technologies d'énergie renouvelable hors réseau peuvent être utilisées pour sécher les fruits, les céréales, le riz, le poisson, le maïs et d'autres produits agricoles. Le séchage des aliments permet de conserver pour une utilisation future une partie considérable de la récolte qui, autrement, pourrait être perdue à cause de la moisissure. L'utilisation d'un séchoir à base d'énergies renouvelables est plus efficace que la méthode traditionnelle de séchage qui consiste simplement à placer les fruits sur un plateau au soleil, car la chambre du séchoir protège les fruits des insectes, de la poussière et surtout de la pluie, qui pourrait endommager une grande partie de la production, plus particulièrement dans les zones tropicales où la pluie et l'humidité sont fréquentes. De plus, un séchoir à base d'énergie renouvelable permet de sécher de plus grandes quantités de produits dans un laps de temps plus court (CLOM de Powering Agriculture <https://poweringag.org/mooc>). La technologie la plus couramment utilisée pour le séchage des produits est dérivée de l'énergie solaire, mais d'autres technologies issues de la géothermie et de la biomasse ont été envisagées.

##### 3.3.1.1. Séchoirs et poêles solaires

**Les séchoirs solaires pilotés par Fullwell Transform, l'Université de Makerere et Fruits of the Nile en Ouganda commencent à faire des émules à travers le pays (novembre 2017).**

Cyrus Galyaki, ancien employé de Fullwell Transform, assure la promotion et l'installation de séchoirs solaires à travers l'Ouganda, sur la base d'une conception pilotée par Fullwell Transform, Makerere University et Fruits of the Nile. Cyrus est diplômé en génie agricole de l'Université de Makerere, où il a travaillé sous la direction de l'Université en collaboration avec Fullwell Transform, pour concevoir et construire un séchoir solaire amélioré à des fins de recherche et de démonstration.

Le succès du séchoir solaire de démonstration a conduit Fullwell Transform à développer un petit projet pilote pour l'installation de 3-4 séchoirs solaires dans les chaînes d'approvisionnement des bananes et ananas de Fruits of the Nile. Fullwell Transform a obtenu le financement nécessaire et a embauché Cyrus pour l'aider à installer les séchoirs.

Ces installations sont maintenant terminées, et Cyrus a depuis lancé sa propre entreprise qui se concentre sur l'installation et la réparation d'équipements pour les PME de transformation agricole. Son offre comprend des séchoirs solaires et des serres basés sur la conception pilotée par Fullwell Transform, l'Université de Makerere et Fruits of the Nile, et à ce jour, il a réalisé neuf installations et d'autres sont en préparation. La conception des séchoirs peut être facilement modifiée, y compris en augmentant l'échelle des séchoirs, mais la conception de base reste essentiellement la même.

Certains de ces séchoirs sont utilisés à des fins de recherche et de développement, ce qui contribue déjà à catalyser l'adoption à grande échelle. Les produits qui sont soit en cours de séchage, soit en cours d'expérimentation dans les séchoirs sont des feuilles de moringa, de l'ananas, du jacquier, de la citrouille, de la banane, du cacao et du manioc. Ces produits sont destinés à l'exportation ainsi qu'aux marchés locaux. Les emplacements des séchoirs sont répartis dans l'est, l'ouest, le centre et le nord de l'Ouganda.

Par rapport aux séchoirs solaires traditionnels, les séchoirs solaires améliorés (Figure 15) permettent un séchage même par temps nuageux, ce qui permet en outre aux producteurs et aux sécheurs d'augmenter le rendement et de réduire la perte de produits avariés. La température à l'intérieur des séchoirs améliorés est bonne, même par temps nuageux, et le reste jusqu'à 21h30 environ, longtemps après le coucher du soleil. Les séchoirs solaires ont un retour sur investissement (ROI) d'environ 6 mois seulement (plus d'informations disponibles sur Fullwell Transform (<http://www.fullwelltransform.org/>)).



Figure 15 - Sécheur solaire exemple 2

### Poêle à énergie solaire

Ces poêles sont souvent considérés comme «une solution à la recherche d'un problème». Les poêles solaires ont longtemps été présentés comme une solution intéressante au problème mondial de la diminution des sources de bois de chauffage et aux autres problèmes environnementaux associés à la demande de bois de chauffage pour la cuisson.



Figure 16 - Poêle à énergie solaire

Divers facteurs influent sur les taux d'utilisation des poêles solaires, qui à leur tour déterminent les impacts. Certains facteurs sont liés à l'utilisateur, d'autres à l'environnement dans lequel le poêle est utilisé, et d'autres encore au poêle lui-même. Ces poêles solaires peuvent par exemple être utilisés par de petits transformateurs pour conserver les fruits en faisant des confitures et des gelées. Les fruits frais sont mis à bouillir sur le poêle de l'exemple de la Figure 16 avec une solution de canne ou de sucre jusqu'à ce que suffisamment d'eau se soit évaporée pour donner un mélange qui va se figer en refroidissant.

### 3.3.1.2. Séchage des produits à l'aide des technologies de la biomasse et des ER géothermiques

#### Transformation des noix de cajou

Il y a quelques années seulement, l'usine de transformation de noix de cajou de Gebana Afrique basée à Bobo-Dioulasso, au Burkina Faso, utilisait de grandes quantités de bois de chauffage et de butane pour produire l'énergie thermique nécessaire à ses procédés d'étuvage et de séchage, représentant un coût important pour l'entreprise (voir Figure 17 ci-dessous). Ces deux sources d'énergie produisent des niveaux relativement élevés de GES, affectent la santé des travailleurs, sont coûteuses à obtenir et à entretenir et ont finalement un impact négatif cumulatif sur l'environnement.

L'utilisation du bois comme source de combustible, que ce soit pour un usage domestique ou industriel, contribue à la déforestation locale et mondiale. Le processus de séchage libère, lors de la combustion, des polluants qui ont des conséquences négatives sur la santé des personnes à proximité immédiate ainsi que sur l'environnement en général.



Figure 17 - Bois et butane utilisés pour étuver et sécher les noix de cajou.

Parallèlement, la transformation de la noix de cajou génère un flux de déchets qui représente environ 75 % du poids des noix de cajou brutes (NCB) qui entrent dans les usines pour être transformées en noix de cajou finies. De tels flux de déchets organiques peuvent en outre avoir des effets négatifs sur l'environnement en général. Plus précisément, dans le cas de la noix de cajou, ses coquilles contiennent un liquide phénolique appelé « huile de coque de noix de cajou » (ou CNSL), et si on laisse ces coquilles se décomposer, elles causeront des dommages à la terre, notamment un noircissement de celle-ci. Les toxines de ces coquilles peuvent également représenter un problème pour les systèmes aquatiques, par exemple lorsque de fortes pluies peuvent entraîner de grandes quantités de déchets de coquilles dans les rivières, dont les gens dépendent également pour divers usages domestiques dans des contextes comme le Burkina Faso. En outre, les coquilles de noix de cajou ont un pouvoir calorifique important et représentent donc un risque potentiel d'incendie.

Ce flux de déchets représentait donc un problème pour Gebana Afrique, car il coûtait de l'argent à l'entreprise pour s'en débarrasser, mais surtout, il posait des problèmes et des risques pour le voisinage de l'usine.

Aujourd'hui, l'usine n'utilise plus de bois de chauffage, ni de butane, et est capable de couvrir tous ses besoins en énergie thermique à partir de ses propres déchets. Cela a amélioré la viabilité financière de l'usine et a également permis d'augmenter la capacité de l'usine.



Figure 18 - Gazéification/pyrolyse

Tout cela a été rendu possible grâce à l'innovation de Fullwell Transform et de l'ONG française RONGEAD, dépeinte à la Figure 18 ci-dessus, en matière de valorisation énergétique des déchets et de technologies de séchage en tunnel associées. Un procédé connu sous le nom de gazéification/pyrolyse est utilisé pour produire un gaz combustible à partir de déchets de coquilles de noix de cajou. Le gaz est ensuite enflammé et utilisé pour produire de la vapeur pour tous les processus d'étuvage et de séchage de l'usine. De plus, à la fin du processus de gazéification/pyrolyse, les coquilles de noix de cajou sont transformées en charbon de bois, que Gebana Afrique a décidé de distribuer gratuitement à ses ouvriers comme illustré à la Figure 19 ci-dessous. Cela réduit la quantité de charbon de bois ou de bois de chauffage utilisée par ces travailleurs à la maison, ce qui leur permet d'économiser un peu d'argent et de réduire la quantité de bois de chauffage utilisée en général.



Figure 19 - Sous-produit du charbon de bois

Le système de gazéification/pyrolyseur et de séchage associé de Gebana Afrique a un retour sur investissement (ROI) de seulement deux à trois ans. Consciente de l'intérêt économique de ces technologies, Gebana Afrique a investi dans un second système, afin de faciliter son fonctionnement et d'augmenter encore sa capacité potentielle. Fullwell Transform a également innové avec des versions à échelle réduite du gazéifieur/pyrolyseur et du système de séchage associé utilisés chez Gebana Afrique, afin qu'ils puissent être utilisés par les petits transformateurs de noix de cajou, et en a installé deux dans des groupes de femmes à Bobo-Dioulasso et ses environs. Alors qu'une réduction d'échelle tend à augmenter le ROI, dans ce cas, le ROI reste autour de deux à trois ans comme avec le grand système de Gebana Afrique, étant donné que les technologies ont pu être mises à l'échelle.

Les gazogènes/pyrolyseurs peuvent fonctionner avec une gamme de biomasse, et donc être utilisés dans la transformation d'une grande variété de produits agricoles. Ils peuvent également être utilisés sans tunnel de séchage lorsque celui-ci n'est pas nécessaire, par exemple lorsqu'une simple opération d'étuvage suffit.

Les gazéificateurs/pyrolyseurs n'ont en fait besoin que d'environ 25 % du volume de déchets de coques de noix de cajou provenant de l'opération de transformation pour produire toute l'énergie nécessaire aux besoins en énergie thermique de l'usine. Gebana Afrique se retrouve donc encore avec un important flux de déchets (75 %). Fullwell Transform a donc également innové avec l'Université de Saragosse et la Fondation Zie, en partenariat avec Fullwell Transform, en concevant un four de carbonisation/à charbon de bois qui peut produire un charbon de bois de grande qualité à partir de déchets de noix de cajou, et produit également du CNSL comme sous-produit, voir Figure 20 ci-dessous.

Ce charbon de coques de noix de cajou (CNSC) a été testé par un laboratoire ainsi que sur le terrain et il s'est avéré qu'il en faut moins, pour chauffer, que du charbon de bois de chauffage, de l'ordre d'un quart à un tiers. Conséquence : il peut être vendu à un prix plus élevé que le charbon de bois de chauffage, ou à tout le moins il peut se révéler être un produit plus intéressant que le charbon de bois de chauffage s'il est vendu au même prix, en raison de sa valeur ajoutée. De plus, bien que de la R&D supplémentaire soit encore nécessaire du côté du CNSL, pour lequel Fullwell Transform est à la recherche de financements, des tests ont été effectués au Burkina Faso concernant son adéquation en tant que biocarburant, et les premiers résultats sont prometteurs.



Figure 20 - Charbon de grande qualité produit à partir d'un carboniseur/four à charbon de bois

Ces innovations supplémentaires pourraient permettre aux transformateurs de noix de cajou comme Gebana Afrique de valoriser leurs flux de déchets et de les intégrer à leur modèle commercial, ce dont l'industrie africaine de la transformation des noix de cajou a désespérément besoin en ce moment.

De plus, puisque le CCSN et le CNSL sont tous deux dérivés de résidus agricoles et sont donc renouvelables, ils peuvent remplacer d'autres combustibles non durables et nuisibles à l'environnement, comme le bois de chauffage, le charbon de bois et les huiles (Source: RONGEAD et Fullwell Transform disponible à l'adresse <http://www.fullwelltransform.org/what-we-do/innovate-catalyse-adoption-of-appropriate-technologies-and-solutions-at-scale/gasifiers-pyrolysers/>).

### **Tunnel de séchage à vapeur alimenté par des énergies fossiles et renouvelables**

Au Burkina Faso, un tunnel de séchage à vapeur relié à un gazéifieur est utilisé pour produire de la mangue séchée. En reliant ce gazéifieur, une partie de l'énergie nécessaire pour alimenter le séchoir à vapeur est produite à partir de déchets de mangues ainsi que d'autres sources de bioénergie. Parmi les avantages de cette approche de l'utilisation innovante des sources de bioénergie, citons :

- Amélioration de la qualité, de l'hygiène et de l'uniformité du séchage, mais aussi du rendement et de la valeur du produit séché (1ère qualité).
- Convient à une large gamme de produits et offre également un potentiel pour de nouvelles gammes de produits de qualité supérieure.
- Caractéristiques de séchage contrôlées et reproductibles avec contrôle de la température de séchage.
- Coûts d'exploitation réduits par rapport au séchoir traditionnel butane/GPL ; jusqu'à huit bouteilles de gaz de 12,5 kg économisées par cycle pour un séchoir de type tunnel dans le cas de la production de mangue séchée.
- Un savoir-faire local a été déployé pour la conception, les matériaux, la fabrication,
- l'installation et la maintenance locale.
- Modélisé pour différentes échelles d'exploitation (« Tunnel » et « petite PME » (Tableau 5) et
- modulaire, avec la possibilité de plusieurs séchoirs fonctionnant en parallèle.
- Sources d'énergie issues de la biomasse abordables et renouvelables - possibilité de réduire les flux de déchets des PME (par exemple, les déchets de mangue dans le cas de la production de mangue séchée) ainsi que d'autres sources de biomasse renouvelable, d'une manière écoresponsable.

**Tableau 5 :** Tunnel et petit séchoir PME -  
Coût<sup>6</sup> des systèmes et retour sur investissement<sup>7</sup>

Paramètres	Séchoir du type tunnel			Petit séchoir PME		
Capacité du séchoir (poids du produit frais)	1.000 kg			320 kg		
Nombre de séchoirs (chambres de séchage)	1	2	3	1	2	3
Production totale (poids du produit frais)	1 000 kg	2 000 kg	3 000 kg	320 kg	640 kg	960 kg
Coût total du système - Gazéifieur/ pyrolyseur H2CP, chaudière, séchoirs	25 000 £	36 000 £	48 000 £	14 500 £	20 800 £	27 200 £
Unité de séchage seule	11 500 £			6 350 £		
Économies de butane (kg/jour)	145	290	435	46	93	139
Réduction des émissions de CO <sub>2</sub> pour une saison de 100 jours (tCO <sub>2</sub> eq/an)	657	1 314	1 971	292	584	876
Retour sur investissement du système complet pour une saison de 100 jours (années)	1,3	0,9	0,8	2,2	1,6	1,4
Retour sur investissement du système complet pour une production continue sur l'année (années)	0,5	0,4	0,3	0,8	0,6	0,6

Source : [www.fullwelltransform.org](http://www.fullwelltransform.org)

La **biomasse** peut être utilisée pour le séchage de produits tels que le bambou. Le bambou est un produit de valeur utilisé dans la construction et l'ameublement, mais il doit être séché pour pouvoir être utilisé sur les marchés nationaux et internationaux. African Bamboo, une entreprise éthiopienne, utilise un procédé thermique basé sur la combustion de la biomasse pour sécher le bambou, car l'utilisation du gaz permet de mieux contrôler la chaleur que le bois. Cela peut profiter à plus de 2 200 agriculteurs éthiopiens de 30 coopératives.

6 N'inclut pas les travaux de construction supplémentaires requis tels que les plates-formes en béton et la toiture.

7 Le retour sur investissement est calculé sur la base des économies de carburant et des avantages de la transformation (par exemple, moins de déchets, plus de produits de meilleure qualité).



Figure 21 - Séchoir à biomasse

**Géothermie** – Dans la mesure du possible, des séchoirs géothermiques peuvent être utilisés pour sécher les cultures céréalières et les haricots. Dans cet exemple, il est utilisé pour le séchage des tomates. L'utilisation directe de la chaleur géothermique a été développée en Indonésie pour le séchage du cacao, du coprah, des champignons et du thé (FAO *et al.*, 2015). Toutefois, le déploiement de cette technologie se heurte à des contraintes, notamment des obstacles techniques et financiers, et dépend largement de l'intervention des pouvoirs publics.

En plus du séchage des aliments, la réfrigération est une méthode vitale pour la conservation des aliments périssables.

## DÉSHYDRATATION DE TOMATES

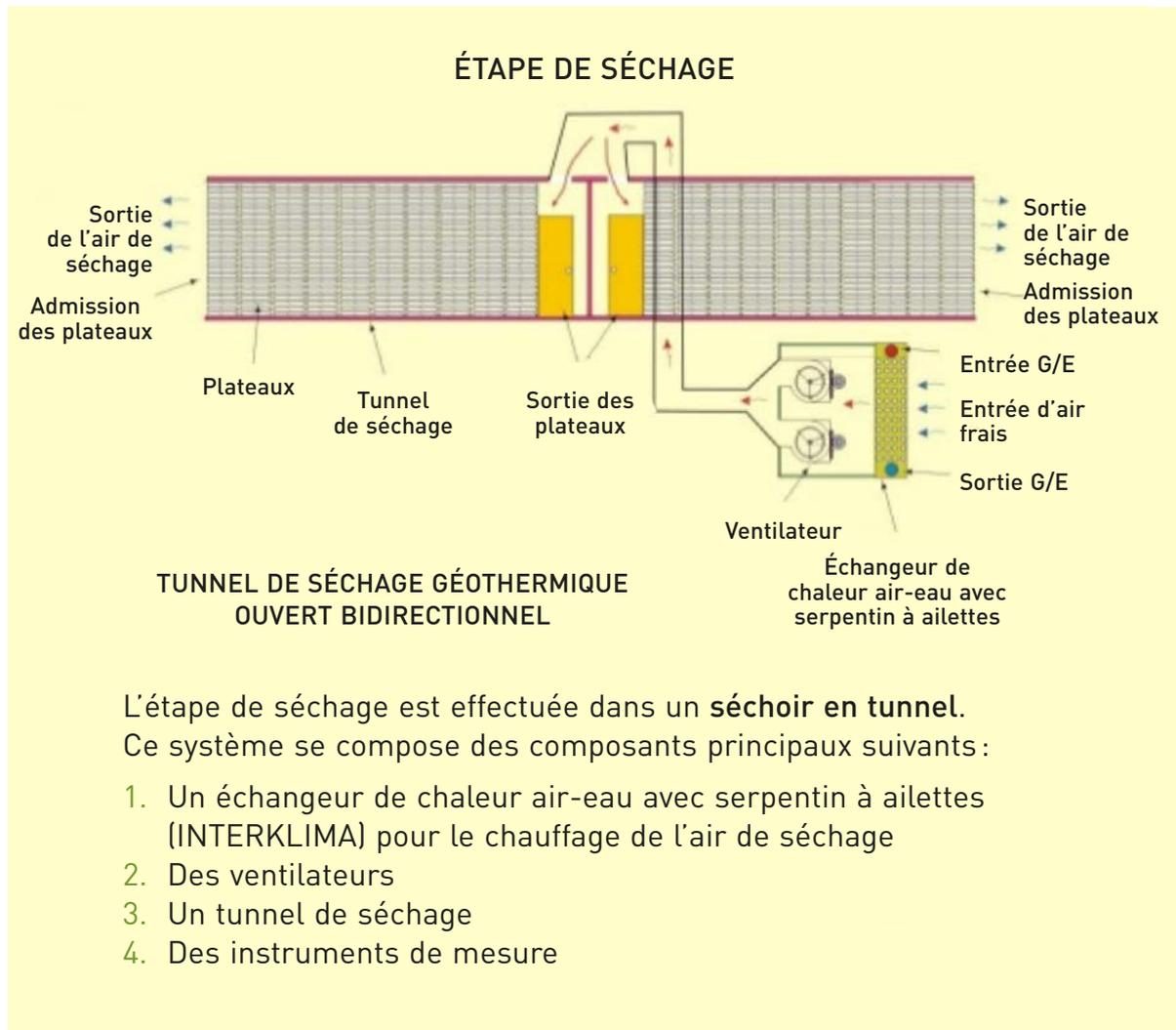


Figure 22 - Séchoir géothermique

**3.3.2. Système de refroidissement**

Il existe un certain nombre de technologies d'énergie renouvelable hors réseau qui peuvent être utilisées pour le refroidissement et l'entreposage frigorifique des produits agroalimentaires. Les agriculteurs et les transformateurs de produits agroalimentaires utilisent le refroidissement et l'entreposage frigorifique pour maintenir la qualité des aliments après la récolte et la transformation, mais aussi pour réduire les pertes dans la chaîne d'approvisionnement. Quelques technologies utilisées pour le refroidissement et l'entreposage frigorifique des produits sont présentées dans les sections suivantes.

### 3.3.2.1. Refroidissement par évaporation

Dans les régions qui n'ont pas accès à des technologies modernes abordables, des solutions de rechange peu coûteuses, comme le refroidissement par évaporation, peuvent être utilisées pour entreposer et conserver les aliments. Le refroidissement par évaporation est une méthode rudimentaire. Il est simple et ne nécessite pas d'alimentation externe. Le système peut être utilisé pour conserver les aliments plus longtemps, les protéger de l'humidité et du développement de champignons. De plus, il prévient les maladies en tenant les mouches à l'écart des aliments et préserve la teneur en nutriments des légumes, comme le montre la figure ci-dessous.

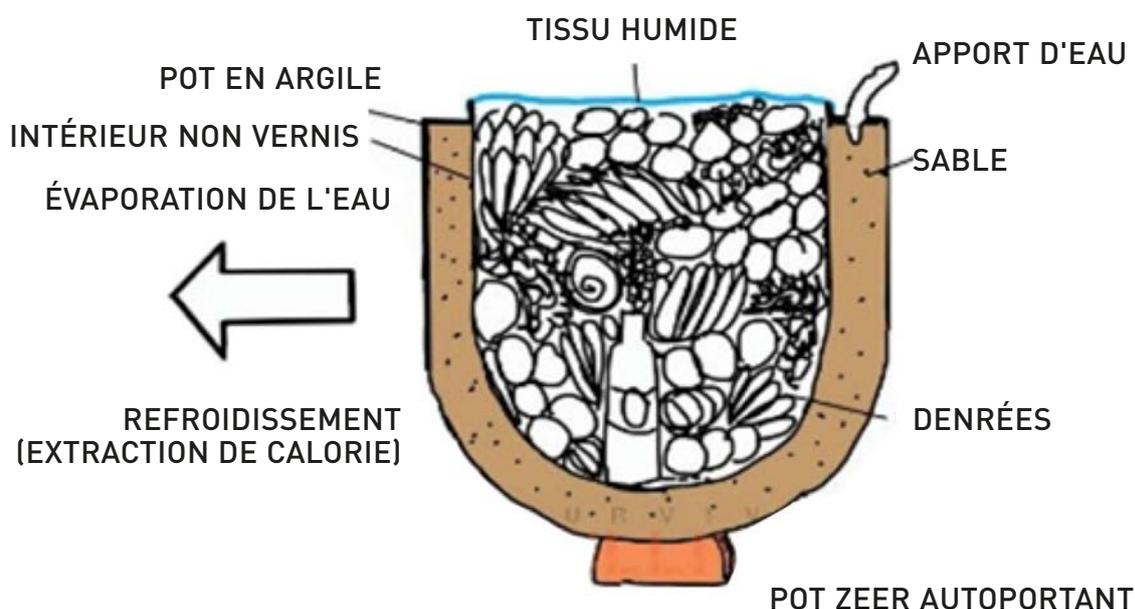


Figure 23 - Pot «Zeer» autoportant tel qu'utilisé au Nigeria pour le refroidissement par évaporation

Le refroidissement par évaporation se produit lorsque de l'air qui n'est pas trop humide passe sur une surface humide. Lorsque l'eau s'évapore, elle puise de l'énergie dans son environnement, ce qui produit l'effet de refroidissement souhaité. L'efficacité d'un refroidisseur par évaporation dépend donc de l'humidité de l'air ambiant, car l'air sec peut absorber beaucoup d'humidité (ce qui permet un meilleur refroidissement), alors que l'air humide totalement saturé en eau permet une évaporation minimale. Un refroidisseur par évaporation est généralement constitué d'un matériau poreux qui est alimenté en eau. Selon les matériaux disponibles et les besoins de l'utilisateur, il existe différents modèles de refroidisseurs par évaporation.

Le refroidissement des pots «Zeer» en fait partie. Ce système de «pot-dans-le-pot» se compose de deux pots de tailles légèrement différentes. Le plus petit pot est placé à l'intérieur du plus grand pot, et l'espace entre les deux pots est rempli de sable, créant une couche isolante autour du pot intérieur. Le sable est maintenu humide en ajoutant de l'eau à intervalles réguliers.

### 3.3.2.2. Refroidissement solaire thermique et au biogaz

Les réfrigérateurs solaires thermiques peuvent être utilisés pour la conservation des aliments et le stockage des vaccins dans les zones qui n'ont pas accès à l'électricité et qui ont une forte intensité de rayonnement solaire. Les systèmes de refroidissement solaire thermique ne sont pas encore très abordables pour une utilisation décentralisée. Voir également le chapitre 1 de ce manuel pour les détails de l'étude de cas en Angola où des vaccins pour le bétail sont stockés dans des unités de réfrigération à énergie solaire.

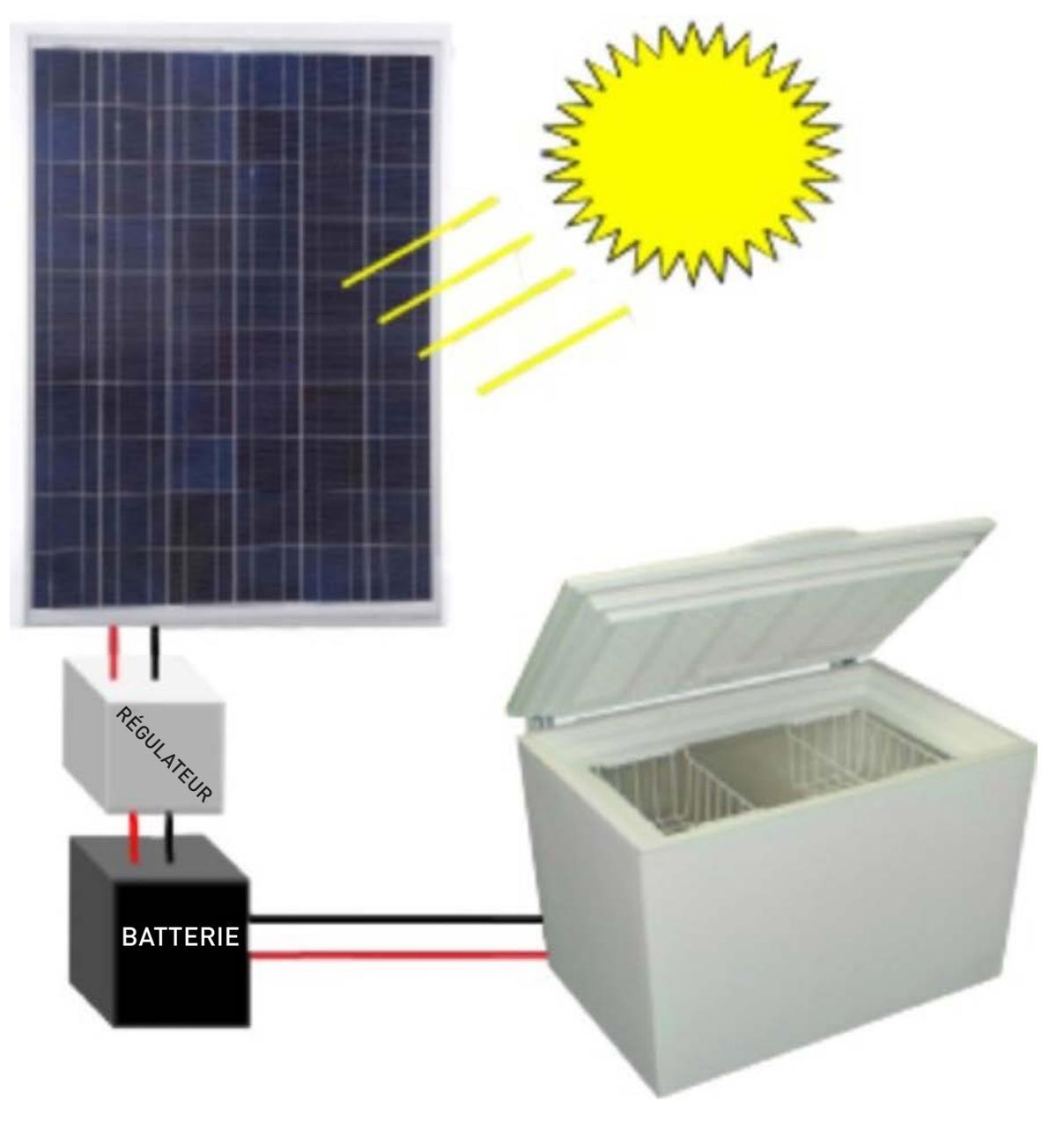


Figure 24 - Réfrigération solaire – sans source

L'absence de réfrigération adéquate limite l'exportation des produits laitiers vers les marchés voisins d'Afrique subsaharienne, car les produits laitiers doivent être refroidis dans les quatre heures suivant leur production pour satisfaire aux normes internationales de sécurité. Les pertes peuvent atteindre jusqu'à 50 % de la production laitière en raison de l'absence ou de l'interruption de la chaîne du froid. Un réfrigérateur alimenté au biogaz fonctionnant au fumier de vache comme matière première a été mis au point pour contribuer à ce que l'offre de lait réponde à la demande. Le fumier produit par une vache crée suffisamment de biogaz pour réfrigérer le lait produit en une journée, et il reste suffisamment de biogaz pour l'éclairage et la cuisine (CLOM de Powering Agriculture, Sustainable energy for food <https://poweringag.org/mooc>).

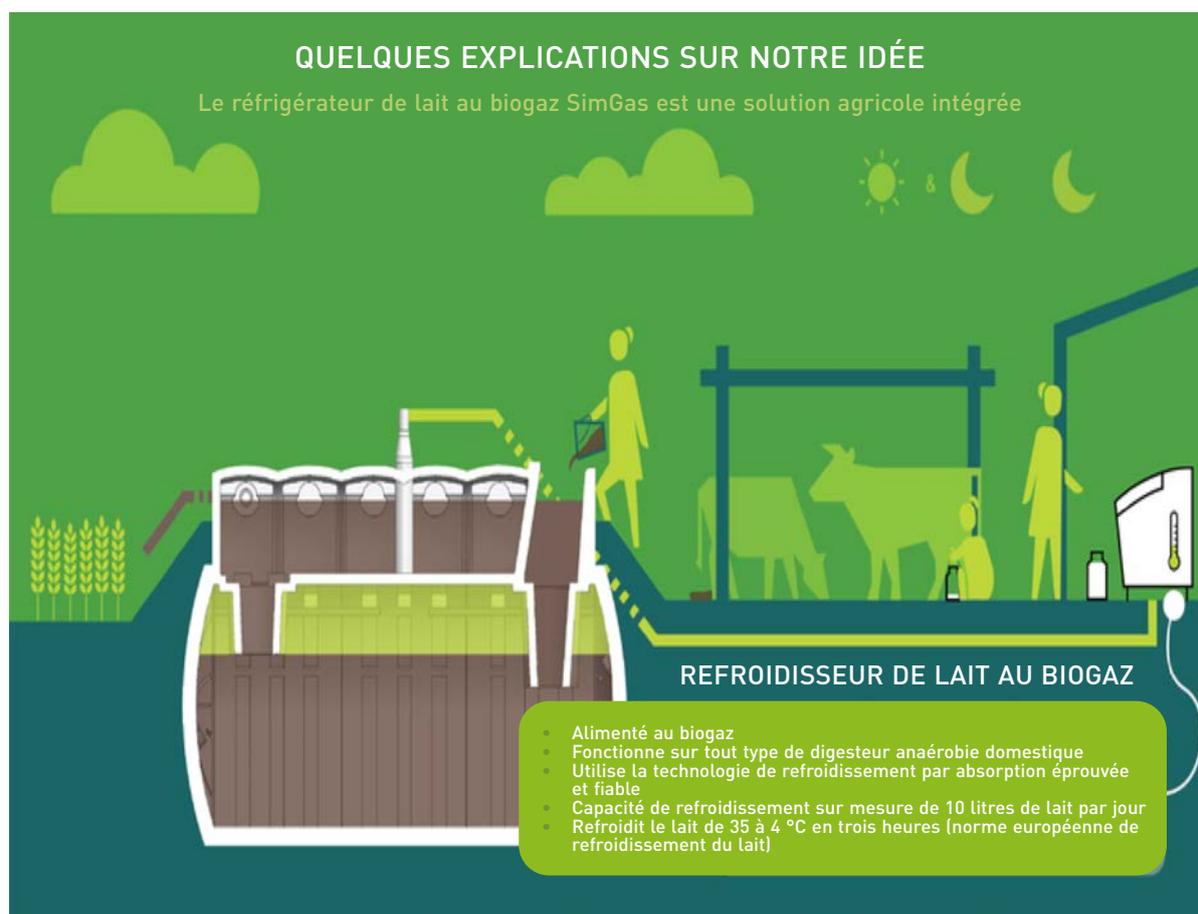


Figure 25 - Réfrigération au biogaz

Source <https://challenges.openideo.com/challenge/agricultural-innovation/improve/biogas-powered-milk-chiller-for-small-scale-dairy-farmers-in-eastern-africa/comments>

Ce ne sont là que quelques-unes des approches qui ont été adoptées et mises en œuvre pour faire face à des situations où l'accès à une énergie constante et abordable le long des chaînes agroalimentaires est un défi. Ces idées ont été mises en œuvre avec succès dans de nombreuses communautés rurales éloignées et dans des situations géographiques, politiques, économiques, sociales et culturelles variées, avec beaucoup de succès. Ces idées démontrent la capacité d'innovation des développeurs pour réaliser des transitions énergétiques et améliorer l'efficacité énergétique à tous les points de la chaîne agroalimentaire.

Plus de détails peuvent être obtenus en visitant ces sites Web :

- Agence internationale de l'énergie <https://www.iea.org/topics/renewables/>
- IRENA <http://www.irena.org/publications>
- FAO <http://www.fao.org/energy/home/fr/>  
disponible en anglais, français et espagnol
- GIZ <https://www.giz.de/en/html/index.html>

### 3.3.3. Transport et distribution

Le secteur du transport et de la distribution est actuellement presque totalement dépendant des combustibles fossiles. Réduire cette dépendance est crucial pour éviter le changement climatique. Les trois principales sources d'énergie renouvelables utilisées dans ces secteurs sont :

- 100 % de biocarburants liquides, mais ces biocarburants peuvent également être mélangés à des combustibles fossiles,
- Du biogaz amélioré qui implique l'élimination de l'eau, du dioxyde de carbone, du sulfure d'hydrogène et d'autres oligo-éléments. Ce biogaz amélioré est comparable au gaz naturel classique et convient donc aux véhicules fonctionnant au gaz naturel comprimé (GNC) et au gaz de pétrole liquéfié
- L'électricité renouvelable, par exemple, l'utilisation de batteries pour stocker l'énergie solaire pour les véhicules électriques à batterie.

Les principales énergies renouvelables dans le secteur du transport et de la distribution sont les biocarburants liquides tels que l'éthanol de maïs, le biodiesel de soja, l'éthanol de blé, l'éthanol de canne à sucre et le biodiesel d'huile de palme, mais l'électrification du secteur du transport et de la distribution continue à croître (REN21, 2017).

Aux États-Unis, l'utilisation du biogaz a augmenté ces dernières années, tandis qu'en Europe, le biogaz a continué à gagner des parts dans la palette énergétique des transports. L'évolution dans d'autres régions du monde est restée limitée.

Les nouveaux développements dans ces secteurs peuvent être consultés en visitant les sites Web suivants :

- Renewable energy world <https://www.renewableenergyworld.com>
- Agence internationale de l'énergie <https://www.iea.org/topics/renewables/>
- IRENA <http://www.irena.org/publications>

# Chapitre 4

## Étude de cas

4.1. Pourquoi une étude de cas? .....	174
4.2. Contexte général .....	177
4.3. Fournir une analyse de la situation .....	181
4.4. Étapes vers l'établissement d'un bilan énergétique .....	183
4.5. Annexe 1 : Feuilles de calcul du document Excel .....	215

## OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À la fin de cette étude de cas, l'apprenant devrait être capable :

- d'analyser une situation réaliste ;
- de proposer les mesures ou analyses à effectuer pour établir un diagnostic ;
- de déterminer toutes les causes, directes ou indirectes, d'une perte d'énergie sur la base des connaissances théoriques acquises et d'effectuer les calculs pertinents ;
- de proposer un ensemble de solutions appropriées pour l'amélioration durable de l'utilisation de l'énergie ;
- d'élaborer un plan d'action cohérent pour établir une gestion durable de l'énergie.

### 4.1. POURQUOI UNE ÉTUDE DE CAS ?

Travailler sur la base de la description d'un cas hypothétique ne remplacera jamais une expérience professionnelle acquise sur le terrain et au contact de la vie quotidienne des agriculteurs. Cependant, il est possible d'**acquérir, à partir d'un exemple tiré de situations déjà rencontrées, des principes méthodologiques** pour analyser la situation, déterminer la nature et l'origine de certains problèmes auxquels les agriculteurs peuvent être confrontés et être en mesure de proposer des solutions réalisables qui soient efficaces, rentables et compatibles avec les objectifs de durabilité.

#### Voici un exercice pour vous guider !

Les études de cas ne doivent pas servir à proposer des « recettes toutes faites » dont les ingrédients aboutiraient toujours aux mêmes solutions à recommander aux agriculteurs. Au contraire, elles doivent permettre de **comprendre la complexité des situations qui peuvent exister et qui nécessitent une approche au cas par cas**, avec des solutions adaptées à chaque contexte et aux ressources disponibles localement. **Elles doivent aider l'agriculteur à comprendre le « pourquoi » de ses problèmes et à déterminer lui-même « comment » une amélioration durable de la situation est possible**, en évaluant les coûts et les avantages de chaque solution théorique.

**Comment utiliser cette étude de cas pour examiner les divers aspects de la gestion durable de l'énergie et appliquer les enseignements tirés à un cas qui pourrait être rencontré dans la pratique ?**

L'étude de cas se compose de quatre parties, qui sont autant d'étapes dans l'exercice à réaliser :

1. Un scénario: en lisant un texte, vous devrez relever les informations utiles pour comprendre une situation qu'une entreprise horticole pourrait rencontrer (dans ce cas, en termes de consommation énergétique). Pour affiner le diagnostic, il peut être nécessaire de proposer des mesures ou des analyses.
2. Une analyse de la situation: pour mettre le doigt sur les causes et proposer des solutions pour l'entreprise, il sera nécessaire d'analyser les données, de relier les pratiques décrites aux problèmes rencontrés (nature, origine, interaction entre observations) et de mesurer le décalage existant avec les objectifs de l'entreprise.
3. Détermination des solutions appropriées: un inventaire des solutions qui devraient être appropriées pour traiter chaque problème recensé séparément.
4. Une proposition de plan d'action pour l'entreprise. Il s'agira d'établir une stratégie de mise en œuvre intégrant les solutions retenues, afin d'améliorer durablement la situation: maintenir ou améliorer la gestion de l'énergie.
5. Lister les objectifs énergétiques spécifiques et déterminer comment les surveiller.

Pour profiter pleinement de cette étude de cas, **vous devez suivre les lignes directrices et réaliser chaque étape comme un exercice personnel**, en vous référant aux aspects théoriques exposés dans le manuel et en consultant les sites Web et les ressources pertinents mentionnés dans ce manuel.

À chaque étape, vous aurez des instructions La **solution** se trouve à l'Annexe 1 - Feuilles de calcul du document Excel. Vous verrez apparaître le message suivant:

«Vous avez terminé votre partie de l'exercice? Très bien ! Comparez maintenant votre résultat à la solution proposée, examinez les différences et essayez de voir pourquoi votre résultat diffère de ces propositions. Mais peut-être avez-vous pensé à une proposition nouvelle et/ou meilleure? Écrivez votre analyse des résultats et votre perception personnelle en quelques lignes; cela vous aidera à retracer le raisonnement qui sous-tend votre stratégie à la fin de l'exercice».

**Conseil avant de commencer :** imprimez les pages de ce chapitre vous pour faciliter la tâche.



**Pour rappel : voici la liste des tâches à réaliser pour résoudre cette étude de cas !**

- Tâche 1. Expliquer ce qu'est l'énergie renouvelable
- Tâche 2. Expliquer ce qu'est un audit énergétique
- Tâche 3. Expliquer quels systèmes seront évalués
- Tâche 4. Énumérer les documents nécessaires à la collecte de données sur l'énergie
- Tâche 5. Énumérer les étapes à prendre en compte pour dresser le bilan énergétique
- Tâche 6. Dressez une liste des machines, des équipements et des outils consommateurs d'énergie
- Tâche 7. Compléter le tableau de la consommation et des coûts d'énergie
- Tâche 8. Calculer la consommation en kWh
- Tâche 9. Créer un diagramme à barres pour la consommation d'énergie et les coûts de l'énergie
- Tâche 10. Tirer des conclusions du diagramme à barres
- Tâche 11. Créer un diagramme circulaire pour la consommation d'énergie et les coûts énergétiques
- Tâche 12. Conclusions du diagramme circulaire
- Tâche 13. Déterminer la consommation d'énergie
- Tâche 14. Calculer la consommation en kWh/an, y compris la part du total, la consommation d'énergie et les intrants
- Tâche 15. Faire un diagramme circulaire pour la consommation d'électricité et de combustible
- Tâche 16. Tirer des conclusions du diagramme circulaire
- Tâche 17. Énumérer les points à prendre en considération pour ce qui a trait à la consommation d'énergie de l'entreprise
- Tâche 18. Calculer les EnPI Consommation d'énergie et Coûts
- Tâche 19. Dresser la liste des principaux équipements à examiner
- Tâche 20. Déterminer les possibilités d'économies d'énergie
- Tâche 21. Déterminer les gros consommateurs d'énergie : A. Chambre froide
- Tâche 22. Recenser les gros consommateurs d'énergie : B. Éclairage
- Tâche 23. Recenser les gros consommateurs d'énergie : C. Tunnel de congélation
- Tâche 24. Calculez le gain financier ou la perte financière à la fin de la cinquième année
- Tâche 25. Conseiller Jane pour l'achat d'un nouveau tracteur
- Tâche 26. Recommander une source d'énergie renouvelable
- Tâche 27. Expliquez quels sont les avantages de l'énergie photovoltaïque.

- Tâche 28. Demande de la chambre froide
- Tâche 29. Estimer les propriétés du système solaire
- Tâche 30. Estimer le coût du système
- Tâche 31. Élaborer un plan d'action énergétique
- Tâche 32. Répertoirez les activités par domaine prioritaire et indiquez quel domaine prioritaire choisir
- Tâche 33. Expliquer ce que sont les objectifs énergétiques
- Tâche 34: Expliquer ce qu'est le suivi
- Tâche 35. Calculer le total des économies d'énergie et des coûts, y compris le pourcentage par rapport à 2017
- Tâche 36. Calculer la réduction de la consommation d'énergie et des coûts 33

## 4.2. CONTEXTE GÉNÉRAL

### 4.2.1. Introduction (le scénario)

Jane Browne dirige l'entreprise familiale **Fresh and Tasty** et elle est membre d'une coopérative agricole. C'est une entreprise de taille moyenne (environ 15 ha) implantée en périphérie d'une grande ville et à proximité de quelques villages où une bonne partie de ses légumes est vendue toute l'année. L'entreprise se trouve à 30 km de son principal marché local (une grande ville) et du grand port maritime d'où ses produits haut de gamme (haricots verts surgelés, manioc, gombo et tomates séchées) sont expédiés en Europe.

Jane doit payer les onze personnes qui travaillent dans son exploitation. Dans celle-ci, il y a une cantine où le mari de Jane cuisine tous les jours pour tout le personnel sur des réchauds à essence. La cantine comporte un congélateur où sont conservés le poisson et la viande congelés et un petit réfrigérateur pour les autres ingrédients.

Jane est très préoccupée par l'augmentation des prix de l'énergie dans le pays ; en 2014, le tarif de l'électricité était de 0,08 \$ le kWh, et il est désormais déjà de 0,12 \$. Le prix du litre de diesel et d'essence a également augmenté ces dernières années, passant de 0,70 \$ et 0,80 \$ à 1 \$ et 1,1 \$ le litre respectivement. Jane recherche donc de l'aide pour réduire la facture énergétique de l'exploitation.

Un autre problème majeur auquel Jane doit faire face est qu'au moins 3 fois par semaine, elle n'a pas d'électricité pendant 4-6 heures et parfois plus. Cela provoque la décongélation des produits congelés, ce qui compromet la qualité du produit et finit par entraîner sa détérioration. Même la qualité et la durée de conservation des laitues et poivrons frais entreposés au froid diminuent. La perte de produits et surtout les pertes financières sont un énorme problème pour cette entreprise familiale. Les pertes financières sont d'environ 20 000 \$ par an.

4.2.2. Culture et récolte

L'entreprise Fresh and Tasty produit certains de ses produits (gombo, haricots verts et manioc) en plein champ. Elle consacre 14 ha à la production en plein champ. Un hectare est utilisé pour la culture du poivron, de la tomate et de la laitue en serre froide. L'entreprise est située à Silver Springs, une région aux sols argileux lourds, où la saison sèche dure de six à sept mois par année. La principale source d'eau est un réservoir construit sur place qui, à sa capacité maximale pendant la saison des pluies, retient 10000 m<sup>3</sup> d'eau. L'eau est pompée dans trois réservoirs de stockage d'une capacité de 2500 m<sup>3</sup> chacun, qui alimentent chacun 5 ha. L'eau est ensuite envoyée vers les champs à l'aide de pompes diesel (quatre pompes au total). Les cultures en plein champ sont irriguées par un goutte à goutte. Les serres froides sont équipées de systèmes hydroponiques. Deux tracteurs sont utilisés pour la préparation du sol et le désherbage inter-cultures, ainsi que pour le transport de la récolte des champs et des serres jusqu'à l'atelier de conditionnement. L'entreprise possède également deux débroussailluses supplémentaires utilisées pour le désherbage.



Figure 1 - Pompe à eau électrique pour serre froide

La Fresh and Tasty Company produit annuellement 10 tonnes de poivrons, 40 tonnes de tomates et 6 tonnes de laitue dans ses serres ainsi que 100 tonnes de manioc, 50 tonnes de haricots verts et 25 tonnes de gombo en plein champ.

#### 4.2.3. L'atelier de conditionnement

Dans son atelier de conditionnement, le personnel trie et conditionne les produits destinés aux marchés locaux et à l'exportation. Les tomates y sont en outre séchées sur des tables de séchage exposées au soleil tous les matins et rentrées le soir; 10 tonnes de tomates séchées sont ainsi produites chaque année. Cependant, le processus est lent et beaucoup de tomates se gâtent et doivent être jetées. Le personnel passe beaucoup de temps chaque jour à trier soigneusement les tomates séchées; jusqu'à 5 % (0,5 tonnes) des tomates séchées ne sont pas commercialisables. Avec le système actuel, le séchage des tomates ne peut se faire que pendant la saison sèche.

Le gombo et les haricots verts sont emballés et placés dans le tunnel de congélation. Dès que les boîtes ont atteint -30 °C, elles sont placées dans l'un des autres congélateurs.

Les laitues et les poivrons sont emballés et placés dans la chambre froide à une température de 2 °C.

Des camions frigorifiques sont utilisés pour acheminer les produits au marché de la ville situé à 30 km de distance, ainsi que dans les villages voisins.

#### 4.2.4. Postes de consommation d'énergie

Voici une liste de toutes les utilisations de l'énergie de la Fresh and Tasty Company :

- Deux tracteurs diesel utilisés pour le transport des produits du champ et des serres froides jusqu'à l'atelier de conditionnement de l'entreprise, ainsi que pour la culture.
- Deux débroussailleuses pour le désherbage
- Quatre pompes à eau diesel pour le plein champ
- Deux pompes à eau électriques pour les serres froides
- L'électricité est utilisée pour l'éclairage de l'atelier de conditionnement, l'exploitation d'un tunnel de congélation, de deux congélateurs, d'une chambre froide pour le stockage de la laitue et des poivrons et de petits équipements de bureau tels que deux ordinateurs, deux balances électroniques, des équipements pour le conditionnement et l'étiquetage des produits frais, secs et congelés ainsi que l'éclairage de sécurité de l'atelier de conditionnement et son périmètre.
- Deux camions frigorifiques pour le transport des produits vers la ville, les villages et le port maritime.
- Un congélateur et un petit réfrigérateur dans la cantine
- Trois réchauds à essence

Jane doit acheter du diesel pour les pompes, les tracteurs et les camions, de l'essence pour la débroussailleuse et les réchauds, en plus des intrants agricoles – semences, engrais, pesticides, etc. Elle est également préoccupée par la facture d'électricité élevée de l'atelier de conditionnement. Beaucoup de gens ont dit à Jane qu'elle pouvait réduire le coût de l'énergie en utilisant de l'énergie renouvelable. Malheureusement, Jane n'a aucune idée de ce qu'est l'énergie renouvelable, mais elle veut savoir si c'est la meilleure façon de réduire sa facture d'électricité.

Tâche 1 - Expliquer ce qu'est l'énergie renouvelable

Pourriez-vous expliquer à Jane ce qu'est une énergie renouvelable ?

Des amis lui ont conseillé d'embaucher un expert en énergie pour effectuer un audit énergétique, afin de faire le point sur la situation actuelle de l'exploitation. Jane veut en savoir beaucoup plus sur cet audit énergétique, mais ses amis n'ont pas pu lui en dire davantage.

Tâche 2 - Expliquer ce qu'est un audit énergétique

Pourriez-vous expliquer à Jane ce qu'est un audit énergétique ?

### 4.3. FOURNIR UNE ANALYSE DE LA SITUATION

Nous avons maintenant les renseignements généraux sur l'exploitation de Jane. Par où commencer? Vous vous souviendrez peut-être de la formule utilisée, dans les chapitres précédents, pour améliorer l'efficacité énergétique en fonction du « **bilan énergétique** » d'une entreprise. Cette formule sert à déterminer si le passage des combustibles fossiles aux énergies renouvelables ou un mélange des deux est nécessaire pour améliorer l'efficacité énergétique de l'exploitation agricole.

En résumé, « un **bilan énergétique** revient à quantifier toute l'énergie d'entrée (p. ex. combustibles, électricité, chaleur) et de sortie (p. ex. énergie pour l'éclairage, chauffage de l'eau, chaleur résiduelle) dans un périmètre donné du système ». Il s'agit d'un outil utile pour analyser les utilisations et les pertes d'énergie d'un système (p. ex. bâtiment, processus de production).

Rappelez-vous aussi la règle : « **Si vous ne savez pas combien vous dépensez et où** 3 Vous ne pouvez pas gérer un système ou y investir à moins de savoir combien d'énergie est perdue dans le système. Encore une fois, nous revenons à la première loi de la thermodynamique : « **L'énergie ne peut être ni créée ni détruite** ».

L'action de l'homme ou des machines implique la conversion de l'énergie d'une forme d'entrée en deux ou plusieurs formes de sortie. L'une de ces formes est l'énergie utile, les autres sont des pertes d'énergie. L'objectif principal est de réduire les pertes techniques en changeant les systèmes de manière rentable.

La gestion des systèmes énergétiques doit donc tenir **compte de trois défis** :

1. Comment définir précisément le système à l'étude ?
2. Comment quantifier les flux énergétiques entrant et sortant du système ?
3. Comment sensibiliser les travailleurs à la finalité de la gestion de l'énergie ?

#### 4.3.1. Défi n° 1 : définir les limites d'un système

Rappelez-vous qu'un « système » est tout ce qui consomme de l'énergie, comme un bâtiment, une zone dans un bâtiment, un système d'exploitation, un ensemble d'équipements ou un équipement autour desquels nous pouvons tracer une frontière imaginaire. La principale préoccupation en matière de comptabilité énergétique n'est pas la zone située à l'intérieur de ce périmètre, mais plutôt les flux d'énergie qui en **franchissent la limite**. C'est de cette énergie dont il faut tenir compte et c'est pourquoi les limites du système doivent être très clairement définies.

**Tâche 3** - Expliquer quels systèmes seront évalués

Dans l'exploitation de Jane, quels systèmes évaluerons-nous ?

**4.3.2. Défi n° 2 : quantifier les flux d'énergie**

Ce deuxième défi est plus difficile à évaluer. Nous devons recueillir les données relatives aux flux d'énergie de diverses sources en tenant compte des mesures effectuées sur les équipements. Certains flux d'énergie ne peuvent pas être mesurés directement, comme mentionné dans un exemple précédent – perte de chaleur à travers un mur d'un bâtiment ou dans les systèmes d'aération par exemple : cependant, ceux-ci doivent aussi être inclus par le biais de mesures indirectes (ici, les températures intérieures et extérieures) et de calculs.

**Tâche 4** - Énumérer les documents nécessaires à la collecte de données sur l'énergie

Quels documents Jane devrait-elle utiliser pour recueillir des données sur l'énergie ?

### 4.3.3. Défi n° 3 : sensibiliser les employés

La sensibilisation des employés à la finalité de la gestion de l'énergie est le troisième défi. Le succès de la gestion de l'énergie et l'exactitude des données dépendent de la connaissance des points suivants par les employés :

- la politique, les objectifs et les cibles de l'entreprise en matière d'énergie ;
- la manière dont chacun peut contribuer à la gestion de l'énergie ;
- les informations sur la consommation d'énergie et les tendances au sein de l'entreprise ;
- la nécessité de se conformer aux exigences légales et autres ;
- les domaines dans lesquels des améliorations sont nécessaires ;
- les avantages financiers et environnementaux de la gestion de l'énergie ;
- à qui s'adresser pour obtenir de plus amples renseignements.

Pour relever ce défi, vous pouvez consulter la norme ISO 50001, qui porte sur les exigences en matière de communication interne pour une gestion efficace de l'énergie dans les entreprises agroalimentaires. Les programmes de formation sont un autre bon moyen. Ceux-ci doivent bien sûr être bien conçus pour développer les compétences nécessaires à la gestion de l'énergie chez les employés, ainsi que pour les sensibiliser à celle-ci.

## 4.4. ÉTAPES VERS L'ÉTABLISSEMENT D'UN BILAN ÉNERGÉTIQUE

**Tâche 5** - Énumérer les étapes à prendre en compte pour dresser le bilan énergétique

Quelles sont les étapes à prendre en compte pour l'établissement d'un bilan énergétique dans la pratique ?

Mieux comprendre l'importance d'un bilan énergétique pour déterminer «vous devez savoir ce que vous avez avant de pouvoir le gérer».

#### 4.4.1. Dressez la liste de tous les intrants énergétiques

##### Instructions :

Dans une feuille de calcul, essayez de **répertorier tous les intrants énergétiques utilisés dans l'exploitation** (sans lire plus loin).

Revenez à 4.2. Contexte général et lisez le scénario présenté pour l'exploitation de Jane.

Dans la Tâche 4, vous avez déjà répertorié les documents pertinents qui contiennent des données sur l'énergie. Avant de commencer la collecte et l'analyse des données, vérifiez si la documentation suivante est disponible dans l'entreprise :

- Dossiers sur la consommation d'énergie et la structure des consommateurs (p. ex. listes de machines)
- Plans, programmes, rapports d'audit, mesures, etc.
- Relevés des compteurs de la compagnie d'électricité, etc.
- Factures, factures des entreprises de services publics, de fournisseurs de combustibles, etc.

Les données sur la consommation annuelle ainsi que les coûts doivent être rassemblés séparément pour chaque type d'énergie. Ces données sont disponibles dans les factures des fournisseurs d'énergie (électricité, chauffage urbain, gaz) ou des fournisseurs de mazout de chauffage ou de diesel, ainsi que dans les registres de la station-service ou de la centrale électrique de l'entreprise, etc.

Des données doivent être collectées séparément pour les types d'énergie suivants : électricité (fournisseur d'énergie), production d'électricité en usine (hydroélectricité, photovoltaïque), gaz naturel, mazout de chauffage (lourd, léger, extra léger), carburants (diesel, essence), biomasse, énergie solaire et chauffage urbain.

Jane devra dresser la liste de tous les équipements qui consomment de l'énergie.

Pour chaque partie du processus/de la production, relevez ce qui consomme de l'énergie :

- Production : .....
- Récolte : .....
- Transport : .....
- Après la récolte : .....
- Conditionnement : .....
- Exportation : .....

**Tâche 6** - Dressez une liste des machines, des équipements et des outils consommateurs d'énergie

**Tableau 1** : Machines, équipements et outils consommateurs d'énergie

Pourriez-vous compléter ce tableau pour Jane ?

Processus	Utilisation		
	Utilisations de l'électricité	Utilisations du diesel	Utilisations de l'essence
Production			
Récoltes			
Transport			
Après la récolte			
Conditionnement			
Exportation			

Très bien, vérifiez à présent ce que vous avez écrit par rapport à ce qui a été préparé dans l'Annexe 1. Feuilles de calcul du document Excel.

#### 4.4.2. Déterminer où des quantités importantes d'énergie sont utilisées

##### Instructions

Recensez les endroits où des quantités importantes d'énergie sont utilisées. Cette fois, nous allons rendre compte du pourcentage de chaque type d'énergie consommée.

Jill recueille toutes les données sur les combustibles/carburants et l'électricité à partir des factures des services publics et des factures des fournisseurs de ces dernières années. **Elle a rassemblé les documents suivants :**



## LA COMPAGNIE D'ÉNERGIE CC

## Facture d'électricité

Numéro de facture : 1222334



Société:	Fresh and Tasty	Client:	Jane Browne
Adresse:	Bean street 4	Année de facturation:	2017

Mois	Consommation en kWh	Coûts en US \$
Janvier	17 200	2 064
Février	17 750	2 130
Mars	17 291	2 075
Avril	17 291	2 075
Mai	17 200	2 064
Juin	17 250	2 070
Juillet	17 899	2 148
Août	17 200	2 064
Septembre	17 122	2 055
Octobre	17 100	2 052
Novembre	17 129	2 055
Décembre	17 068	2 048
<b>Total</b>	<b>207 500</b>	<b>24 900</b>

Figure 2 - Facture d'électricité



## LA COMPAGNIE D'ÉNERGIE CC

### Facture de carburant

Numéro de facture : 165787888999



Société :	Fresh and Tasty	Client :	Jane Browne
Adresse :	Bean street 4	Année de facturation :	2017

Mois	Diesel en litres	Coûts en US\$	Essence en litre	Coûts en US\$
Janvier	790	790	113	124
Février	755	755	112	123
Mars	745	745	111	122
Avril	850	850	110	121
Mai	726	726	100	110
Juin	810	810	107	118
Juillet	755	755	100	110
Août	850	850	95	105
Septembre	800	800	83	91
Octobre	790	790	115	127
Novembre	795	795	109	120
Décembre	834	834	95	105
<b>Total</b>	<b>9500</b>	<b>9500</b>	<b>1250</b>	<b>1375</b>

Figure 3 - Facture de carburant

Elle utilise ensuite une simple feuille de calcul pour les lister (document Excel : « Étude de cas sur la gestion de l'énergie »).

Pour chaque intrant énergétique, nous avons relevé :

- ce que nous voulons savoir,
- la source des mesures,
- le degré de précision,
- la quantité consommée,
- le coût,
- la part de la consommation et du coût.

Jane doit utiliser le tableau ci-dessous pour saisir ces informations.

***Veillez compléter l'année 2017 en vous basant sur les données fournies dans les documents Figure 2. Facture d'électricité et Figure 3. Facture de carburant.***

Tâche 7 - Compléter le tableau de la consommation et des coûts d'énergie

Tableau 2: Tableur A 3-1- section 1

Pourriez-vous compléter ce tableau pour Jane ?

Intrants énergétiques		Source d'énergie		Électricité	Diesel	Essence	Total
Mesure	Exactitude	Unité					
				kWh <sup>1</sup>	litre	litre	
				Factures de services publics	Facture	Facture	
				Haute	Haute	Haute	
	Consommation		2014	204 765	8 000	900	
			2015	203 498	8 500	1 100	
			2016	206 751	9 000	1 000	
			2017	.....	.....	.....	
			2014	16 381	5 600	720	
			2015	18 315	6 800	990	
			2016	22 743	8 100	1 000	
			2017	.....	.....	.....	
	Coûts [US\$]		2014	70,1 %	27,1 %	2,7 %	100 %
			2015	68,4 %	28,3 %	3,3 %	100 %
			2016	67,9 %	29,2 %	2,9 %	100 %
			2017	.....	.....	.....	100 %
			2014	72,2 %	24,7 %	3,2 %	100 %
			2015	70,2 %	26,0 %	3,8 %	100 %
			2016	71,4 %	25,4 %	3,1 %	100 %
			2017				100 %

Afin d'encore mieux comparer les différentes unités d'énergie, celles-ci peuvent être converties en kWh à l'aide de facteurs de conversion communs :

Tâche 8 - Calculer la consommation en kWh

Pourriez-vous compléter ce tableau pour Jane ?

Tableau 3: Tableur A 3-1- section 2

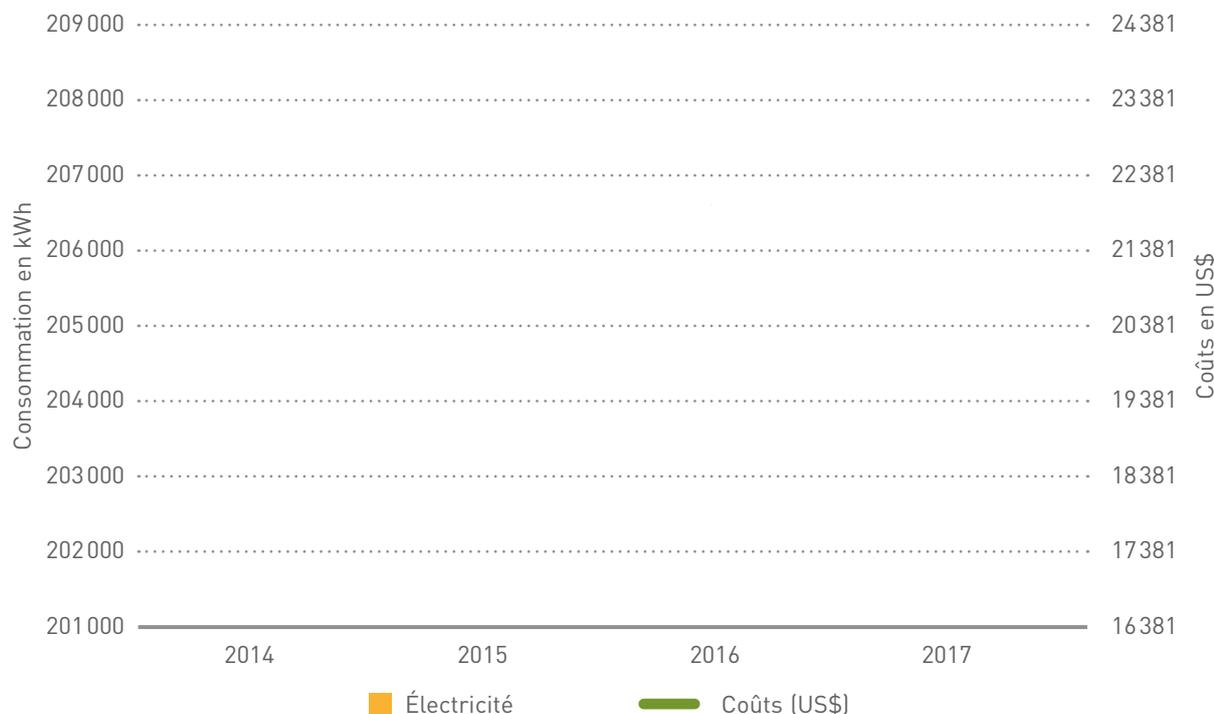
Consommation [kWh]						
Source d'énergie	Unité	Facteur de conversion <sup>38</sup> en kWh	2014	2015	2016	2017
Électricité	kWh	1	204 765	203 498	206 751	.....
Diesel	Litre	9,9	79 200	84 150	89 100	.....
Essence	Litre	8,85	7 965	9 735	8 850	.....
<b>Total</b>			<b>291 930</b>	<b>297 383</b>	<b>304 701</b>	.....

Jane doit tracer un diagramme à barres pour la période 2014-2017. Celui-ci représentera à la fois la consommation d'énergie en kWh et les coûts en dollars américains.

Tâche 9 - Créer un diagramme à barres pour la consommation d'énergie et les coûts de l'énergie

Créez un diagramme à barres avec les informations que Jane a saisies.

**ÉLECTRICITÉ (SANS PUISSANCE DE CRÊTE NI DE REDRESSEMENT):  
CONSOMMATION ET COÛTS**

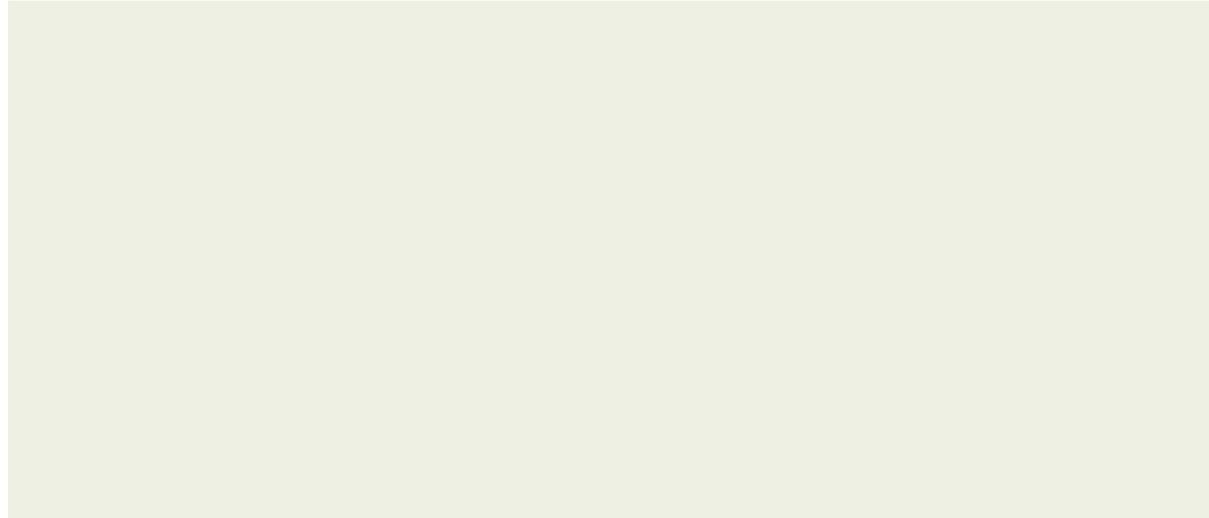


Graphique 1. Tableur A 3-1- section 3

8 Source : Gemis Datenbank 4.81 (2013).

Tâche 10 - Tirer des conclusions du diagramme à barres

Quelles conclusions peut-elle tirer de ce diagramme à barres ?

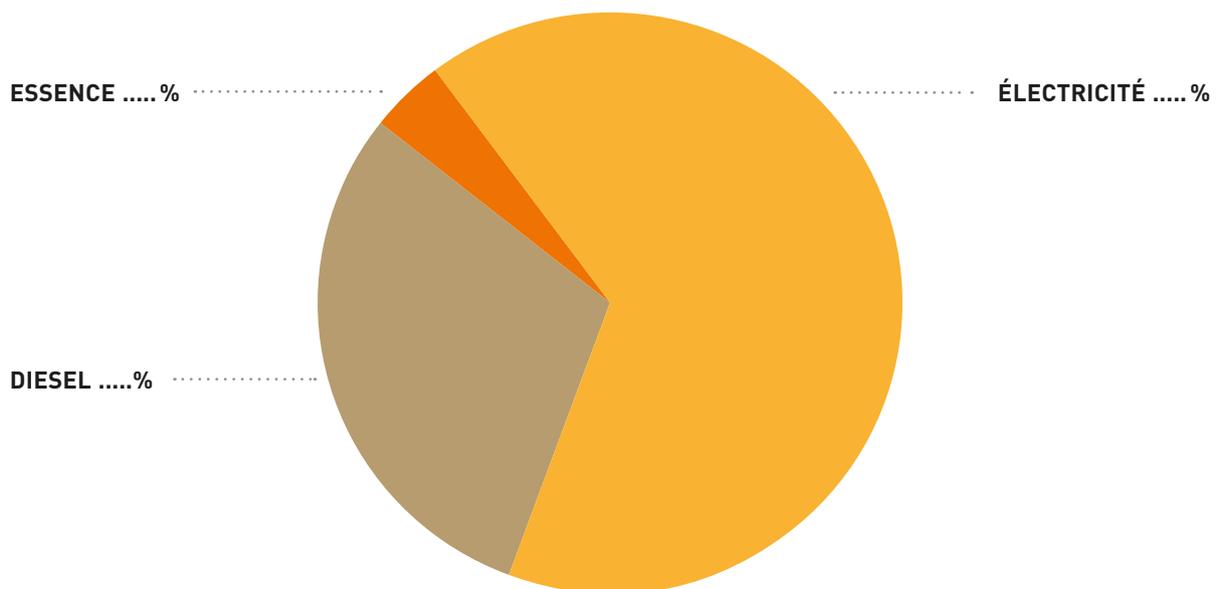


Jane a besoin de savoir quelle est la part de la consommation pour déterminer la plus grande part parmi les intrants énergétiques. Pour cela, elle doit faire un diagramme circulaire par année.

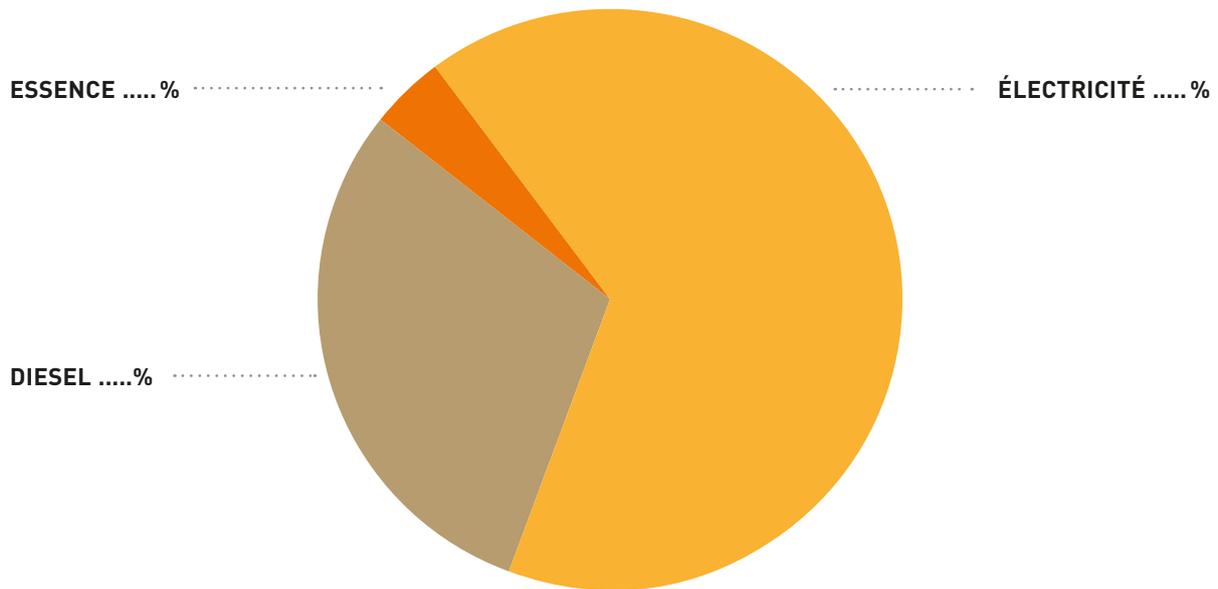
Tâche 11 - Créer un diagramme circulaire pour la consommation d'énergie et les coûts énergétiques

Créez un diagramme circulaire avec les informations que Jane a saisies.

PART DE LA CONSOMMATION (2017)



## PART DES COÛTS (2017)



Graphique 2. Tableur A 3-1- section 4

## Tâche 12 - Conclusions du diagramme circulaire

Quelles conclusions Jane peut-elle tirer du diagramme circulaire ?

#### 4.4.3. Calculer la quantité d'énergie utilisée par équipement

Grâce aux diagrammes établis précédemment, Jane sait que l'électricité est la plus grosse dépense énergétique de l'entreprise. Elle constate également que sa consommation d'électricité n'a cessé d'augmenter ces dernières années et que ses dépenses ont également été revues à la hausse, alors que les dépenses pour le diesel et l'essence sont beaucoup plus faibles et ont augmenté de façon plus modérée. Ainsi, Jane peut déjà dire que sa priorité sera d'examiner sa consommation électrique – qu'est-ce qui consomme combien d'électricité ?

### Où l'énergie est-elle utilisée ?

Les principales utilisations de l'énergie sont les machines, les équipements et les outils qui utilisent réellement l'énergie d'entrée – électricité, combustibles, carburants, chaleur – pour effectuer des travaux, par exemple les moteurs électriques, les pompes à eau ou les chaudières à chaleur pour fournir de l'eau chaude. Pour faciliter la saisie des données, les feuilles de calcul A3-3 à A3-9 (Annexe 1. Feuilles de calcul du document Excel) fournissent des listes pour les applications les plus courantes. Vous devriez surveiller la puissance nominale et les heures à pleine charge. Si nécessaire, estimez-les pour les petites machines, les grandes machines sont généralement équipées de compteurs d'heures de fonctionnement. Calculez ensuite la consommation totale et attribuez cette valeur aux groupes de consommateurs et aux applications spécifiques. Utilisez la colonne « Notes » pour consigner les détails relatifs aux mesures d'économie d'énergie et les travaux de renouvellement ou d'entretien nécessaires recensés lors de la collecte des données.

Jane veut savoir où l'énergie – en particulier l'électricité – est utilisée, parce que c'est le facteur de coût le plus élevé.

#### Tâche 13 - Déterminer la consommation d'énergie

##### Comment Jane pourrait-elle faire cela ?

Dans un document Excel « Étude de cas sur la gestion de l'énergie », la feuille de calcul A3-2 présente les principales utilisations de l'énergie, leur puissance nominale, leurs heures de fonctionnement et leur consommation. À partir de ses dossiers, elle a été en mesure de répertorier tout l'équipement consommateur d'énergie et de calculer le nombre d'heures de fonctionnement par année par équipement. Au final, un total d'au moins 80 % de l'énergie consommée doit être pris en compte. Il est important de distinguer les consommateurs en fonction de leurs applications.

**Pouvez-vous l'aider à calculer la consommation annuelle, la part du total, la consommation totale d'énergie et l'apport énergétique total ?**

Tâche 14 - Calculer la consommation en kWh/an, y compris la part du total, la consommation d'énergie et les intrants

Tableau 4 : Consommation d'énergie importante - Tableur A 3-2- section 1

Utilisation	Puissance nominale [kW]	Coefficient de charge moyen [%]	Heures/jour	Jours/année	Heures/année	Consommation [kWh/an]	Part du total
<b>Utilisations de l'électricité</b>						.....	.....
Congélateurs produits 1+2	8	60 %	8	250	2000	.....	.....
Tunnel de congélation	50	60 %	6	250	1500	.....	.....
Chambre froide <sup>9</sup>	15	70 %	24	365	8760	.....	.....
Ordinateurs 1+2	1	50 %	24	300	7200	.....	.....
Éclairage	15	100 %	14	250	3500	.....	.....
Petit équipement pour le tri, le classement et l'emballage <sup>10</sup>	1	70 %	8	200	1600	.....	.....
Pompe à eau 1 (électrique)	2,5	70 %	6	200	1200	.....	.....
Pompe à eau 2 (électrique)	2	70 %	4	200	800	.....	.....
Congélateur CA dans la cantine	2	60 %	2	200	400	.....	.....
<b>Utilisations de carburant</b>	<b>Puissance nominale [kW]</b>	<b>Coefficient de charge moyen [%]</b>	<b>Litres/jour</b>	<b>Jours/année</b>	<b>Litres/an</b>	<b>Consommation [kWh/an]</b>	<b>Part du total</b>
Débroussailleuses 1+2 (essence)	3,8	100 %	3	250	750	.....	.....
Pompe à eau 1 (diesel)	2	100 %	4	250	1000	.....	.....
Pompe à eau 2 (diesel)	2	100 %	2	250	500	.....	.....
Réchauds 1, 2, 3 (essence)	2	100 %	2	250	500	.....	.....
Tracteur 1 (diesel)	90	100 %	15	250	3750	.....	.....
Tracteur 2 (diesel)	75	100 %	10	250	2500	.....	.....
Petit camion frigorifique 3 (diesel)	55	100 %	7	250	1750	.....	.....
Électricité totale						.....	.....
Total carburants/combustibles						.....	.....
Année	2017	<b>CONSOMMATION TOTALE D'ÉNERGIE</b>				.....	.....
<b>APPORT ÉNERGÉTIQUE TOTAL</b>						.....	.....
<b>Part de la consommation totale d'énergie (%)</b>						100 %	.....

9 Chambre froide (petite échelle, construite par le propriétaire) 40 m<sup>2</sup>/ 360 kWh par jour.

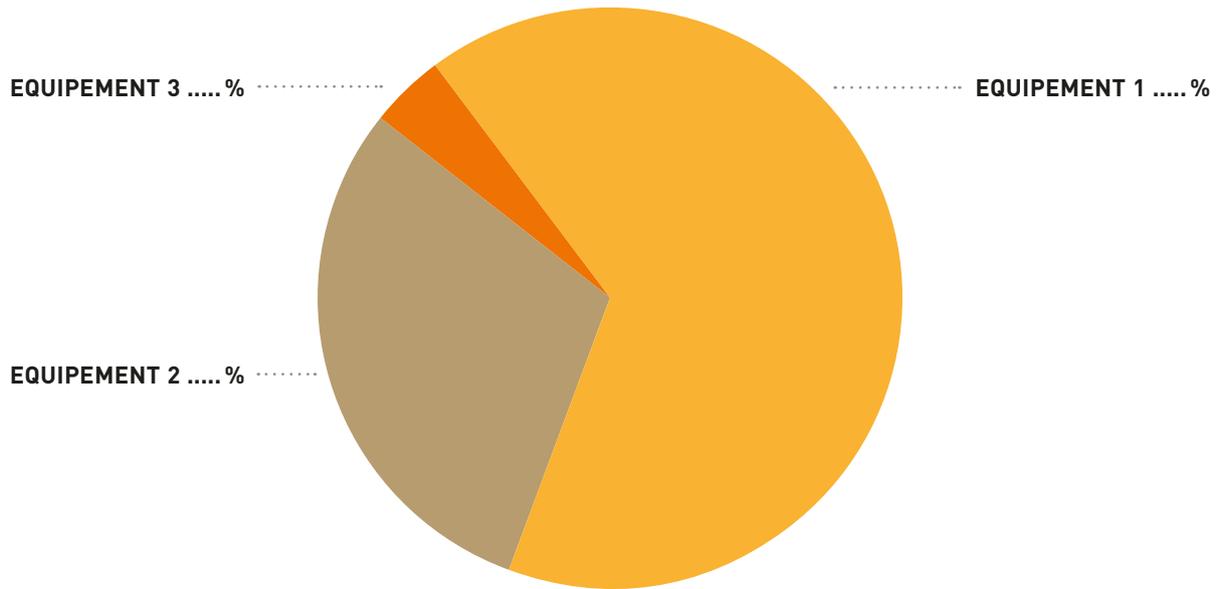
10 16 kWh/jour pour le petit matériel de tri, de classement et d'emballage.

Jane a besoin de savoir où va l'énergie. Pour cela, elle doit faire un diagramme circulaire par année.

**Tâche 15** - Faire un diagramme circulaire pour la consommation d'électricité et de combustible

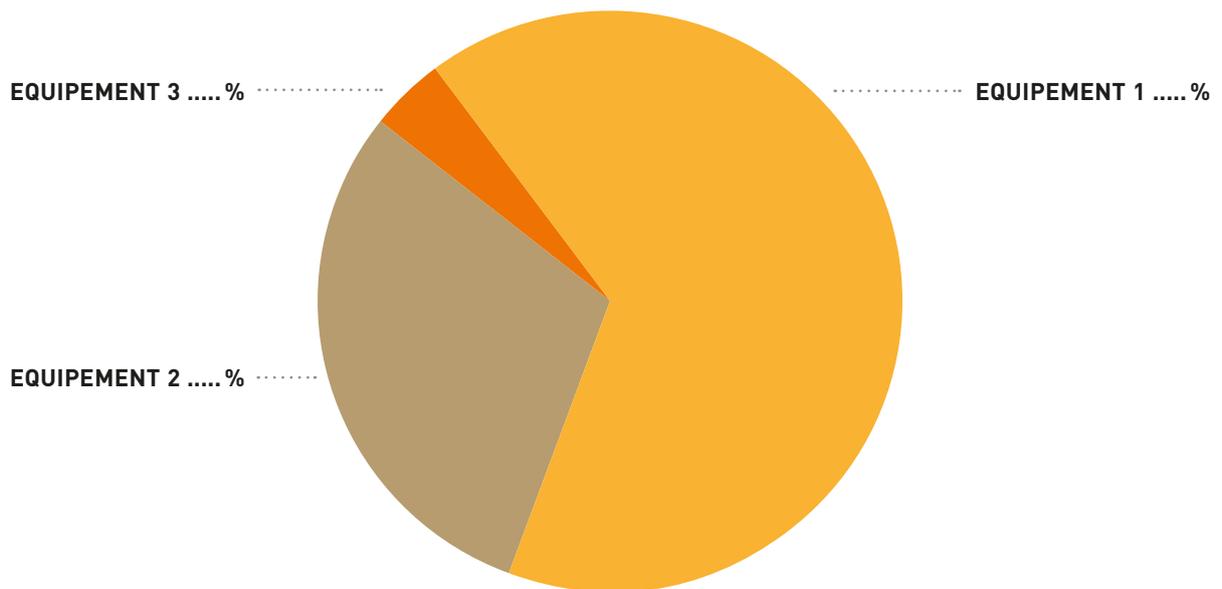
Créez un diagramme circulaire avec les informations que Jane a saisies.

**CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ (2017)**



Graphique 3. Consommation d'électricité - Tableur A 3-2- section 2

**CONSOMMATION DE CARBURANT (2017)**



Graphique 4. Consommation de carburant/combustible - Feuille de calcul A 3-2- section 2

## Tâche 16 - Tirer des conclusions du diagramme circulaire

Quelles conclusions Jane peut-elle tirer du diagramme circulaire ?

#### 4.4.4. Déterminer les indicateurs de performance énergétique particuliers

Pour l'évaluation de la consommation d'énergie d'une entreprise, des valeurs de référence, appelées indicateurs de performance énergétique (EnPI), sont essentielles. Ces indicateurs peuvent varier considérablement selon le type d'énergie ou les caractéristiques de l'entreprise. Les valeurs de référence typiques sont le volume de production, le chiffre d'affaires, le nombre d'employés, la surface chauffée, le volume transporté, le kilométrage, etc.

Tableau 5 : Valeurs de référence

Valeurs de référence		2014	2015	2016	2017
Nombre de salariés	personnes	8	8	10	11
Superficie de l'exploitation	ha	10	10	12	15
Jours ouvrables par an	jours	250	250	250	250
Quantité produite	tonnes	200	200	220	231

Chaque entreprise doit s'efforcer de réduire sa consommation d'énergie spécifique. Pour les entreprises en expansion, les tendances de référence sont un indicateur fiable de l'efficacité énergétique, alors que la consommation globale d'énergie n'est pas vraiment significative.

La **situation énergétique** d'une entreprise peut être analysée et contrôlée sur la base de sa consommation d'énergie spécifique.

**Tâche 17** - Énumérer les points à prendre en considération pour ce qui a trait à la consommation d'énergie de l'entreprise

Quels sont les points à prendre en compte dans cette situation ?

Les EnPI sont des outils parfaits pour surveiller la consommation d'énergie d'une entreprise. Si on le fait régulièrement – disons tous les mois – on peut facilement déceler les écarts par rapport au maintien du *statu quo*. Vous pouvez utiliser le tableau Excel A3-12 (Annexe 1. Feuilles de calcul du document Excel) pour établir et enregistrer les EnPI.

Jane sait maintenant combien d'énergie est consommée, combien elle a dépensé en énergie et où l'énergie est utilisée. De plus, elle sait que la consommation d'énergie a augmenté au cours des dernières années.

Cette augmentation de la consommation d'énergie peut bien sûr être appropriée parce que l'entreprise a produit plus (production plus élevée = consommation d'énergie plus élevée). Cependant, Jane n'est pas certaine de la cause réelle de ce phénomène. Pour déterminer la cause de l'augmentation de sa consommation d'énergie, Jane établit un ensemble d'EnPI. **Pourriez-vous aider Jane en calculant les EnPI Consommation d'énergie et Coûts énergétiques dans le tableau ci-dessous ?**

Tâche 18 - Calculer les EnPI Consommation d'énergie et Coûts

Tableau 6 : EnPI Consommation d'énergie

Pourriez-vous compléter ce tableau pour Jane ?

	Unité	Quantité							Coûts[US\$]				
Énergie		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Électricité	kWh	204 765	203 498	206 751	207 500	.....	.....	16 381	18 315	22 743	24 900	.....	.....
Essence	kWh	7 965	9 735	8 850	11 063	.....	.....	5 600	6 800	8 100	9 500	.....	.....
Diesel	kWh	79 200	84 150	89 100	94 050	.....	.....	720	990	1 000	1 375	.....	.....
EnPI Consommation d'énergie	kWh/tonne	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
EnPI Coûts énergétiques	US\$/tonne	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

#### 4.4.5. Élaborer un plan d'action énergétique

##### 4.4.5.1. Détermination de solutions appropriées pour économiser l'énergie

Plus tôt, nous avons parlé de l'importance d'enregistrer et de documenter les données énergétiques des équipements et des machines. Sur la base des données collectées, leurs coûts énergétiques respectifs peuvent être calculés et répartis entre les différents consommateurs. De cette façon, les services concernés peuvent déterminer le potentiel d'économie.

Les fournisseurs donnent souvent des valeurs de référence de la consommation d'énergie des installations et des équipements (par exemple l'efficacité des chaudières, la consommation d'énergie des équipements frigorifiques, etc.). En comparant ces données à celles que vous avez recueillies, vous pouvez déterminer si votre machine fonctionne en-dessous ou au-dessus de son rendement nominal. Avec des machines de plus de cinq à dix ans d'âge, par exemple, il est possible d'économiser des quantités considérables d'énergie en installant de nouvelles technologies microélectroniques et de capteurs (par exemple, des convertisseurs de fréquence pour la régulation de vitesse).

En fonction de la structure de consommation, les mesures d'économie d'énergie peuvent être classées par ordre de priorité et des directives d'achat peuvent être établies. Les mesures potentielles d'efficacité énergétique (MEE) devraient être documentées sous la forme d'un plan d'action énergétique, voir le tableau Excel A3-0 (Annexe 1. Feuilles de calcul Document Excel).

Jane veut savoir dans quelle mesure l'équipement est écoénergétique et comment les coûts énergétiques peuvent être réduits.

Tâche 19 - Dresser la liste des principaux équipements à examiner

Quels sont les 3 principaux équipements sur lesquels Jane doit enquêter en premier ?

1.

2.

3.

## Tâche 20 - Déterminer les possibilités d'économies d'énergie

## Comment pourrait-elle économiser de l'énergie ?

1.

2.

3.

Rédigez vos conseils pour Jane avant de poursuivre la lecture.

Pour cela, elle commence par les plus grands « consommateurs d'énergie » ; comme nous l'avons vu précédemment, l'électricité représente la plus grande part des coûts énergétiques. Les plus gros consommateurs sont :

- A. la chambre froide,
- B. l'éclairage,
- C. le tunnel de congélation.

## Tâche 21 - Déterminer les gros consommateurs d'énergie : A. Chambre froide

Jane commence par la chambre froide. Elle fait 40 m<sup>2</sup> et l'air froid y est fourni par une unité centrale de climatisation d'une puissance de 15kW. La température de la chambre froide est réglée sur 2 °C. L'unité de climatisation est relativement récente puisqu'elle a été installée il y a seulement deux ans.

Jane a une bonne impression de l'efficacité de l'unité de climatisation. Cependant, elle pense que le réglage de la température de 2 °C pourrait être inutilement bas. Habituellement, la température optimale de stockage pour ce type de haricots est de 7 °C. Comme elle a appris qu'une augmentation de la température de refroidissement de seulement 1 °C permet une économie d'énergie électrique de 4 %, elle veut faire passer la température de consigne de 2 à 7 °C.

Au total, cela donnerait une économie d'énergie de .....°C x ..... % = ..... % de la consommation du climatiseur.

Comme Jane l'a découvert plus tôt, la consommation du climatiseur est de ..... kWh par an. Une baisse de 20 % de ce volume représenterait une économie d'énergie de ..... kWh par an. Avec un tarif d'électricité de 0,12 \$/kWh, cela se traduirait par une économie d'énergie de ..... \$ par an – gratuitement, car aucun investissement n'est nécessaire pour cela!

Tâche 22 - Recenser les gros consommateurs d'énergie : B. Éclairage

Jane est si heureuse d'avoir trouvé sa première économie d'énergie qu'elle continue son « enquête » sur les autres gros consommateurs d'énergie. Elle examine le système d'éclairage de la zone de stockage des emballages, d'environ 300 m<sup>2</sup>. La zone est éclairée par 20 lampes au mercure haute pression de 450 W chacune. Jane sait que les lampes sont anciennes et elle soupçonne qu'elles sont utilisées depuis au moins 20 ans. La lumière qu'elles donnent n'est plus adaptée à un espace de travail, elles sont devenues très sombres. Jane aimerait opter pour la toute dernière technologie écoénergétique à DEL. Toutefois, elle n'est pas certaine qu'un tel investissement sera rentable à terme.

La puissance installée des lampes est de ..... lampes x ..... W = ..... W ou ..... kW. Leur durée de fonctionnement annuelle est de 3 500 heures.

La consommation annuelle d'électricité est donc de ..... kW x ..... h = ..... kWh. Avec un tarif d'électricité de 0,12 \$/kWh, les coûts énergétiques annuels sont de ..... US\$.

Jane sait maintenant qu'elle peut remplacer les anciennes lampes par des DEL. Une lampe à DEL coûte 350 US\$. Habituellement, une lampe de 450 W peut être remplacée par une lampe à DEL de 150 W à quantité de lumière égale, et même avec une luminosité bien meilleure. Ainsi, les lampes à DEL n'auraient qu'une puissance de ..... lampes x ..... W = ..... W ou ..... kW et ne consommeraient que ..... kW x ..... h = ..... kWh par an. Leurs coûts énergétiques seraient de ..... US\$, ce qui représenterait une économie de ..... US\$ par année.

Calculer les coûts électriques des lampes anciennes et des neuves ?

Tableau 7 : Coûts totaux de l'énergie et de la puissance des lampes anciennes par rapport aux lampes neuves

	Qté	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heures)	Énergie (kWh)	Tarif (\$)	Coûts électriques (\$)
Lampes anciennes	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Nouvelles lampes	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b>Économies</b>						.....

**Pourriez-vous calculer le coût de remplacement des lampes, y compris les économies ?**

Cependant, l'énergie n'est qu'un des facteurs de coût de l'éclairage. Jane a remarqué qu'elle devait remplacer quatre des anciennes lampes par an en raison de leur âge. Une lampe coûte 80 US\$. La durée de vie des DEL est plus du double de celle des vieilles lampes. Les coûts de remplacement annuels de ..... US\$, en ce compris les coûts d'électricité (voir Tableau 7) de ..... US\$ sont au total de ..... US\$ pour les anciennes lampes, contre ..... US\$ pour les lampes à DEL.

Pourriez-vous calculer les coûts d'entretien des anciennes et des nouvelles lampes, y compris les économies réalisées ?

**Tableau 8 :** Entretien des lampes anciennes par rapport aux lampes neuves

	Durée de vie	Prix (\$)	Remplacement	Coût d'entretien (\$) p.a.
Lampes anciennes	.....	.....	.....	.....
Nouvelles lampes	.....	.....	.....	.....
<b>Économies</b>				.....

**Pourriez-vous calculer les économies totales ?**

**Tableau 9 :** Réduction des coûts totaux

	Énergie totale (kWh)	Coûts totaux (\$)
Lampes anciennes		
Nouvelles lampes		
Économies		
Pourcentage		

**Pourriez-vous calculer la période de retour sur investissement ?**

Au total, l'économie annuelle serait de ..... US\$. Il s'agit d'une réduction de ..... %. Jane peut calculer la période de retour sur investissement simple. Comme nous l'avons déjà mentionné, le coût d'une lampe à DEL est de 350 \$. Le coût d'installation des 20 lampes à DEL est de 500 US\$. L'investissement total qui comprend le coût d'installation est de ..... US\$. En divisant l'investissement total par les économies annuelles, elle peut calculer la période de retour sur investissement. Veuillez calculer la période de retour sur investissement dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10 : Période de retour sur investissement

	Qté	Prix (\$)	Installation (\$)	Investissement (\$)
Nouvelles lampes	.....	.....	.....	.....
				<i>Divisé par les économies (\$)</i> .....
				Période de retour sur investissement (ans) .....

Quelle conclusion Jane peut-elle tirer du calcul de la période de retour sur investissement ?

Tâche 23 - Recenser les gros consommateurs d'énergie : C. Tunnel de congélation

Bien que les tunnels de congélation utilisés soient assez modernes, Jane veut quand même vérifier à quel point ils sont efficaces. Que pensez-vous de l'efficacité énergétique des tunnels de congélation de Jane ?

#### 4.4.5.2. Détermination de solutions appropriées pour économiser le carburant et les combustibles

##### A. Nouveau camion de livraison

Jane téléphone à la coopérative de producteurs de haricots pour voir si elle peut proposer un «camion coopératif» à tous les petits agriculteurs des environs. Ils sont intéressés, mais ils auraient besoin que chaque agriculture de la coopérative verse chaque mois une somme de 50 \$ pendant les cinq prochaines années à titre de frais de location ; le carburant et l'entretien seraient inclus. Jane se fait la réflexion suivante ; elle dépense 316 \$ en carburant par année, plus environ 500 \$ pour l'entretien et les pièces de rechange. Si elle pouvait vendre le camion pour 1 000 \$, elle aurait un excédent de 1 816 \$ la première année.

**Tâche 24** - Calculez le gain financier ou la perte financière à la fin de la cinquième année.

Quels seraient le gain ou la perte financiers à la fin de la cinquième année ?

##### B. Remplacer l'ancien tracteur

Le vieux tracteur diesel a 20 ans et, avec un moteur de 120 CH (90 kW), il n'est pas assez puissant pour des charges supérieures à deux tonnes. Cependant, Jane aura bientôt besoin d'un tracteur plus gros en raison de l'agrandissement prévu de l'exploitation.

Avant de demander une offre pour un nouveau tracteur, Jane analyse à nouveau la consommation du tracteur (voir Tableau 4. Consommation d'énergie importante - Tableur A 3-2- section 1). Elle peut voir sur ce tableau que le tracteur consomme 3 750 litres de diesel par an. Jane examine une section d'un rapport ci-dessous sur le tracteur qui indique une consommation moyenne de carburant :

Performance à la prise de force					
Puissance (kW)	Vitesse du vilebrequin (t/min.)	Gal/br (l/h)	Lb/ch.h (kg/kW.h)	Ch.h/gal (kW.h/l)	Conditions atmosphériques moyennes
Puissance et consommation maximales					
Régime nominal du moteur (vitesse PTO – 1 006 t:min.)					
115,96 (86,47)	2 100	6,82 (25,82)	0,413 (0,251)	17,00 (3,35)	
Puissance maximale (2 heures)					
117,27 (87,45)	1 801	6,51 (24,66)	0,390 (0,237)	18,00 (3,55)	
Puissance et consommation variables					
115,96 (86,47)	2 100	6,82 (25,82)	0,413 (0,251)	17,00 (3,35)	Température ambiante 75 °F (24 °C)  Humidité relative 47 %  Baromètre 28,86" HG (97,73 kPa)
102,08 (76,12)	2 170	6,33 (23,95)	0,435 (0,265)	16,13 (3,18)	
77,46 (57,76)	2 202	5,26 (19,91)	0,476 (0,290)	14,73 (2,90)	
52,03 (38,81)	2 233	4,28 (16,18)	0,576 (0,351)	12,17 (2,40)	
26,27 (19,59)	2 257	3,12 (11,81)	0,834 (0,507)	8,42 (1,66)	
1,03 (0,77)	2 267	2,05 (7,77)	13,915 (8,464)	0,50 (0,01)	
<p>Couple maximal 407 lb/pi (552 Nm) à 1 247 t/min.                      Élévation maximale du couple 40,3 %                      Élévation du couple à 166 t/min (moteur) 24 %</p>					

Source : [http://pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs\\_ext\\_vt\\_vt\\_edu/442/442/442-073/442-073-073\\_pdf.pdf](http://pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_vt_edu/442/442/442-073/442-073-073_pdf.pdf)

## Tâche 25 - Conseiller Jane pour l'achat d'un nouveau tracteur

En ce qui concerne l'achat d'un nouveau tracteur, que conseilleriez-vous à Jane ?

Ci-dessous quelques questions d'orientation supplémentaires :

- Quelle procédure suivriez-vous pour prendre une décision ?
- Quels sont les avantages d'un tracteur neuf ?
- Qu'en est-il des émissions de CO<sub>2</sub> ?

#### 4.4.5.3. Énergies renouvelables

Plus Jane étudie les moyens d'économiser l'énergie, plus elle pense à un point particulier.

Au moins 3 fois par semaine, l'exploitation n'a pas d'électricité pendant 4-6 heures et parfois plus. Cela provoque la décongélation des produits congelés, ce qui compromet la qualité du produit et finit par entraîner sa détérioration. Même la qualité et la durée de conservation des laitues et poivrons frais entreposés au froid diminuent. La perte de produits et surtout les pertes financières sont un énorme problème pour cette entreprise familiale. Les pertes financières sont d'environ 20 000 \$ par an.

Jane a appris par un ami qu'il utilisait de l'énergie renouvelable pour produire de l'électricité dans son exploitation. Ils ont discuté du problème des pannes d'électricité de Jane, et son ami lui recommande d'utiliser de l'énergie renouvelable pour garder la chambre froide active pendant les pannes d'électricité, afin que les produits ne pourrissent pas.

## Tâche 26 - Recommander une source d'énergie renouvelable

Quelle source d'énergie renouvelable recommanderiez-vous à Jane ?

## Tâche 27 - Expliquez quels sont les avantages de l'énergie photovoltaïque.

Pourriez-vous informer Jane des avantages de l'énergie photovoltaïque ?

Jane se demande quelle quantité d'électricité solaire serait possible dans son exploitation et combien cela coûterait. Les facteurs qui pourraient avoir une incidence sur sa décision sont les suivants :

- Quel montant devrait-elle investir dans un système photovoltaïque ?
- De combien d'espace dispose-t-elle pour son développement ?
- Son fournisseur de services publics a-t-il des limites de capacité qui restreignent la taille de son système ?
- A-t-elle des projets d'agrandissement de l'exploitation qui nécessiteraient l'ajout d'équipements électriques ou de bâtiments ?
- Sa consommation d'électricité est-elle relativement constante ou variable ?
- Doit-elle fournir de l'électricité pendant la nuit ?
- Peut-elle réduire sa demande d'électricité en déployant l'efficacité énergétique ?

Bien que l'on puisse vouloir produire toute son électricité au moyen du soleil, de nombreux propriétaires de systèmes photovoltaïques commencent par un petit système pour compléter leur alimentation principale en électricité. Un petit système signifie moins de coûts initiaux et la possibilité d'évaluer la capacité de production nécessaire. De plus, la production d'une fraction de sa consommation est plus économique, en termes de kWh, que d'en produire près de 100 %.

Jane décide d'opter pour un système qui peut fournir l'électricité nécessaire pour la chambre froide. Cependant, il arrive parfois que la panne de courant se produise la nuit, lorsque le soleil ne brille pas. Heureusement, l'énergie solaire du soleil peut aussi être stockée dans des batteries. Le système solaire charge les batteries pendant la journée et, la nuit, l'électricité sera tirée des batteries pour alimenter la chambre froide. Les systèmes solaires avec batteries sont plus chers, mais l'avantage pour Jane est sûrement plus élevé.

#### Tâche 28 - Demande de la chambre froide

Comme nous le savons depuis la Tâche 14. Calculer la consommation en kWh/an, y compris la part du total, la consommation d'énergie et les intrants

Tableau 4, la demande de la chambre froide est de ..... kWh par an. Cependant, grâce à l'audit énergétique, Jane a déjà réduit cette demande en augmentant la température de consigne. Ainsi, la demande requise se réduit à ..... kWh.

#### Tâche 29 - Estimer les propriétés du système solaire

Fort de ce chiffre, l'expert peut faire son travail en fournissant une offre pour le système solaire. Les étapes de l'estimation des propriétés du système sont les suivantes :

Tableau 11 : Estimation d'un système photovoltaïque

Étape	Données	Calculs
1	Établir les kWh annuels qui seront couverts par le système solaire	..... kWh
2	Soustraire les kWh réduits par la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique sur l'équipement	..... kWh
3	Trouver le rayonnement solaire sur place	Pour Paramaribo, au Suriname, il est de 1 600 kWha/kW
4	Calculer la puissance du système solaire en divisant la demande par le rayonnement solaire	Puissance = (Étape 1 - Étape 2) / Étape 3 = ..... kW
5	Multiplier par 1,2 pour couvrir les inefficacités du système	..... kW X 1,2 = ..... kW
6	Sélectionner les panneaux solaires et noter leur capacité	L'expert a choisi des panneaux de 250W
7	Diviser par la capacité en kW de chaque panneau solaire	Étape 5 * 1 000 / 250 W = ..... panneaux nécessaires
8	Calculer l'espace nécessaire pour installer les panneaux solaires	Environ 10 m <sup>2</sup> pour chaque kW Étape 5 * 10 m <sup>2</sup> = ..... m <sup>2</sup> de surface nécessaire

Il ne s'agit là que d'une estimation très rudimentaire ; l'expert l'aura faite à l'aide d'un logiciel de modélisation approprié.

Tableau 12 : Prix du marché des équipements photovoltaïques  
[source : NREL, 2017]

	Échelle utilitaire >1 MW	Commercial >100 kW	Résidentiel <100 kW
Dont panneaux, onduleur, matériel BOS, main d'œuvre d'installation (hors terrain, taxes, frais généraux)	800 US\$/kW	1 250 US\$/kW	1 800 US\$/kW
Dont éléments ci-dessus + batteries	2 000 US\$	2 600 US\$	3 200 US\$

Les coûts du système peuvent être estimés à l'aide du tableau ci-dessus : il s'agit des prix du marché international. Il est bien sûr préférable de trouver un fournisseur local qui peut vous donner un devis.

## Tâche 30 - Estimer le coût du système

Tableau 13 : Estimation du coût du système

Étape	Données	Calculs
1	Estimer l'investissement nécessaire	D'après le tableau ci-dessus, un système de 55 kW avec batteries coûterait ..... kW X ..... US\$/kW = ..... US\$
2	Si une subvention est disponible, déduisez-la	0
3	Calculez l'économie d'énergie	Le système solaire fournit ..... kWh par an ; le tarif de l'électricité est de 0,12 \$ par kWh ; l'économie d'énergie est donc de ..... US\$ par an
4	Existe-t-il d'autres économies de coûts, par exemple par l'optimisation de la production, etc. ?	Le système solaire fournira de l'électricité lorsque le réseau électrique est indisponible ; ainsi, la perte de production de 20 000 \$ par année sera évitée.
5	Calculez la période de retour sur investissement	..... US\$ / (..... US\$ +..... US\$) = ..... ans

La période de retour sur investissement simple du système serait de ..... ans. Comme les panneaux solaires ont une garantie d'au moins 25 ans, c'est un bon investissement. Selon l'augmentation des prix de l'électricité et du carburant, la période de retour sur investissement pourrait même être beaucoup plus courte.

#### 4.4.5.4. Plan d'action énergétique

Jane et son personnel ont trouvé d'autres possibilités d'économiser de l'énergie et des coûts. Elle les documente dans son plan d'action énergétique pour suivi et planification ultérieurs. **Veillez aider Jane à compléter ce plan d'action à l'aide des informations contenues dans le document Excel : « Étude de cas sur la gestion de l'énergie » – Tableur A3-0 :**

Tâche 31 - Élaborer un plan d'action énergétique

Tableau 14: Plan d'action pour l'énergie

Sujet	Action (A)	Responsable	Date limite	Investissement (US\$)	État	Économies			Retour sur investissement [années]
						ÉNERGIE (kWh)	CO <sub>2</sub> (tonnes)	BÉNÉFICE (US\$)	
Réfrigération	Augmenter la température de consigne de 2 à 7 °C dans la chambre froide.	Jane	Mai 2017	0	100 %	.....	10,4	.....	.....
Éclairage	Remplacer 20 vieilles lampes à halogénures métalliques par des lampes à DEL.	Le mari de Jane	Oct. 2017	7000	75 %	.....	11,9	.....	.....
Ventilation	Moderniser les deux moteurs de ventilateur de 7,5 kW en les dotant d'un variateur de vitesse (VV)	Jane	Déc. 2017	3000	50 %	.....	8,5	.....	.....
Transport	Vérifier si la coopérative de producteurs de haricots peut fournir un nouveau camion de livraison pour toutes nos petites exploitations afin que nous puissions vendre notre camion frigorifique et économiser le carburant	Le père de Jane	1 <sup>er</sup> févr. 2018	0	0 %	.....	2,3	.....	.....
Transport	Notre tracteur a presque 20 ans et est trop petit pour nos projets d'expansion – demander une offre à « Brunos Tractor Sales & Repair » pour un tracteur neuf et plus gros (il consommera peut-être moins de carburant ?!)	Le père de Jane	15 févr. 2018	ne peut pas encore dire	0 %	.....		.....	.....

Énergies renouvelables	« Smith Solar Works » nous a fait une proposition portant sur l'utilisation d'un système PV de 55 kW pour alimenter la chambre froide - nous pouvons réduire nos pertes de production!	Jane	30 mars 2018	175,161	50 %	.....	41,2	.....	.....
Sensibilisation	Il y a de jolis autocollants à télécharger qui disent « Éteignez les lumières » et « Gardez les portes fermées » et autres conseils pour économiser l'énergie - nous devrions en mettre pour que tout le personnel se souvienne d'être attentif à l'énergie!	Jane	1 <sup>er</sup> janv. 2018	50	0 %	.....	1,1	.....	.....
	<b>Total</b>			....		....	75		.....

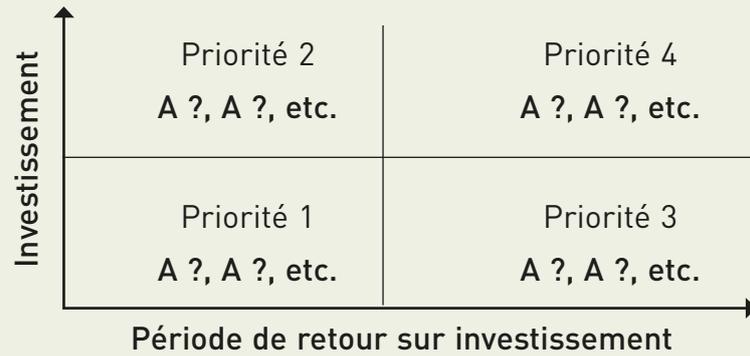
Il est important de se fixer des priorités lors de la mise en œuvre de mesures d'économie d'énergie - on ne peut pas tout faire d'un coup!

- Priorité 1 : faible investissement, période de retour sur investissement réduite
- Priorité 2 : investissement élevé, période de retour sur investissement réduite
- Priorité 3 : faible investissement, période de retour sur investissement élevée
- Priorité 4 : investissement élevé, période de retour sur investissement élevée

**Tâche 32** - Répertoriez les activités par domaine prioritaire et indiquez quel domaine prioritaire choisir

Indiquez à Jane laquelle des activités suivantes (A1 à A7) correspond à chacun des domaines prioritaires

- A1 : Augmenter la température de consigne de 2 à 7 °C dans la chambre froide.
- A2 : Remplacer 20 vieilles lampes à halogénures métalliques par des lampes à DEL.
- A3 : Moderniser les deux moteurs de ventilateur de 7,5 kW en les dotant d'un variateur de vitesse (VV)
- A4 : Vérifier si la coopérative de producteurs de haricots peut fournir un nouveau camion de livraison pour toutes nos petites exploitations afin que nous puissions vendre notre camion frigorifique et économiser le carburant
- A5 : Notre tracteur a presque 20 ans et est trop petit pour nos projets d'expansion - demander une offre à « Brunos Tractor Sales & Repair » pour un tracteur neuf et plus gros (il consommera peut-être moins de carburant ?!)
- A6 : « Smith Solar Works » nous a fait une proposition portant sur l'utilisation d'un système PV de 55 kW pour alimenter la chambre froide - nous pouvons réduire nos pertes de production!
- A7 : Il y a de jolis autocollants à télécharger qui disent « Éteignez les lumières » et « Gardez les portes fermées » et autres conseils pour économiser l'énergie - nous devrions en mettre pour que tout le personnel se souvienne d'être attentif à l'énergie!



Quel domaine prioritaire Jane devrait-elle choisir ?

#### 4.4.6. Déterminer et surveiller les objectifs énergétiques

Jane doit identifier les objectifs énergétiques, mais qu'est-ce qu'un objectif énergétique ?

Tâche 33 - Expliquer ce que sont les objectifs énergétiques

Qu'entend-on par « objectifs énergétiques » ?

En se basant sur les possibilités d'amélioration recensées, l'entreprise peut maintenant déterminer des objectifs énergétiques réalistes et en assurer le suivi. Jane n'a aucune idée de ce qu'est le suivi. Veuillez expliquer à Jane ce qu'est le suivi.

## Tâche 34 - Expliquer ce qu'est le suivi

## Qu'entend-on par « suivi » ?

Un moyen facile de fixer un objectif énergétique consiste à définir une cible pour un EnPI, par exemple en vue de réduire la consommation d'énergie spécifique pour la production d'une tonne de produit au fil du temps.

Le plan de Jane pour l'avenir de son exploitation comprend l'expansion de sa production pour être en mesure d'exporter les haricots. Puisqu'elle connaît maintenant le coût de l'énergie – et la valeur des économies d'énergie – elle veut se développer en augmentant le moins possible sa consommation d'énergie. Sur la base du plan d'action énergétique susmentionné, elle décide d'investir dans les mesures d'économie d'énergie suivantes :

- Augmenter la température de consigne de 2 à 7 °C dans la chambre froide.
- Remplacer 20 vieilles lampes au mercure par des lampes à DEL.
- Moderniser les deux moteurs de ventilateur de 7,5 kW en les dotant d'un variateur de vitesse (VV).
- Installer un système PV de 55 kW pour alimenter la chambre froide.
- Placer des autocollants pour économiser l'énergie et former les employés aux techniques d'économie d'énergie.

Tâche 35 - Calculer le total des économies d'énergie et des coûts, y compris le pourcentage par rapport à 2017

Combien de kWh d'économies d'énergie par an ces mesures pourront-elles générer à elles seules ? ..... et en pourcentage par rapport à 2017 ? ..... %

Combien de kWh d'économies sur les coûts ces seules mesures généreront-elles par an ? ..... et en pourcentage par rapport à 2017 ? ..... %

Au moment de la mise en œuvre des mesures susmentionnées, la consommation totale d'énergie augmentera en raison des circonstances suivantes :

- un tracteur plus gros est nécessaire ;
- les terres agricoles vont s'agrandir et une pompe à eau plus grande est donc nécessaire ;
- ainsi, la production augmentera ;
- il faut également tenir compte du fait que les prix de l'énergie vont encore augmenter.

Gardant l'expansion à l'esprit, elle se fixe les objectifs suivants à l'aide de ses EnPI (document Excel: « Étude de cas sur la gestion de l'énergie » – Feuille de calcul A3-12).

Tâche 36 - Calculer la réduction de la consommation d'énergie et des coûts

Veuillez calculer la réduction de la consommation d'énergie et des coûts énergétiques et remplir le tableau ci-dessous.

Tableau 15. Objectifs de l'EnPI

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
EnPI Consommation d'énergie	[kWh/tonne]	1 460	1 487	1 385	1 353	1 353	1 217	1 150	
Réduction à l'année de référence 2017	%						0	.....	.....
EnPI Coûts énergétiques	[US\$/tonne]	114	131	145	155	155	124	93	
Réduction à l'année de référence 2017	%						0	.....	.....
Quantité produite	tonnes	200	200	220	231	231	240	240	

Les objectifs énergétiques de la Fresh and Tasty Company sont donc les suivants :

1. Réduire la consommation d'énergie spécifique en kWh par tonne de ..... % d'ici 2020 (par rapport aux valeurs de 2017)
2. Réduire les coûts spécifiques de l'énergie en US\$ par tonne de ..... % d'ici 2020 (par rapport aux valeurs de 2017)

## 4.5. ANNEXE 1 : FEUILLES DE CALCUL DU DOCUMENT EXCEL

Tâche 1 - Expliquer ce qu'est l'énergie renouvelable

**Pourriez-vous expliquer à Jane ce qu'est une énergie renouvelable ?**

L'énergie renouvelable est l'énergie produite à partir de processus naturels qui sont continuellement renouvelés. Cela comprend la lumière du soleil, la chaleur géothermique, le vent, les marées, l'eau et diverses formes de biomasse. Cette énergie ne s'épuise pas et se renouvelle constamment.

Tâche 2 - Expliquer ce qu'est un audit énergétique

**Pourriez-vous expliquer à Jane ce qu'est un audit énergétique ?**

Un audit énergétique est une inspection, une étude et une analyse des flux d'énergie pour la conservation de l'énergie dans un bâtiment, un procédé ou un système afin de réduire la quantité d'intrants énergétiques dans le système sans affecter négativement le(s) résultat(s). C'est la première étape pour recenser les possibilités de réduire les dépenses énergétiques et l'empreinte carbone.

Tâche 3 - Expliquer quels systèmes seront évalués

**Dans l'exploitation de Jane, quels systèmes évaluerons-nous ?**

- Utilisations électriques comme la congélation, le refroidissement, les ordinateurs, les systèmes d'éclairage, le pompage de l'eau, etc.
- Utilisations du carburant/combustible comme les débroussailleuses, les pompes à eau, les réchauds, le tracteur et le camion

Tâche 4 - Énumérer les documents nécessaires à la collecte de données sur l'énergie

**Quels documents Jane devrait-elle utiliser pour recueillir des données sur l'énergie ?**

- Dossiers sur la consommation d'énergie et la structure des consommateurs (p. ex. listes de machines)
- Plans, programmes, rapports d'audit, mesures, etc.
- Relevés des compteurs de la compagnie d'électricité, etc.
- Factures, factures des entreprises de services publics, de fournisseurs de combustibles, etc.

**Tâche 5** - Énumérer les étapes à prendre en compte pour dresser le bilan énergétique

**Quelles sont les étapes à prendre en compte pour l'établissement d'un bilan énergétique dans la pratique ?**

1. Dressez une liste de tous les intrants énergétiques
2. Recenser les endroits où des quantités importantes d'énergie sont utilisées
3. Déterminer les indicateurs de performance énergétique spécifiques
4. Élaborer un plan d'action énergétique
5. Lister les objectifs énergétiques spécifiques et déterminer comment les surveiller.

**Tâche 6** - Dressez une liste des machines, des équipements et des outils consommateurs d'énergie

**Tableau 1** : Machines, équipements et outils consommateurs d'énergie

Processus	Utilisation		
	Utilisations de l'électricité	Utilisations du diesel	Utilisations de l'essence
<b>Production</b>	Congélateurs produits Tunnels de congélation Coupeuses Pompes à eau Ordinateurs Éclairage	Pompes à eau Tracteur Camion frigorifique	Débroussailleuse Fourneaux B cuisine
<b>Vendanges</b>	Pompes à eau	Tracteur	
<b>Transport</b>		Camion frigorifique Tracteur	
<b>Après la récolte</b>		Camion frigorifique	
<b>Conditionnement</b>	Machine d'emballage		
<b>Exporter</b>	Ordinateurs	Tracteur	



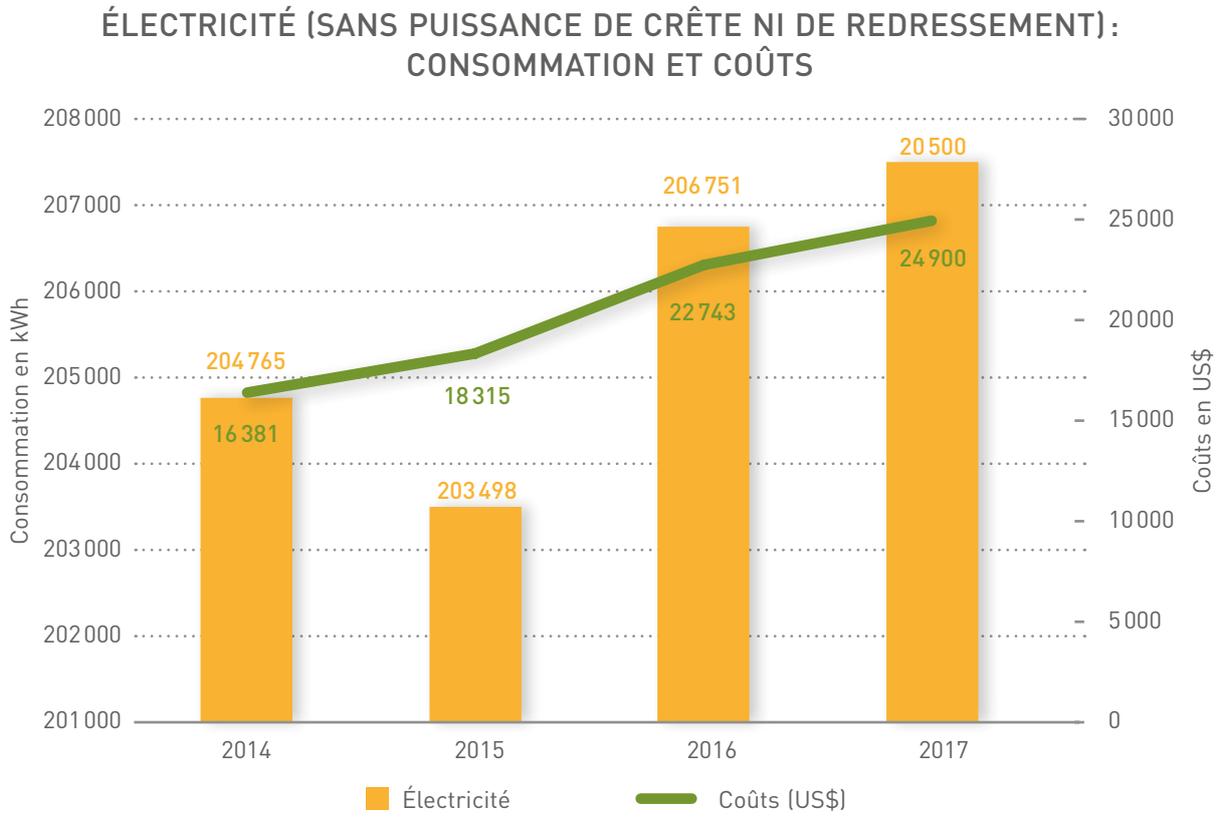
Bois kg <sup>3</sup>	Chauffage urbain kWh <sup>1</sup>	Énergies renouvelables kWh	Essence litre	Diesel litre
			Facture	Facture
			Haute	Haute
			900	8,000
			1,100	8,500
			1,000	9,000
			1,250	9,500
<b>Coûts totaux</b>				
22,701			720	5,600
26,105			990	6,800
31,843			1,000	8,100
35,775			1,375	9,500
100 %			2,7 %	27,1 %
100 %			3,3 %	28,3 %
100 %			2,9 %	29,2 %
100 %			3,5 %	30,1 %
100 %			3,2 %	24,7 %
100 %			3,8 %	26,0 %
100 %			3,1 %	25,4 %
100 %			3,8 %	26,6 %

## Tâche 8 - Calculer la consommation en kWh

Tableau 3: Tableur A 3-1- section 2

Énergie à l'entrée en kWh			Fresh and Tasty			
Section 2						
			Consommation [kWh]			
Source d'énergie	Unité	Facteur de conversion <sup>3</sup> en kWh	2014	2015	2016	2017
Électricité	kWh	1	204,765	203,498	206,751	207,500
Fioul domestique	Litres	9,95	0	0	0	0
Gaz naturel	m <sup>3</sup>	9,88	0	0	0	0
Gaz comprimé	kg	12,44	0	0	0	0
Gaz liquéfié	Litres	12,9	0	0	0	0
Diesel	Litres	9,9	79,200	84,150	89,100	94,050
Essence	Litres	8,85	7,965	9,735	8,850	11,063
Énergies renouvelables	kWh	1	0	0	0	0
Chauffage urbain	kWh	1	0	0	0	0
Bois	kg	4,5	0	0	0	0
Somme			291,930	297,383	304,701	312,613

Tâche 9 - Créer un diagramme à barres pour la consommation d'énergie et les coûts de l'énergie.



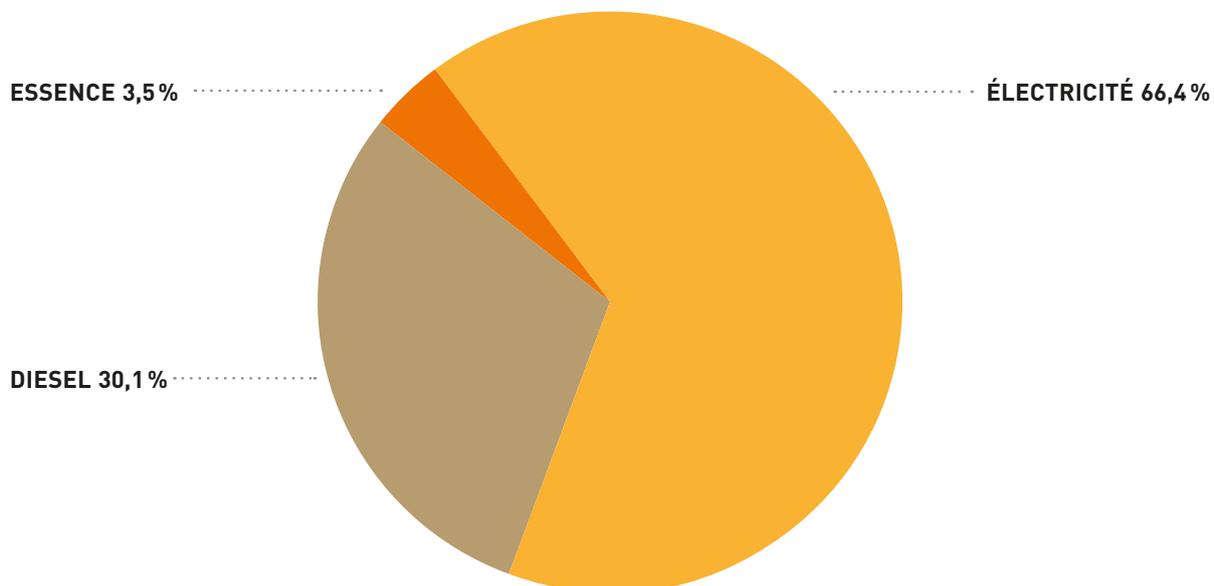
Tâche 10 - Tirer des conclusions du diagramme à barres

Quelles conclusions peut-elle tirer de ce diagramme à barres ?

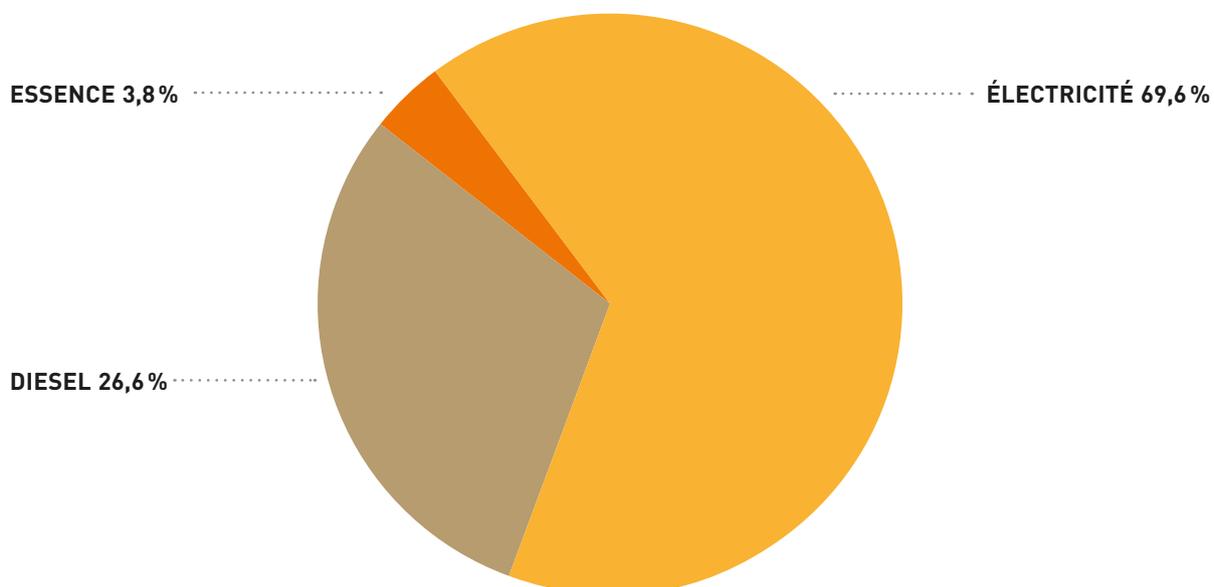
Jane constate que sa consommation d'électricité n'a cessé d'augmenter ces dernières années et que ses dépenses ont également augmenté.

Tâche 11 - Créer un diagramme circulaire pour la consommation d'énergie et les coûts énergétiques

PART DE LA CONSOMMATION (2017)



PART DES COÛTS (2017)



Tâche 12 - Conclusions du diagramme circulaire

**Quelles conclusions Jane peut-elle tirer du diagramme circulaire ?**

Jane sait que l'électricité est la dépense énergétique la plus élevée de l'entreprise. Ainsi, Jane peut déjà dire que sa priorité sera d'examiner sa consommation électrique – qu'est-ce qui consomme combien d'électricité ?

Tâche 13 - Déterminer la consommation d'énergie

**Comment Jane pourrait-elle faire cela ?**

Pour ce faire, elle fait le point sur la consommation d'énergie de tout l'équipement et des machines.

Jane obtient la puissance nominale en kW à partir des plaques signalétiques des équipements. Pour le coefficient de charge moyen, elle a soit utilisé les valeurs standard du fabricant de l'équipement qu'elle a trouvées dans les manuels, soit elle en a discuté avec l'opérateur de la machine – et parfois, ce furent des discussions difficiles, mais comme aucune machine ne fonctionne constamment à 100 % – sauf l'éclairage – le technicien estime que les valeurs utilisées sont assez proches de la réalité.

Tâche 14 - Calculer la consommation en kWh/an, y compris la part du total, la consommation d'énergie et les intrants

Tableau 4. Consommation d'énergie importante - Tableur A 3-2- section 1

Utilisations d'énergie importantes (UEI)		Date : mardi 12 juin 2018					
Nom de la société : Fresh and Tasty		Auteur : Jane Browne				Version : 1	
Section 1							
Utilisation	Puissance nominale [kW]	Coefficient de charge moyen [%]	Heures/jour	Jours/année	Heures/année	Consommation [kWh/an]	Part du total
<b>Utilisations de l'électricité</b>							
Congélateurs produits 1+2	8	60 %	8	250	2000	9600	4,6 %
Tunnel de congélation	50	60 %	6	250	1500	45000	21,7 %
Chambre froide <sup>11</sup>	15	70 %	24	365	8760	91980	44,3 %
Ordinateurs 1+2	1	50 %	24	300	7200	3600	1,7 %
Éclairage	15	100 %	14	250	3500	52500	25,3 %

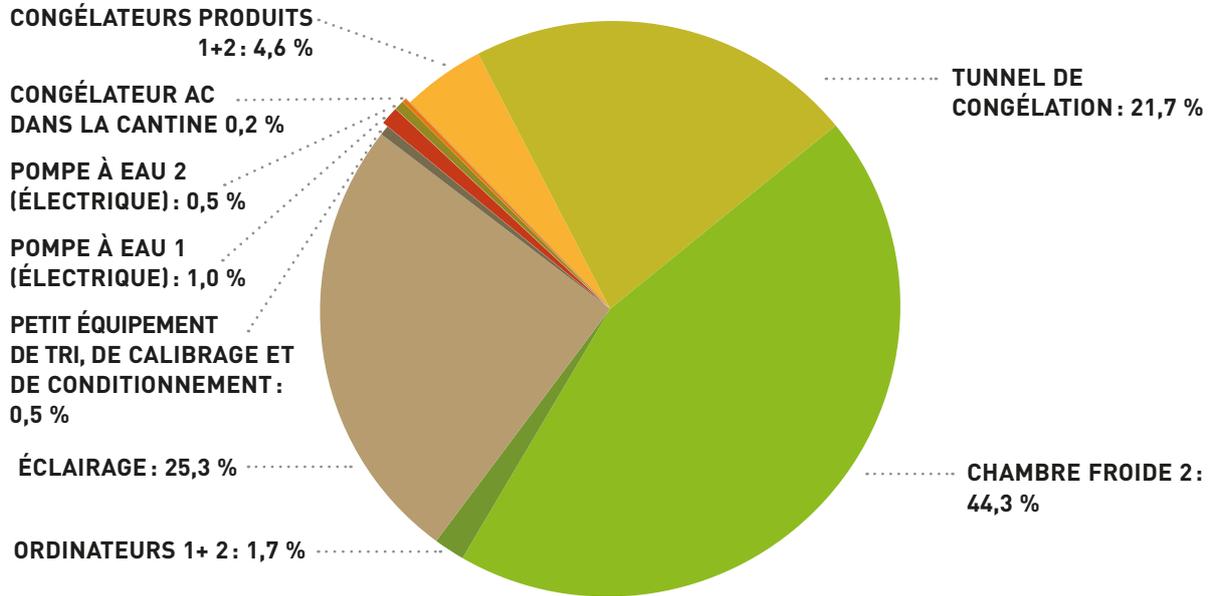
11 Chambre froide (petite échelle, construite par le propriétaire) 40 m<sup>2</sup>/ 360 kWh par jour.

Petit équipement pour le tri, le classement et l'emballage <sup>12</sup>	1	70 %	8	200	1,600	1,120	0,5 %
Pompe à eau 1 (électrique)	2,5	70 %	6	200	1,200	2,100	1,0 %
Pompe à eau 2 (électrique)	2	70 %	4	200	800	1,120	0,5 %
Congélateur CA dans la cantine	2	60 %	2	200	400	480	0,2 %
<b>Utilisations de carburant</b>	<b>Puissance nominale [kW]</b>	<b>Coefficient de charge moyen [%]</b>	<b>Litres/jour</b>	<b>Jours/année</b>	<b>Litres/Année</b>	<b>Consommation [kWh/an]</b>	<b>Part du total</b>
Débroussailleuses 1+2 (essence)	3,8	100 %	3	250	750	6,638	6,3 %
Pompe à eau 1 (diesel)	2	100 %	4	250	1,000	9,900	9,4 %
Pompe à eau 2 (diesel)	2	100 %	2	250	500	4,950	4,7 %
Réchauds 1, 2, 3 (essence)	2	100 %	2	250	500	4,425	4,2 %
Tracteur 1 (diesel)	90	100 %	15	250	3,750	37,125	35,3 %
Tracteur 2 (diesel)	75	100 %	10	250	2,500	24,750	24 %
Petit camion frigorifique (diesel)	55	100 %	7	250	1,750	17,325	16 %
<b>Électricité totale</b>						<b>207,500</b>	<b>66 %</b>
<b>Total carburants/combustibles</b>						<b>105,113</b>	<b>33,6 %</b>
<b>Année</b>	<b>2017</b>	<b>CONSOMMATION TOTALE D'ÉNERGIE</b>				<b>312,613</b>	
		<b>APPORT ÉNERGÉTIQUE TOTAL</b>				<b>312,613</b>	
<b>Part de la consommation totale d'énergie (%)</b>						<b>100 %</b>	

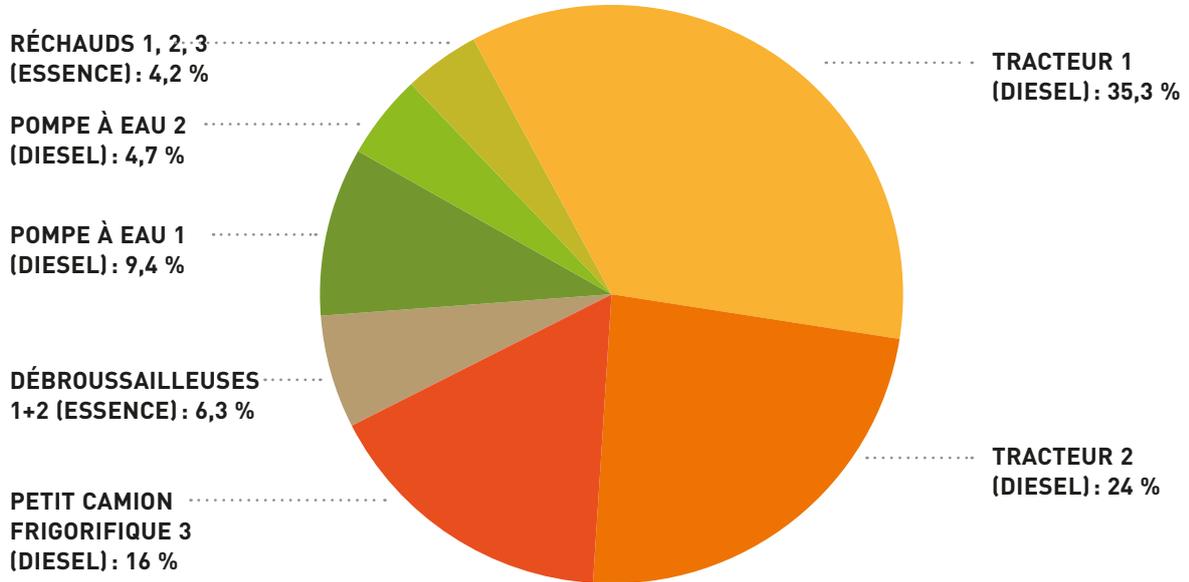
12 16 kWh/jour pour le petit matériel de tri, de classement et d'emballage.

Tâche 15 - Faire un diagramme circulaire pour la consommation d'électricité et de combustible

UTILISATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ



UTILISATIONS DU CARBURANT



### Tâche 16 - Tirer des conclusions du diagramme circulaire

#### Quelles conclusions Jane peut-elle tirer du diagramme circulaire ?

Le tableau ci-dessus montre que l'électricité représente 66 % de la consommation d'énergie. Les plus gros consommateurs d'électricité sont la chambre froide, le tunnel de congélation et l'éclairage. Les tracteurs et le camion frigorifique représentent 75 % de la consommation de carburant.

### Tâche 17 - Énumérer les points à prendre en considération pour ce qui a trait à la consommation d'énergie de l'entreprise

#### Quels sont les points à prendre en compte dans cette situation ?

Dans ce cas, les points suivants doivent être pris en compte.

- La consommation d'énergie spécifique a-t-elle changé ? Constate-t-on une augmentation significative des coûts énergétiques ?
- Les calculs de la consommation d'énergie spécifique sont-ils basés sur des chiffres et hypothèses corrects ?
- Si la consommation d'énergie spécifique a augmenté : Quelle pourrait en être la raison ? Quels sont les domaines qui ont pris de l'expansion ? Cette expansion a-t-elle entraîné une consommation d'énergie spécifique plus élevée ? Des sources d'énergie ont-elles été remplacées ?
- Si la consommation spécifique d'énergie a diminué : La diminution est-elle due à des mesures spécifiques d'économie d'énergie ? Les objectifs ont-ils été atteints ? Ou la consommation a-t-elle diminué parce que des sources d'énergie ont été remplacées ?
- Où puis-je trouver des repères appropriés ?
  - Demandez à vos collègues de vous fournir les données d'un secteur particulier.
  - Demandez des données aux fabricants d'installations.
  - Faites des recherches dans la littérature (recherche, magazines).
  - Effectuez vos propres calculs.

Tâche 18 - Calculer les EnPI consommation d'énergie et coûts

Tableau 6 : EnPI consommation d'énergie

Indicateurs de performance énergétique (EnPI)		Date: 12 juin 2018											
Nom de la société: Fresh and Tasty		Auteur: Jane Browne									Version: 1		
	Unité	Quantité						Coûts[US\$]					
Énergie		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Électricité	kWh	204 765	203 498	206 751	207 500			16 381	18 315	22 743	24 900		
Essence	kWh	7 965	9 735	8 850	11 063			5 600	6 800	8 100	9 500		
Diesel	kWh	79 200	84 150	89 100	94 050			720	990	1 000	1 375		
EnPI Consommation d'énergie	[kWh/tonne]	1 460	1 487	1 385	1 353								
EnPI Coûts énergétiques	[US\$/tonne]							114	131	145	155		

## Tâche 21 - Déterminer les gros consommateurs d'énergie : A. Chambre froide

Jane commence par la chambre froide. Elle fait 40 m<sup>2</sup> et l'air froid y est fourni par une unité centrale de climatisation d'une puissance de 15kW. La température de la chambre froide est réglée à 2 °C. L'unité de climatisation est relativement récente puisqu'elle a été installée il y a seulement deux ans.

Jane a une bonne impression de l'efficacité de l'unité de climatisation. Cependant, elle pense que le réglage de la température de 2 °C pourrait être inutilement bas. Habituellement, la température optimale de stockage pour ce type de haricots est de 7 °C. Comme elle a appris qu'une augmentation de la température de refroidissement de seulement 1 °C permet une économie d'énergie électrique de 4 %, elle veut faire passer la température de consigne de 2 à 7 °C.

Au total, cela donnerait une économie d'énergie de  $5\text{ °C} \times 4\% = 20\%$  de la consommation de l'unité de climatisation.

Comme Jane l'a découvert plus tôt, la consommation de l'unité de climatisation est de 91.980 kWh par an. Une baisse de 20 % représenterait une économie d'énergie de 18396 kWh par an. Avec un tarif d'électricité de 0,12 \$/kWh, cela se traduirait par une économie d'énergie de 2207 US\$ par année – gratuitement, car aucun investissement n'est nécessaire pour cela!

## Tâche 22 - Recenser les gros consommateurs d'énergie : B. Éclairage

Jane est si heureuse d'avoir trouvé sa première économie d'énergie qu'elle continue son « enquête » sur les autres gros consommateurs d'énergie. Ensuite, elle examine le système d'éclairage de la zone de stockage des emballages, d'environ 300 m<sup>2</sup>. La zone est éclairée par 20 lampes au mercure haute pression de 450 W chacune. Jane sait que les lampes sont anciennes et elle soupçonne qu'elles sont utilisées depuis au moins 20 ans. La lumière qu'elles donnent n'est plus adaptée à un espace de travail, elles sont devenues très sombres. Jane aimerait opter pour la toute dernière technologie écoénergétique à DEL. Toutefois, elle n'est pas certaine qu'un tel investissement sera rentable à terme.

La puissance installée des lampes est de  $20\text{ lampes} \times 450\text{ W} = 9000\text{ W}$  ou 9 kW. Leur durée de fonctionnement annuelle est de 3500 heures. Ainsi, la consommation annuelle d'électricité est de  $9\text{ kW} \times 3500\text{ h} = 31500\text{ kWh}$ . Avec un tarif d'électricité de 0,12 \$/kWh, les coûts énergétiques annuels sont de 3780 US\$.

Jane sait maintenant qu'elle peut remplacer les anciennes lampes par des DEL. Une lampe à DEL coûte 350 US\$. Habituellement, une lampe de 450 W peut être remplacée par une lampe à DEL de 150 W à quantité de lumière égale, et même avec une luminosité bien meilleure. Ainsi, les lampes à DEL n'auraient qu'une puissance de  $20\text{ lampes} \times 150\text{ W} = 3000\text{ W}$  ou 3 kW et ne consommeraient que  $3\text{ kW} \times 3500\text{ h} = 10500\text{ kWh}$  par an. Leurs coûts énergétiques s'élèveraient à 1260 dollars, ce qui représenterait une économie de 2520 dollars par an.

**Tableau 7 :** Coûts totaux de l'énergie et de la puissance des lampes anciennes par rapport aux lampes neuves

	Qté	Puissance (W)	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heures)	Énergie (kWh)	Tarif (\$)	Coûts électriques (\$)
Lampes anciennes	20	450	9	3500	31 500	0,12	3 780
Nouvelles lampes	20	150	3	3500	10 500	0,12	1 260
<b>Économies</b>							<b>2 520</b>

Cependant, l'énergie n'est qu'un des facteurs de coût de l'éclairage. Jane a remarqué qu'elle doit remplacer quatre des anciennes lampes par an en raison de leur âge. Une lampe coûte 80 US\$. La durée de vie des DEL est plus du double de celle des vieilles lampes. Les coûts de remplacement annuels de **320 US\$**, coûts d'électricité (voir Tableau 7) de **3 780 US\$** compris, s'élèvent au total à **4 100 US\$** pour les anciennes lampes, contre **1 260 US\$** pour les lampes à DEL.

**Tableau 8 :** Entretien des lampes anciennes par rapport aux lampes neuves

	Durée de vie	Prix (\$)	Remplacement	Coût d'entretien (\$ p.a.)
Lampes anciennes	3	80	4 par an	320
Nouvelles lampes	10	350	Aucun au cours des 10 premières années	0
<b>Économies</b>				<b>320</b>

**Tableau 9 :** Réduction des coûts totaux

	Énergie totale (kWh)	Coûts totaux (\$)
Lampes anciennes		
Nouvelles lampes		
Économies		
Pourcentage		

Au total, l'économie annuelle serait de **2840 dollars**. Il s'agit d'une réduction de **70 %**. Jane peut calculer la période de retour sur investissement simple. Comme nous l'avons déjà mentionné, le coût d'une lampe à DEL est de 350 \$. Le coût d'installation des 20 lampes à DEL est de 500 US\$. L'investissement total, coût d'installation compris, est de **7500 US\$**. En divisant l'investissement total par les économies annuelles, elle peut calculer la période de retour sur investissement. **Veuillez calculer le temps de retour sur investissement dans le tableau ci-dessous :**

Tableau 10 : Période de retour sur investissement

	Qté	Prix (\$)	Installation (\$)	Investissement (\$)
Nouvelles lampes	20	350	500	7 500
		<i>Divisé par les économies (\$)</i>		2 840
<b>Période de retour sur investissement (ans)</b>				<b>2,6</b>

**Quelle conclusion Jane peut-elle tirer du calcul de la période de retour sur investissement ?**

En moins de trois ans, l'investissement serait amorti et l'entreprise économiserait de l'argent. Considérant une durée de vie des lampes à DEL de 10 ans dans ce cas, c'est un investissement qui vaut la peine d'être fait.

Tâche 23 - Recenser les gros consommateurs d'énergie : C. Tunnel de congélation

**Bien que les tunnels de congélation utilisés soient assez modernes, Jane veut quand même voir de plus près à quel point ils sont efficaces. Que pensez-vous de l'efficacité énergétique des tunnels de congélation de Jane ?**

- Sur mesure: un moyen facile de réduire la consommation d'énergie lors de la congélation par air pulsé est d'avoir un appareil conçu pour congeler la quantité d'aliments dont on a besoin. Si vous produisez de faibles volumes d'aliments, un petit tunnel de congélation sera plus efficace qu'un grand congélateur surdimensionné.
- Avant de commencer: s'assurer que le tunnel de congélation est en marche et à la bonne température (3 °C pour la réfrigération / -18 °C pour la congélation) avant de charger le produit, sinon le système de réfrigération risque d'être surchargé. En plus d'être moins efficace, le cycle de congélation risque de ne pas se terminer à temps. Il est avantageux de laisser reposer les produits chauffés à température ambiante avant de les placer dans le congélateur (si cela n'est pas contraire aux règles de sécurité alimentaire).
- Demi-charges: dans le cas de la congélation par air pulsé d'une charge inférieure à une pleine charge, espacer les plateaux uniformément dans toute l'armoire. Cela accélérera le processus et assurera une réfrigération uniforme du produit. Si possible, utiliser une sonde de produit pour contrôler le cycle, car cela économisera de l'énergie en arrêtant le cycle dès que la température correcte sera atteinte.

- Utiliser une sonde de produit : l'utilisation d'une sonde de produit pour contrôler le cycle de congélation par air pulsé permet d'économiser de l'énergie. Pour obtenir des mesures de température précises, placer la sonde au milieu du plateau, sur la tablette du milieu, dans la partie la plus dense du produit.
- Distribution de l'air : un flux d'air uniforme et uniforme assure non seulement une congélation uniforme et minimise le risque d'endommager les aliments, mais réduit également la consommation d'énergie.
- Autodiagnostic : l'entretien de toutes les unités est essentiel pour assurer le bon fonctionnement de votre produit pendant toute sa durée de vie. Les tunnels de congélation sont disponibles avec un dispositif d'autodiagnostic, ce qui signifie que les techniciens de service peuvent rapidement trouver une panne et y remédier. Les rappels d'entretien tels que les témoins de nettoyage du condenseur sont également inestimables pour assurer le bon fonctionnement de votre système de réfrigération.
- Gardez-le fermé : une fois que le cycle de congélation commencé, n'ouvrez pas la porte, par exemple pour ajouter d'autres plateaux de produit. Les aliments déjà présents dans l'appareil seront exposés à de l'air chaud, tandis que les aliments ajoutés ne bénéficieront pas d'un cycle complet. Cela réduit non seulement l'efficacité de l'appareil, mais compromet également la sécurité des aliments.
- Ne couvrez pas les aliments : ne couvrez pas les aliments dans les plateaux du tunnel de congélation, cela compromettrait l'efficacité du cycle de congélation. Les tunnels de réfrigération et de congélation modernes ont des conceptions de flux d'air spéciales qui protègent même les aliments délicats, il n'est donc pas nécessaire de les couvrir.
- Isolation haute performance : l'amélioration de l'isolation permet d'obtenir un meilleur rendement thermique. En maintenant plus facilement une température constante et en limitant l'entrée de chaleur, l'unité de réfrigération devra travailler moins, réduisant ainsi sa consommation d'énergie.

**Tâche 24** - Calculez le gain financier ou la perte financière à la fin de la cinquième année.

#### Quels seraient le gain ou la perte financiers à la fin de la cinquième année ?

Dans cinq ans, la situation serait la suivante :

- Économies liées au carburant/combustible et à l'entretien :  $5 \text{ ans} * 816 \$ = +4\,080 \$$
- Gain unique lié à la vente du vieux camion :  $+1\,000 \$$
- Frais de location à la coopérative :  $5 \text{ ans} * 12 \text{ mois} * 50 \$ = -3\,000 \$$
- Résultat au bout de cinq ans :  $+2\,080 \$$

Jane fait un bénéfice en louant le camion de la coopérative. Autre avantage : elle n'est plus soumise à l'augmentation du prix du carburant, du moins pour les cinq prochaines années.

## Tâche 25 - Conseiller Jane pour l'achat d'un nouveau tracteur

En ce qui concerne l'achat d'un nouveau tracteur, que conseilleriez-vous à Jane ?

Ci-dessous quelques questions d'orientation supplémentaires :

- Quelle procédure suivriez-vous pour prendre une décision ?
- Quels sont les avantages d'un tracteur neuf ?
- Qu'en est-il des émissions de CO<sub>2</sub> ?

Il y a deux façons d'acheter un tracteur neuf :

- la « vieille » manière serait d'aller chez le concessionnaire et de demander un nouveau tracteur plus gros.
- la méthode « écoénergétique » consiste à établir une check-list des achats en tenant compte de plusieurs facteurs :
  1. Rendement énergétique des différents tracteurs
  2. Émissions des types de carburants disponibles
  3. Coûts et disponibilité des types de carburants
  4. Charge maximale du tracteur
  5. Disponibilité et coûts de l'entretien et des pièces de rechange

Le rendement énergétique est de 19,91 litres/heure à une puissance moyenne de 77 CH<sup>13</sup>. Un nouveau tracteur de la même taille aurait un rendement énergétique d'environ 14 litres à l'heure<sup>14</sup>. Ainsi, un nouveau tracteur pourrait être 30 % plus écoénergétique. De plus, les tracteurs d'aujourd'hui peuvent soulever des charges beaucoup plus lourdes que leurs grands frères grâce à une mécanique hydraulique avancée. Et, les nouveaux camions sont équipés d'une technologie de réduction des émissions comme la SCR<sup>15</sup>, qui réduit considérablement les émissions nocives de CO<sub>2</sub> et autres.

Une autre option serait de choisir un autre carburant – au lieu d'utiliser du diesel, Jane pourrait chercher un tracteur fonctionnant au GPL. Le GPL, qui est du gaz naturel, a l'avantage de produire moins d'émissions de CO<sub>2</sub> et, généralement, d'être moins cher que le diesel. Cela étant, son rendement énergétique n'est pas aussi bon que celui du diesel.

**C'est un bon exemple « d'achat écoénergétique ». Vous êtes d'accord, n'est-ce pas ?**

## Tâche 26 - Recommander une source d'énergie renouvelable

Quelle source d'énergie renouvelable recommanderiez-vous à Jane ?

L'électricité solaire

13 Parce que le tracteur fonctionne rarement à puissance maximale ou minimale.

14 Voir [www.waterandenergyprogress.org](http://www.waterandenergyprogress.org).

15 Technologie de réduction catalytique sélective.

Tâche 27 - Expliquez quels sont les avantages de l'énergie photovoltaïque.

**Pourriez-vous informer Jane des avantages de l'énergie photovoltaïque ?**

- C'est une technologie « verte » : pas d'émissions, pas besoin de carburant, pas de bruit, pas de fumée
- Le soleil n'envoie pas de facture pour sa livraison d'énergie – il fournit ses rayons gratuitement avec la lumière du jour.
- Comme il n'y a pas de pièces mobiles comme dans un générateur, l'entretien et le fonctionnement de l'installation solaire sont presque gratuits (et sans problème) ;
- Cela rend l'entreprise un peu plus indépendante des services publics – ce système pourrait fournir de l'électricité pendant les pannes d'électricité
- Cette source d'énergie solaire est surtout indépendante de l'inflation qui entraîne une hausse des prix de l'électricité et du combustible.
- L'énergie solaire est particulièrement efficace dans les endroits où il y a de longues heures d'ensoleillement et beaucoup d'espace – une exploitation agricole est l'endroit idéal pour cela.
- L'énergie solaire peut être utilisée pour une variété d'applications dans une entreprise agricole ; fourniture d'électricité, pompage solaire de l'eau au lieu d'utiliser des pompes diesel, séchage solaire des fruits, des noix, etc., réfrigération solaire, chauffage solaire et bien plus encore.

Comme les prix des équipements solaires ont chuté drastiquement ces dernières années, ce n'est qu'un argument de plus en faveur de l'utilisation de l'énergie solaire.

Tâche 28 - Demande de la chambre froide

Comme nous le savons depuis Tâche 14. **Calculer la consommation en kWh/an, y compris la part du total, la consommation d'énergie et les intrants**

Tableau 4, la demande de la chambre froide est de **91 980 kWh** par an. Cependant, grâce à l'audit énergétique, Jane a déjà réduit cette demande en augmentant la température de consigne. Ainsi, la demande requise se réduit à **72 984 kWh**.

## Tâche 29 - Estimer les propriétés du système solaire

Tableau 11 : Estimation d'un système photovoltaïque

Étape	Données	Calculs
1	Établir les kWh annuels qui seront couverts par le système solaire	91 980 kWh
2	Soustraire les kWh réduits par la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique sur l'équipement	$91\,980\text{ kWh} - 18\,396\text{ kWh} = 72\,984\text{ kWh}$
3	Trouver le rayonnement solaire sur place	Pour Paramaribo, au Suriname, il est de 1 600 kWha/kW
4	Calculer la puissance du système solaire en divisant la demande par le rayonnement solaire	$\text{Puissance} = 72\,984\text{ kWh} / 1\,600\text{ kWha/kW} = 45,6\text{ kW}$
5	Multiplier par 1,2 pour couvrir les inefficacités du système	$45,6\text{ kWh} \times 1,2 = 54,7\text{ kW}$
6	Sélectionner les panneaux solaires et noter leur capacité	L'expert a choisi des panneaux de 250W
7	Diviser par la capacité en kW de chaque panneau solaire	$54\,700\text{W} / 250\text{W} = 219\text{ panneaux nécessaires}$
8	Calculer l'espace nécessaire pour installer les panneaux solaires	Environ 10 m <sup>2</sup> pour chaque kW $54,7\text{ kW} \times 10\text{ m}^2 = 547\text{ m}^2\text{ de surface nécessaire}$

## Tâche 30 - Estimer le coût du système

Tableau 13 : Estimation du coût du système

Étape	Données	Calculs
1	Estimer l'investissement nécessaire	D'après le tableau ci-dessus, un système de 55 kW avec batteries coûterait 3200 US\$ par kW = 175 161 \$
2	Si une subvention est disponible, déduisez-la	0
3	Calculez l'économie d'énergie	Le système solaire fournit 72 984 kWh par année; le tarif d'électricité est de 0,12 \$ par kWh; l'économie d'énergie est donc de 8 758 \$ par année
4	Existe-t-il d'autres économies de coûts, par exemple par l'optimisation de la production, etc. ?	Le système solaire fournira de l'électricité lorsque le réseau électrique est indisponible; ainsi, la perte de production de 20 000 \$ par année sera évitée.
5	Calculez la période de retour sur investissement	$175\,161\text{ \$} / (20\,000\text{ \$} + 8\,758\text{ \$}) = 6,1\text{ ans}$

La période de retour sur investissement simple du système serait de 6,1 ans. Comme les panneaux solaires ont une garantie d'au moins 25 ans, c'est un bon investissement. Selon l'augmentation des prix de l'électricité et du carburant, la période de retour sur investissement pourrait même être beaucoup plus courte.

Tâche 31 - Élaborer un plan d'action énergétique

Tableau 14: Plan d'action pour l'énergie

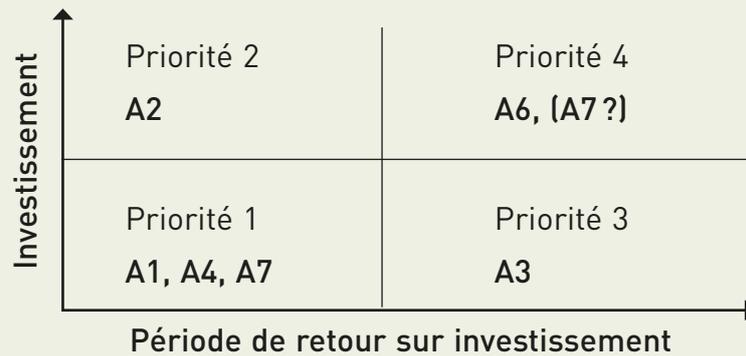
Plan d'action pour l'énergie							Date: mardi 12 juin 2018		
Nom de la société: Fresh and Tasty		Auteur: Jane Browne					Version: 1		
Sujet	Action (A)	Responsable	Date limite	Investissement (US\$)	État	Économies			Retour sur investissement [années]
						ÉNERGIE (kWh)	CO <sub>2</sub> (tonnes)	BÉNÉFICE (US\$)	
Réfrigération	Augmenter la température de consigne de 2 à 7 °C dans la chambre froide.	Jane	Mai 2017	0	100 %	18396	10,4	2207	0,0
Éclairage	Remplacer 20 vieilles lampes à halogénures métalliques par des lampes à DEL.	Le mari de Jane	Oct. 2017	7,000	75 %	21000	11,9	2840	2,5
Ventilation	Moderniser les deux moteurs de ventilateur de 7,5 kW en les dotant d'un variateur de vitesse (VV)	Jane	Déc. 2017	3,000	50 %	15000	8,5	600	5,0
Transport	Vérifier si la coopérative de producteurs de haricots peut fournir un nouveau camion de livraison pour toutes nos petites exploitations afin que nous puissions vendre notre camion frigorifique et économiser le carburant	Le père de Jane	1 <sup>er</sup> févr. 2018	0	0 %	4000	2,3	316	0,0

	Sensibilisation	Énergies renouvelables	Transport
	Il y a de jolis autocollants à télécharger qui disent « Éteignez les lumières » et « Gardez les portes fermées » et autres conseils pour économiser l'énergie – nous devrions en mettre pour que tout le personnel se souvienne d'être attentif à l'énergie!	« Smith Solar Works » nous a fait une proposition portant sur l'utilisation d'un système PV de 55 kW pour alimenter la chambre froide - nous pouvons réduire nos pertes de production!	Notre tracteur a presque 20 ans et est trop petit pour nos projets d'expansion – demander une offre à « Brunos Tractor Sales & Repair » pour un tracteur neuf et plus gros (il consommera peut-être moins de carburant ?!)
	Jane	Jane	Le père de Jane
	1 <sup>er</sup> janv. 2018	30 mars 2018	15 févr. 2018
	50	175,161	ne peut pas encore dire
	0 %	50 %	0 %
	2,000	aucune économie	??
	1,1	41,2	
	200	28,758	?? Le cas échéant ?
<b>Total</b>	<b>0,3</b>	<b>6,1</b>	<b>?</b>
	185,211		
	60,396		
	75		
	34,921		

Tâche 32 - Répertoriez les activités par domaine prioritaire

Indiquez à Jane laquelle des activités suivantes (A1 à A7) correspond à chacun des domaines prioritaires

- A1 : Augmenter la température de consigne de 2 à 7 °C dans la chambre froide.
- A2 : Remplacer 20 vieilles lampes à halogénures métalliques par des lampes à DEL.
- A3 : Moderniser les deux moteurs de ventilateur de 7,5 kW en les dotant d'un variateur de vitesse (VV)
- A4 : Vérifier si la coopérative de producteurs de haricots peut fournir un nouveau camion de livraison pour toutes nos petites exploitations afin que nous puissions vendre notre camion frigorifique et économiser le carburant
- A5 : Notre tracteur a presque 20 ans et est trop petit pour nos projets d'expansion – demander une offre à «Brunos Tractor Sales & Repair» pour un tracteur neuf et plus gros (il consommera peut-être moins de carburant ?!)
- A6 : «Smith Solar Works» nous a fait une proposition portant sur l'utilisation d'un système PV de 55 kW pour alimenter la chambre froide - nous pouvons réduire nos pertes de production!
- A7 : Il y a de jolis autocollants à télécharger qui disent «Éteignez les lumières» et «Gardez les portes fermées» et autres conseils pour économiser l'énergie – nous devrions en mettre pour que tout le personnel se souvienne d'être attentif à l'énergie!



Quel domaine prioritaire Jane devrait-elle choisir ?

Domaine prioritaire n° 1 :

Tâche 33 - Expliquer ce que sont les objectifs énergétiques

Qu'entend-on par « objectifs énergétiques » ?

Les objectifs énergétiques décrivent un but global mais doivent être quantifiés et échelonnés dans le temps. Les objectifs énergétiques sont susceptibles de découler du plan d'action pour l'énergie, mais peuvent aussi provenir d'autres sources. Ils devraient être axés sur les domaines prioritaires de réduction de la consommation d'énergie et d'amélioration de l'efficacité énergétique.

## Tâche 34 - Expliquer ce qu'est le suivi

## Qu'entend-on par « suivi » ?

Le suivi signifie par exemple vérifier si la consommation d'énergie diminue comme prévu, mais aussi si les moyens sont disponibles pour cela. Cela implique également des contrôles réguliers de l'efficacité des opérations et de l'utilisation de l'énergie. Les opérations énergétiques plus intensives devraient faire l'objet d'un suivi plus régulier, tout simplement parce que l'enjeu est plus important. Le suivi de la consommation énergétique est vital car « seul ce qui est mesuré peut être géré ».

## Tâche 35 - Calculer le total des économies d'énergie et des coûts, y compris le pourcentage par rapport à 2017

Combien de kWh d'économies d'énergie par an ces mesures pourront-elles générer à elles seules ? **56 396 kWh** et en pourcentage par rapport à 2017 ? **18 %**

Combien de kWh d'économies sur les coûts ces seules mesures généreront-elles par an ? **34.605 US\$** et en pourcentage par rapport à 2017 ? **97 %**

## Tâche 36 - Calculer la réduction de la consommation d'énergie et des coûts

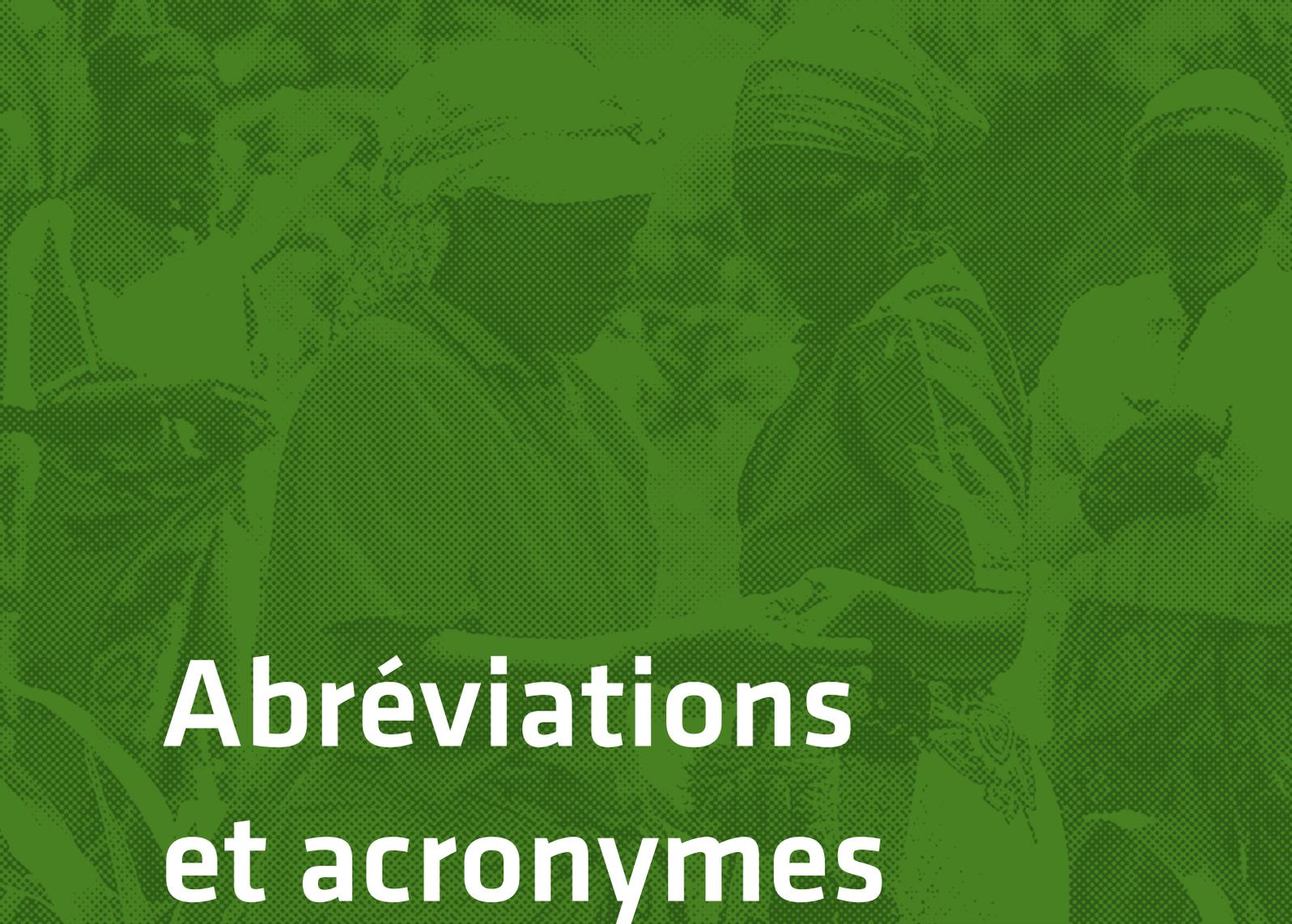
Tableau 15: Objectifs de l'EnPI

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
EnPI Consommation d'énergie	[kWh/tonne]	1 460	1 487	1 385	1 353	1 353	1 217	1 150
Réduction à l'année de référence 2017	%					0	10	15
EnPI Coûts énergétiques	[US\$/tonne]	114	131	145	155	155	124	93
Réduction à l'année de référence 2017	%					0	20	40
Quantité produite	tonnes	200	200	220	231	231	240	240

Les objectifs énergétiques de la Fresh and Tasty Company sont donc les suivants :

1. Réduire la consommation d'énergie spécifique en kWh par tonne de **15 %** d'ici 2020 (par rapport aux niveaux de 2017)
2. Réduire les coûts spécifiques de l'énergie en US\$ par tonne de **40 %** d'ici 2020 (par rapport aux niveaux de 2017)





# Abréviations et acronymes

## ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

A	Année
ACA	Analyse coûts-avantages
ACCV	Analyse du coût du cycle de vie
ACP	Afrique, Caraïbes et Pacifique
ACV	Analyse du cycle de vie
AE	Audit énergétique
AIE	Agence internationale de l'énergie
AFD	Agence française de développement
AIE	Agence internationale de l'énergie
AKST	Connaissances, sciences et technologies agricoles
BIO	Biologique
BTU	Unité thermique britannique
CA	Climatiseur
CAPEX	Dépenses en capital
CARICOM	Communauté des Caraïbes et marché commun
CC	Courant continu
CCSA	Caribbean Climate Smart Agriculture (Agriculture climato-intelligente dans les Caraïbes)
CEDEAO	Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest
CEEAC	Communauté économique des États de l'Afrique centrale
CH	Cheval-vapeur
CLOM	Cours en ligne ouvert et massif
CNSC	Charbon de bois à base de coquilles de noix de cajou
CNSL	Liquide de coquilles de noix de cajou
CNULD	Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone

COLEACP	Comité de liaison Europe-Afrique/Caraïbes/Pacifique
CSA	Agriculture climato-intelligente
CSC	Captage et stockage du CO <sub>2</sub>
CSP	Énergie solaire à concentration
CTA	Centrales de traitement d'air
DD	Développement durable
DEL ou LED	Diode électroluminescente
DOE-2	Un programme gratuit d'analyse énergétique des bâtiments, largement utilisé et accepté, qui permet de prédire la consommation d'énergie et les coûts énergétiques pour tous les types de bâtiments.
DTP	Énergie marémotrice dynamique (Dynamic Tidal Power)
EAPP	Eastern Africa Power Pool
É.-U.	États-Unis d'Amérique
Échéancier E&E	Calendrier d'exploitation et d'entretien
ED	Énergie durable
EE	Efficacité énergétique
EEA	Eau-Énergie-Aliments
EEEOA	Système d'échange d'énergie électrique ouest-africain
EIDP	États insulaires en développement du Pacifique
EnMS	Systèmes de gestion de l'énergie
EPA	Agence de protection de l'environnement
Éq CO <sub>2</sub>	Équivalent dioxyde de carbone
eQUEST	Un outil d'analyse de la consommation énergétique d'un bâtiment sophistiqué, mais facile à utiliser, qui fournit des résultats de niveau professionnel avec un niveau d'effort abordable.
ER	Énergies renouvelables
EVV	Entraînement à vitesse variable

FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FFOM	Forces, faiblesses, opportunités, menaces
Financement de la R&D	Financement de la recherche et du développement
GCA	Grenada Cocoa Association (Association grenadienne du cacao)
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIZ	Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit GmbH
GJ	Gigajoule
GmbH	Gesellschaft mit Beschränkter Haftung
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
GPS	Systèmes de positionnement global
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
Guide CEI	Guide de la Commission électrotechnique internationale
GW	Gigawatt
h	Heures
IAASTD	Évaluation internationale des sciences et technologies agricoles au service du développement
IAER	Initiative africaine pour les énergies renouvelables
IFOAM	Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique
IGSHPA	International Ground Source Heat Pump Association
IRE	Indicateurs de rendement énergétique
IRENA	Agence internationale pour les énergies renouvelables
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISV	Institut des services vétérinaires
IT	Technologies de l'information
J	Joules
kCal	Kilocalorie

kg	Kilogramme
kJ	Kilojoule
km	Kilomètre
km/h	Kilomètres par heure
kVA	Kilovolt-ampère
KW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-heure
l	Litre
LCCA	Analyse du coût du cycle de vie
LCO / LCOE	Coûts totaux moyens actualisés de l'énergie produite
LM	Lumen
m	Mètre
m <sup>2</sup>	Mètre carré
MCS	Mètres cubes standard
MEE	Mesures d'efficacité énergétique
MJ	Mégajoules
Mo	Méga-octet
m/s	Mètre par seconde
MW	Mégawatt
MWh	Mégawatt-heure
NCB	Noix de cajou brutes
Nord-REP	Projet d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique dans les pays ACP du Pacifique Nord
°C	Degrés Celsius
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OCGT	Turbine à gaz à circuit ouvert
ODD 7	Objectif de développement durable n° 7

OGE	Opportunités de gestion de l'énergie
ONG	Organisations non gouvernementales
OPEX	Dépenses d'exploitation
PAEGC	Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development
PCCE	Production combinée de chaleur et d'électricité
PEAC	Pool énergétique de l'Afrique Centrale
PDCA	Plan Do Check Act
PDF	Format de document portable
PEID	Petits États insulaires en développement
PEIDP	Petits États insulaires en développement du Pacifique
PESTLE	Politique, économique, sociale, technologique, légal et environnementale
PIB	Produit intérieur brut
Pi/s	Pieds par seconde
PME	Petites et moyennes entreprises
PMF	Plate-forme multifonction
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
Programme de microfinancement du FEM	Programme de microfinancement du Fonds pour l'environnement mondial
PV	Photovoltaïque
RDC	République démocratique du Congo
ROI	Retour sur investissement
s	Seconde
SADC	Communauté de développement de l'Afrique australe
SANGA	Renforcement des services d'élevage de l'Angola
SAPP	Southern African Power Pool
SCI	<i>Stockage à capteur intégré</i>

SE4ALL	Énergie durable pour tous
SER	Source d'énergie renouvelable
SMART	Spécifique, mesurable, acceptable, réaliste et situé dans le temps
TdR	Termes de référence
TEMP	Température
TGCC	Turbine à gaz à cycle combiné
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TRI	Taux de rendement interne
TRS	Temps de récupération simple
UE	Union européenne
UEI	Utilisations énergétiques importantes
US\$ / USD	Dollar américain
USAid	Agence des États-Unis pour le développement international
VAN	Valeur actualisée nette
W	Watt





# Glossaire

## GLOSSAIRE

<b>Accord de Cotonou</b>	Traité conclu entre l'Union européenne et le groupe des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique («pays ACP»). Il a été signé en juin 2000 à Cotonou, première ville du Bénin, par 78 pays ACP (Cuba n'a pas signé) et les quinze États membres de l'Union européenne d'alors. Il est entré en vigueur en 2003 et a ensuite été révisé en 2005 et 2010.
<b>Acteur</b>	Participant à une action ou à un processus.
<b>Adaptation au changement climatique</b>	Réponse au réchauffement planétaire et au changement climatique qui vise à réduire la vulnérabilité des systèmes sociaux et biologiques à des changements relativement soudains et à ainsi compenser les effets du réchauffement planétaire. Même si les émissions se stabilisaient relativement rapidement, le réchauffement de la planète et ses effets devraient durer de nombreuses années, et une adaptation au changement climatique qui en résulterait serait nécessaire. L'adaptation est particulièrement importante dans les pays en développement, car, selon les prévisions, ces pays seront les plus touchés par les effets du réchauffement climatique. Il faut savoir que la capacité et le potentiel d'adaptation des êtres humains (appelés «capacité d'adaptation») sont inégalement répartis entre différentes régions et populations, et que les pays en développement ont généralement moins de capacité d'adaptation (Schneider <i>et al.</i> , 2007). De plus, le degré d'adaptation est fonction de l'accent mis, localement, sur les questions environnementales. Par conséquent, l'adaptation exige une évaluation situationnelle de la sensibilité et de la vulnérabilité aux impacts environnementaux. La capacité d'adaptation est étroitement liée au développement social et économique (GIEC, 2007).
<b>Agriculture climato-intelligente, ou intelligente face au climat, telle que définie par la FAO</b>	L'agriculture climato-intelligente (CSA) est une approche qui contribue à guider les actions nécessaires pour transformer et réorienter les systèmes agricoles en vue de soutenir efficacement le développement et d'assurer la sécurité alimentaire dans un climat en pleine mutation. La CSA poursuit trois objectifs principaux : accroître durablement la productivité et les revenus agricoles ; s'adapter et renforcer la résilience au changement climatique ; et réduire et/ou éliminer les émissions de gaz à effet de serre, lorsque c'est possible.

La CSA est une approche permettant d'élaborer des stratégies agricoles à même d'assurer une sécurité alimentaire durable dans le contexte du changement climatique. La CSA fournit les moyens d'aider les intervenants, du niveau local au niveau national et international, à définir des stratégies agricoles adaptées aux conditions locales. La CSA est l'un des 11 secteurs pour la mobilisation des ressources dans le cadre des objectifs stratégiques de la FAO. Elle s'inscrit dans la vision de la FAO en faveur d'une alimentation et d'une agriculture durables et soutient l'objectif de la FAO de rendre l'agriculture, les forêts et les pêches plus productives et plus durables.

<b>Anthropique, dans le contexte du changement climatique</b>	Fait référence à la production de gaz à effet de serre émis par l'activité humaine. Sur la base de l'examen de carottes de glace polaire, les scientifiques sont convaincus que l'activité humaine a augmenté la proportion de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, à un rythme alarmant au cours des derniers siècles.
<b>Atténuation du changement climatique</b>	Consiste à prendre des mesures pour limiter l'ampleur ou le rythme du changement climatique à long terme. L'atténuation du changement climatique implique généralement une réduction des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES). Des mesures d'atténuation peuvent également être prises en augmentant la capacité des puits de carbone, par exemple par le reboisement. Les politiques d'atténuation peuvent réduire considérablement les risques associés au réchauffement planétaire d'origine humaine
<b>Avantages connexes</b>	Avantages de l'atténuation du changement climatique tels que définis dans le 4 <sup>e</sup> rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Il s'agit des avantages positifs liés à la réduction des gaz à effet de serre.
<b>Audit énergétique</b>	Inspection, étude et analyse des flux d'énergie pour la conservation de l'énergie dans un bâtiment, un procédé ou un système afin de réduire la quantité d'intrants énergétiques dans le système sans affecter négativement le(s) résultat(s). Dans le secteur de l'immobilier commercial et industriel, un audit énergétique est la première étape pour déterminer les possibilités de réduire les dépenses énergétiques et l'empreinte carbone.

- Bioénergie** Elle est constituée par des résidus d'élevage, des plantations forestières à rotation courte, des cultures énergétiques, la composante organique des déchets municipaux solides et autres flux de déchets organiques. Grâce à divers procédés, ces matières premières peuvent être utilisées directement pour produire de l'électricité ou de la chaleur, ou des combustibles gazeux, liquides ou solides. L'éventail des technologies bioénergétiques est large, et la maturité technique varie considérablement. L'évolution récente montre que la biomasse solide et les biocarburants liquides sont de plus en plus commercialisés au niveau international.
- Chaîne agro-alimentaire** Utilisé dans les études agro-économiques, ce terme désigne la combinaison d'agents et d'activités qui, s'agissant d'un produit ou d'un groupe de produits d'origine agricole, permettent la production de leur matière première, leur transfert dans le temps et l'espace, et leur transformation si nécessaire, tout en offrant la possibilité de s'adapter aux besoins et préférences des consommateurs.
- Chaîne de valeur** En agriculture, elle identifie l'ensemble des acteurs et des activités qui font passer un produit agricole initial de la production sur le terrain à la consommation finale, avec une valeur ajoutée au produit à chaque étape. Une chaîne de valeur peut être un lien vertical ou un réseau entre diverses organisations commerciales indépendantes et peut comprendre la transformation, l'emballage, le stockage, le transport et la distribution. Les termes « chaîne de valeur » et « chaîne d'approvisionnement » sont souvent utilisés de manière interchangeable.
- Changement climatique** Changement dans les régimes climatiques mondiaux ou régionaux, et plus particulièrement un changement apparent entre le milieu et la fin du XX<sup>e</sup> siècle et attribué en grande partie aux niveaux accrus de dioxyde de carbone atmosphérique produits par l'utilisation de combustibles fossiles.
- Commutation de combustible (fossile)** Remplacement d'une source d'énergie par une autre afin de répondre aux besoins en chaleur, en électricité et/ou en production d'électricité. En général, ce terme désigne les pratiques de certaines industries qui peuvent remplacer le gaz naturel, l'électricité, le charbon et le GPL sans modifier leurs équipements consommateurs et qui peuvent reprendre le même niveau de production après le changement.

<b>Coûts totaux actualisés de l'énergie produite (LCO)</b>	Également appelé coût de l'énergie nivelé, il correspond à la valeur actualisée nette du coût unitaire de l'électricité sur la durée de vie d'un actif de production. Il est souvent considéré comme une approximation du prix moyen que l'actif de production doit recevoir sur un marché pour atteindre le seuil de rentabilité au cours de sa durée de vie.
<b>Développement durable</b>	Il a été défini de nombreuses façons, mais la définition la plus souvent citée est celle de <i>Notre avenir à tous</i> , aussi connu sous le nom de Rapport Brundtland: «Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leur propres besoins».
<b>Économie à faible émission de carbone</b>	Économie à faible utilisation de combustibles fossiles, ou économie décarbonisée. Une économie basée sur des sources d'énergie à faible teneur en carbone qui a donc une production minimale d'émissions de gaz à effet de serre (GES) dans la biosphère, mais fait spécifiquement référence au dioxyde de carbone.
<b>Émissions de méthane entérique</b>	<p>(selon la FAO) La fermentation entérique est une partie naturelle du processus digestif des ruminants, où les microbes décomposent et fermentent les aliments présents dans le tube digestif ou le rumen. Le méthane entérique est un sous-produit de ce processus, et l'animal l'expulse par des rots. Les autres sous-produits du processus de fermentation sont des composés qui sont absorbés par l'animal pour produire du lait et de la viande.</p> <p>La quantité de méthane entérique émise par l'animal est directement liée au niveau d'ingestion, au type et à la qualité des aliments, à la quantité d'énergie consommée, à la taille, au taux de croissance, au niveau de production et à la température ambiante. Entre 2 et 12 % de l'apport énergétique d'un ruminant est généralement perdu lors du processus de fermentation entérique.</p> <p>Le méthane entérique est un polluant climatique à courte durée de vie et a une demi-vie de 12 ans – en comparaison avec le dioxyde de carbone, dont certaines parties restent dans l'atmosphère pendant des centaines, voire des milliers d'années. Le méthane emprisonne 84 fois plus de chaleur que le dioxyde de carbone au cours des deux premières décennies suivant sa libération dans l'air.</p>

- Énergie durable** Énergie qui est consommée à des taux insignifiants par rapport à son approvisionnement et qui a des effets collatéraux gérables, en particulier pour ce qui est des effets environnementaux. Une autre définition commune de l'énergie durable est un système énergétique qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins. Le principe d'organisation de la durabilité est le développement durable, qui inclut des quatre domaines interconnectés : écologie, économie, politique et culture.
- Énergie durable pour tous** Mission qui donne aux dirigeants les moyens de négocier des partenariats et de débloquer des fonds pour réaliser un accès universel à l'énergie durable, afin de contribuer à un monde plus propre, plus juste et plus prospère pour tous. Cette initiative a été lancée par le secrétaire général des Nations Unies en 2011. Il comporte trois objectifs interdépendants à atteindre d'ici 2030 : (i) assurer un accès universel aux services énergétiques modernes ; (ii) doubler le taux mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique ; et (iii) doubler la part des énergies renouvelables dans l'offre mondiale. De plus amples informations sont disponibles à l'adresse [www.se4all.org/](http://www.se4all.org/).
- Énergie éolienne** Elle exploite l'énergie cinétique de l'air en mouvement. La principale application pertinente pour l'atténuation du changement climatique est la production d'électricité à partir de grandes éoliennes situées sur terre (à terre), en mer ou en eau douce (offshore). Les technologies éoliennes terrestres sont déjà fabriquées et déployées à grande échelle. Les technologies de l'énergie éolienne en mer présentent un plus grand potentiel d'avancée technique continue. L'électricité éolienne est à la fois variable et, dans une certaine mesure, imprévisible, mais l'expérience et les études détaillées de nombreuses régions ont montré que l'intégration de l'énergie éolienne ne pose généralement aucun obstacle technique insurmontable.

**Énergie géothermique**

Utilisation de l'énergie thermique accessible de l'intérieur de la Terre. La chaleur est extraite des réservoirs géothermiques à l'aide de puits ou d'autres moyens. Les réservoirs qui sont naturellement suffisamment chauds et perméables sont appelés réservoirs hydrothermaux, tandis que les réservoirs qui sont suffisamment chauds mais qui sont améliorés par stimulation hydraulique sont appelés systèmes géothermiques améliorés (EGS). Une fois à la surface, des fluides de différentes températures peuvent être utilisés pour produire de l'électricité ou, plus directement, pour des applications nécessitant de l'énergie thermique, y compris le chauffage urbain ou l'utilisation de chaleur à basse température provenant de puits peu profonds pour des pompes à chaleur géothermiques employées à des fins de chauffage ou de climatisation. Les centrales hydrothermiques et les applications thermiques de l'énergie géothermique sont des technologies matures, tandis que les projets EGS en sont à la phase de démonstration et en phase pilote tout en étant également en cours de R&D. Lorsqu'elles sont utilisées pour produire de l'électricité, les centrales géothermiques offrent généralement un rendement constant.

**Énergie océanique**

Proviens de l'énergie potentielle, cinétique, thermique et chimique de l'eau de mer, qui peut être transformée en électricité, en énergie thermique ou en eau potable. Un large éventail de technologies sont possibles, comme des barrages pour l'amplitude des marées, des turbines sous-marines pour les courants de marée et les courants océaniques, des échangeurs de chaleur pour la conversion de l'énergie thermique des océans, et une variété de dispositifs pour exploiter l'énergie des vagues et des gradients de salinité. Les technologies océaniques, à l'exception des barrages marémoteurs, en sont aux phases de démonstration et de projets pilotes, et bon nombre d'entre elles nécessitent des activités de R&D supplémentaires. Certaines technologies ont des profils de production d'énergie variables avec différents niveaux de prévisibilité (p. ex., vagues, marée et courant), tandis que d'autres peuvent être capables d'un fonctionnement presque constant ou même contrôlable (p. ex., gradient thermique et de salinité des océans).

**Énergie secondaire**

Elle est livrée aux installations d'utilisation finale. C'est ce qu'on appelle l'énergie finale (p. ex., l'électricité à la prise murale), qui devient de l'énergie utilisable pour fournir des services (p. ex., l'éclairage).

**Énergie solaire directe**

Technologies qui exploitent l'énergie issue de l'irradiance solaire pour produire de l'électricité à l'aide du photovoltaïque (PV) et de l'énergie solaire à concentration (CSP), pour produire de l'énergie thermique (chauffage ou refroidissement, par des moyens passifs ou actifs), pour répondre aux besoins en éclairage direct et, éventuellement, pour produire des combustibles qui pourraient servir au transport et à d'autres fins. La maturité technologique des applications solaires va de la R&D (p. ex., combustibles produits à partir de l'énergie solaire) à la maturité (p. ex., chauffage solaire passif et actif et PV sur tranches de silicium) en passant par une maturité relative (p. ex., CSP). La plupart de ces technologies, mais pas toutes, sont de nature modulaire, ce qui permet leur utilisation dans des systèmes énergétiques centralisés et décentralisés. L'énergie solaire est variable et, dans une certaine mesure, imprévisible, bien que le profil temporel de la production d'énergie solaire corresponde relativement bien, dans certaines circonstances, à la demande énergétique. Le stockage d'énergie thermique offre la possibilité d'améliorer le contrôle de la puissance de certaines technologies telles que la CSP et le chauffage solaire direct.

**Hydroélectricité**

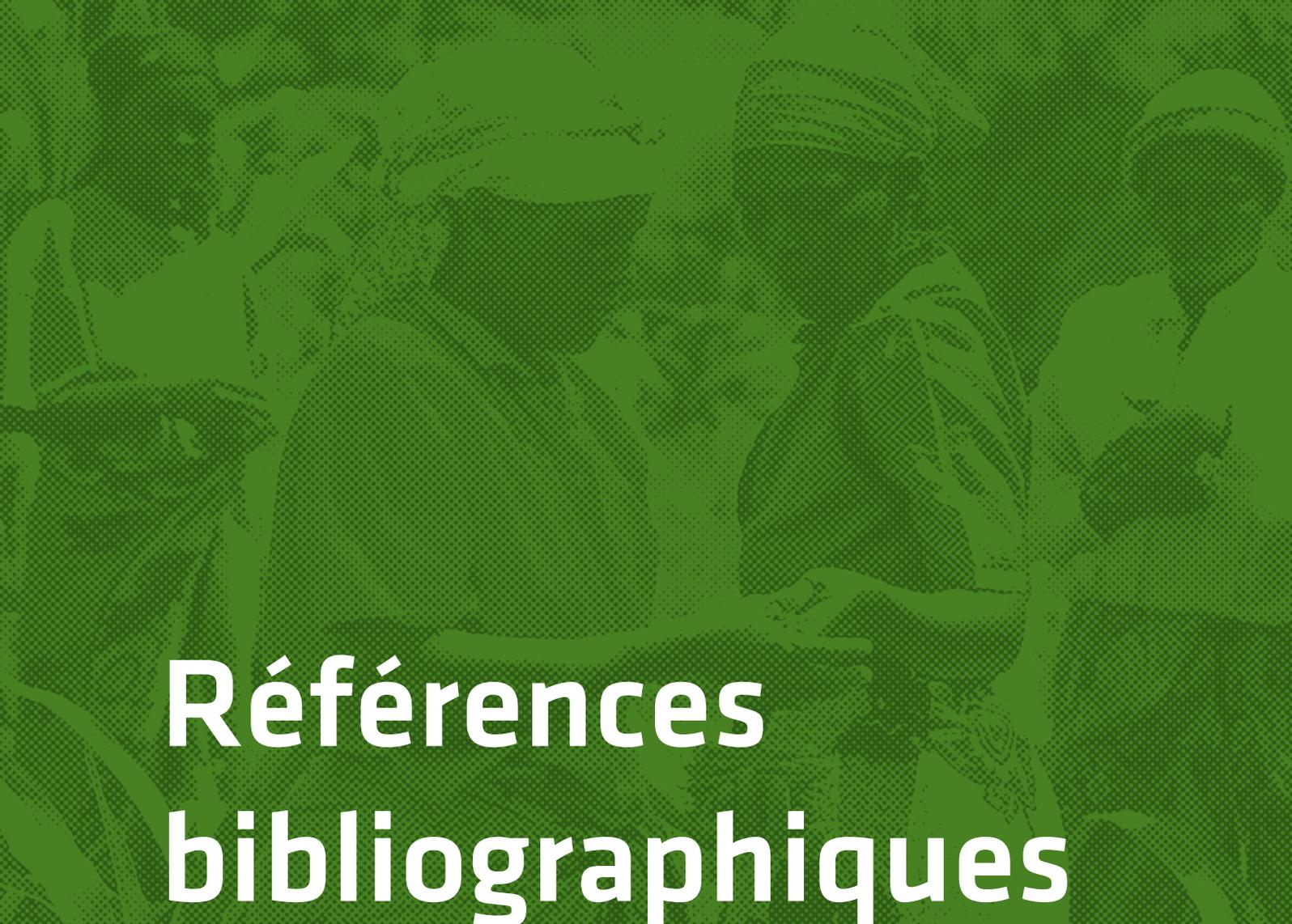
Exploitation de l'énergie de l'eau qui se déplace d'un point élevé vers un point plus bas, principalement pour produire de l'électricité. Les projets hydroélectriques englobent des projets de barrages avec réservoirs, des projets au fil de l'eau et des projets en cours d'eau et couvrent un continuum à l'échelle du projet. Cette variété donne à l'hydroélectricité la capacité de répondre aux grands besoins urbains centralisés ainsi qu'aux besoins ruraux décentralisés. Les technologies hydroélectriques sont matures. Les projets hydroélectriques exploitent une ressource qui varie dans le temps. Toutefois, la production contrôlable fournie par les centrales hydroélectriques dotées de réservoirs peut être utilisée pour répondre à la demande d'électricité de pointe et aider à équilibrer les systèmes électriques qui possèdent une grande part d'ER variables. L'exploitation de réservoirs hydroélectriques reflète souvent leurs usages multiples, par exemple l'eau potable, l'irrigation, la lutte contre la sécheresse et les inondations, la navigation, ainsi que l'approvisionnement énergétique.

**Partie prenante**

Personne, telle qu'un employé, un client ou un citoyen, qui est impliquée dans une organisation, une société, etc. et qui a donc des responsabilités envers elle et un intérêt dans son succès (source : Cambridge Dictionary disponible à l'adresse [dictionary.cambridge.org/dictionary/english/stakeholder](http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/stakeholder)).

<b>Piégeage et stockage du dioxyde de carbone</b>	Piégeage du dioxyde de carbone produit par la combustion de combustibles fossiles ou par tout autre procédé chimique ou biologique et son stockage de manière à ce qu'il ne puisse affecter l'atmosphère.
<b>Progression par bond (<i>Leafrog technologies</i>)</b>	Notion selon laquelle les zones dont la base technologique ou économiques est peu développée peuvent progresser rapidement par l'adoption de systèmes modernes, sans passer par des étapes intermédiaires.
<b>Puits de carbone</b>	Forêts, océans ou autres milieux naturels considérés en fonction de leur capacité à absorber le dioxyde de carbone de l'atmosphère.
<b>Résilience face au changement climatique</b>	Elle peut généralement être définie comme la capacité d'un système socio-écologique à: (1) absorber les contraintes et maintenir sa fonction face à des contraintes externes qui lui sont imposées par le changement climatique et (2) s'adapter, se réorganiser et évoluer vers des configurations plus souhaitables qui améliorent la durabilité du système, le laissant mieux préparé aux impacts futurs du changement climatique.
<b>Services écosystémiques</b>	<p>Avantages que les personnes tirent des écosystèmes. Il s'agit notamment de services d'approvisionnement tels que la nourriture et l'eau, de services de régulation tels que la lutte contre les inondations et les maladies, de services culturels tels que les avantages spirituels, récréatifs et culturels et de services de soutien tels que le recyclage des éléments nutritifs qui maintient les conditions de la vie sur Terre. Les services écosystémiques entrent dans les catégories suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Services d'approvisionnement: produits obtenus à partir d'écosystèmes, y compris, par exemple, les ressources génétiques, les aliments et les fibres, et l'eau douce.</li> <li>• Services de régulation: avantages tirés de la régulation des processus écosystémiques, y compris, par exemple, la régulation du climat, de l'eau et de certaines maladies humaines.</li> <li>• Services culturels: avantages immatériels que les gens tirent des écosystèmes grâce à l'enrichissement spirituel, au développement cognitif, à la réflexion, aux loisirs et à l'expérience esthétique, y compris, par exemple, les systèmes de connaissances, les relations sociales et les valeurs esthétiques.</li> <li>• Services de soutien: services écosystémiques nécessaires à la production de tous les autres services écosystémiques. La production de biomasse, la production d'oxygène atmosphérique, la formation et la rétention des sols, le recyclage des éléments nutritifs, le cycle de l'eau et l'aménagement de l'habitat en sont quelques exemples (Green Facts).</li> </ul>

<b>Sécurité alimentaire</b>	(selon la FAO) Situation qui existe lorsque toutes les personnes, à tout moment, ont un accès physique, social et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive, qui répond à leurs besoins et à leurs préférences alimentaires pour une vie active et saine.
<b>Sources d'énergie primaire</b>	Elles sont incorporées dans les ressources naturelles (p. ex., charbon, pétrole brut, gaz naturel, uranium et sources renouvelables). L'Agence internationale de l'énergie (AIE) utilise la méthode du contenu énergétique physique pour la classification, selon laquelle l'énergie primaire est définie comme une énergie qui n'a subi aucune conversion anthropique. L'énergie primaire est transformée en énergie secondaire par nettoyage (gaz naturel), raffinage (du pétrole brut aux produits pétroliers) ou conversion (en énergie mécanique, électricité ou chaleur).
<b>Systèmes d'alimentation énergétiquement intelligents</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S'appuyer davantage sur des systèmes énergétiques à faible émission de carbone et utiliser l'énergie de manière plus efficace</li> <li>• Renforcer le rôle des énergies renouvelables dans les systèmes alimentaires</li> <li>• Assurer un meilleur accès à des services énergétiques modernes pour le développement, tout en soutenant la réalisation des objectifs nationaux de sécurité alimentaire et de développement durable</li> </ul>
<b>Système de paiement à l'utilisation</b>	Système dans lequel une personne ou une organisation paie les coûts de quelque chose au moment où ils surviennent plutôt qu'avant ou après.
<b>Tarifcation du carbone</b>	Méthode privilégiée par de nombreux économistes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre; elle fait payer ceux qui émettent du dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) pour leurs émissions. Cette taxe, appelée prix du carbone, correspond au montant qui doit être payé pour le droit d'émettre une tonne de CO <sub>2</sub> dans l'atmosphère.
<b>Triple gain</b>	Terme utilisé pour décrire les réussites dans les trois secteurs du DD, soit l'environnement, l'économie et la société.
<b>Vulnérabilité face au changement climatique</b>	Mesure dans laquelle un système est vulnérable ou incapable de faire face aux effets néfastes du changement climatique, y compris la variabilité et les extrêmes climatiques. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme des variations climatiques auxquelles un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.



# Références bibliographiques

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### *Références relatives au chapitre 1*

Alexandratos, N. et Bruinsma, J., «World Agriculture Towards 2030/2050», document de travail ESA n° 12-03, Division de l'économie agricole, Rome, FAO, 2012, [www.fao.org/economic/esa](http://www.fao.org/economic/esa).

GIZ GmbH, «Energy Audit Course Handbook for 200 hrs», Cours de formation pour les ingénieurs, 2<sup>e</sup> éd., mai 2017.

FAO, «Energy Smart Food for People and Climate», document de travail, Rome, FAO, 2011, disponible sur [www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf](http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf).

FAO, «Climate Smart Agriculture Sourcebook», Rome, FAO, 2013.

Green Facts, «Facts on Health and the Environment», disponible sur [www.greenfacts.org/glossary/def/ecosystem-services.htm](http://www.greenfacts.org/glossary/def/ecosystem-services.htm).

Guide CSA, disponible sur [csa.guide/csa/what-is-climate-smart-agriculture](http://csa.guide/csa/what-is-climate-smart-agriculture).

IAASTD, *Agriculture at a Crossroads*, rapport de synthèse, International Assessment of Agricultural Knowledge, Science & Technology for Development, Washington DC, Island Press, 2009.

IEA, «World Energy Outlook», Paris, OCDE/IEA, 2014, disponible sur [www.iea.org](http://www.iea.org).

IICIA, 2017, «Climate smart agriculture in the Eastern Caribbean States – A Compendium of Stories from Farmers: Solar crop dryer for climate resilience», 2017, pp. 1091-1103, disponible sur [creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/).

IPCC, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Summary for Policymakers and Technical Summary*, Rapport IPCC, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga et Y. Sokona (éds), 2012.

Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Thi Sen, P., Sessa, R., Reynolds, S., Tibu, A. et Torqueblau, E.F., «Climate smart agriculture for food security», *Nature Climate Change*, n° 4, 2014, pp. 1068-1072

NU, «Convention-cadre sur les changements climatiques», Accord de Paris, disponible sur [unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php).

OCDE, «Amélioration de l'efficacité énergétique dans la chaîne agroalimentaire», direction Commerce et Agriculture, direction Environnement, Groupe de travail conjoint sur l'agriculture et l'environnement, JT03414534, 2017.

Sims, R., Flammini, A., Puri, M. et Bracco, S.,  
*Agro-food Chains To Become Energy Smart*, Rome, FAO, 2015.

Smil, V., *Energy in nature and society – general energetic of complex systems*,  
Cambridge, Ma., MIT Press, 2008.

Wikipédia, « Combustible fossile », disponible sur  
[fr.wikipedia.org/wiki/Combustible\\_fossile](http://fr.wikipedia.org/wiki/Combustible_fossile).

### Références relatives au chapitre 2

Gardner, D., *Enabling the Environment for Renewable Energy Within the Caribbean: National Options & Regional Actions*, Paramaribo, Anton De Kom University, 2017.

GIZ GmbH, *Energy Audit Course Handbook for a 200-hours training course for engineers*, 2<sup>e</sup> éd., Aruba, NESP, 2017.

IFOAM, « Resource Efficiency and Organic Farming: Facing Up to the Challenge », 2011, disponible sur [www.ifoam-eu.org](http://www.ifoam-eu.org).

IRENA, « Solar pumping for irrigation: Improving livelihoods and sustainability », 2016, disponible sur [www.irena.org/publications/2016/Jun/Solar-Pumping-for-Irrigation-Improving-livelihoods-and-sustainability](http://www.irena.org/publications/2016/Jun/Solar-Pumping-for-Irrigation-Improving-livelihoods-and-sustainability).

Miketa, A. et Saadi, N., *Africa Power Sector: Planning and Prospects for Renewable Energy*, IRENA, Rapport de synthèse, 2015, disponible sur [www.irena.org/publications/2015/Mar/Africa-Power-Sector-Planning-and-Prospects-for-Renewable-Energy-synthesis-report](http://www.irena.org/publications/2015/Mar/Africa-Power-Sector-Planning-and-Prospects-for-Renewable-Energy-synthesis-report).

Motor, L., Isaka, M., Wade, H. et Soakai, A., « Pacific Lighthouses Renewable Energy Roadmapping for Islands », 2013, disponible sur [www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/Pacific-Lighthouse-Roadmapping.pdf](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/Pacific-Lighthouse-Roadmapping.pdf).

Peréz Lombard, Ortiz, J. et Velázquez, D., « Energy Efficiency », *Energy Efficiency*, vol. 6, n° 2, 2013.

Powering Agriculture, « Massive Online Open Course Reader Week 4 », chap. B3, « Sustainable Energy for Food », disponible sur [poweringag.org/frontpage](http://poweringag.org/frontpage).

USAid, « Empowering Agriculture Energy Options for Horticulture », 2009, disponible sur [ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1386.pdf](http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1386.pdf).

*Références relatives au chapitre 3*

Banque mondiale, Institut des ressources naturelles et FAO, *Missing Food: The Case of Postharvest Grain Losses in Sub-Saharan Africa*, Washington, DC., Banque mondiale, 2011.

FAO, « Global Food Losses and Food Waste, Extent Causes and Prevention », 2011, disponible sur [www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf](http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf).

IAASTD, *Agriculture at a Crossroads*, Rapport de synthèse, Washington DC, Island Press, 2009.

IPCC, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Summary for Policymakers and Technical Summary*, Rapport IPCC, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga et Y. Sokona (éds), 2012.

IRENA, *Renewable Energy benefits: Decentralised Solutions in the Agri-food Chain*, Abou Dabi, IRENA, 2016.

IRENA, *The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025*, Abou Dabi, IRENA, 2016.

Powering Agriculture MOOC, « Sustainable Energy for Food », disponible sur [poweringag.org/mooc](http://poweringag.org/mooc).

Sims, R., Flamini, A., Puri, M. et Bracco, S., *Opportunities for Agro-food Chains to become Energy Smart*, Rome, FAO, 2015.

Smil, V., *Energy and Civilisation – A History*, Cambridge, MIT Press, 2017.

Terrapon-Pfaff, J., Dienst, C. et König, J., « A cross-sectional review: impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in developing countries », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 40, 2014, pp. 1-10.

UNCCD, *Geopolitics, climate change and scarcity: the challenge of systemic trends. Land degradation, our blind spot*, Bonn, UNCCD, 2011.



# Sites Web utiles

## SITES WEB UTILES

ACP-EU Energy Facility  
[energyfacilitymonitoring.eu/](http://energyfacilitymonitoring.eu/)  
(en français et en anglais)

African Development Bank Sustainable Energy Fund for Africa  
[www.afdb.org/en/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/sustainable-energy-fund-for-africa/](http://www.afdb.org/en/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/sustainable-energy-fund-for-africa/)

AREI (Africa RE Initiative)  
[www.arei.org/](http://www.arei.org/)  
fournit des rapports en français et en anglais

Caribbean Development Bank Renewable Energy and Energy Efficiency  
[www.caribank.org/energy](http://www.caribank.org/energy)

GIZ Renewable Energy, energy efficiency and access to energy services  
[www.giz.de/en/worldwide/20886.html](http://www.giz.de/en/worldwide/20886.html)

Green Climate Fund (Pacific Islands)  
[www.greenclimate.fund/-/pacific-islands-renewable-energy-investment-program](http://www.greenclimate.fund/-/pacific-islands-renewable-energy-investment-program)

FAO  
[www.fao.org/energy/home/en/](http://www.fao.org/energy/home/en/)  
disponible en français, anglais et espagnol

International Energy Agency  
[www.iea.org/topics/renewables/](http://www.iea.org/topics/renewables/)

IRENA  
[www.irena.org/publications](http://www.irena.org/publications)

Renewable energy world  
[www.renewableenergyworld.com](http://www.renewableenergyworld.com)

Renewable Energy Caribbean  
[renewableenergycaribbean.com/tag/project-financing/](http://renewableenergycaribbean.com/tag/project-financing/)

Renewable energy world  
[www.renewableenergyworld.com](http://www.renewableenergyworld.com)

SE4ALL

[www.se4all.org/sites/default/files/2017\\_SEforALL\\_FR4\\_PolicyPaper.pdf](http://www.se4all.org/sites/default/files/2017_SEforALL_FR4_PolicyPaper.pdf)

Secretariat of the Pacific Regional Environment Program PIGGAREP

[www.sprep.org/Pacific-Islands-Greenhouse-Gas-Abatement-through-Renewable-Energy-Project/about-piggarep](http://www.sprep.org/Pacific-Islands-Greenhouse-Gas-Abatement-through-Renewable-Energy-Project/about-piggarep)

USAid Energy

[www.usaid.gov/what-we-do/economic-growth-and-trade/infrastructure/energy](http://www.usaid.gov/what-we-do/economic-growth-and-trade/infrastructure/energy)

West African Power Pool

[www.ecowapp.org](http://www.ecowapp.org)

World Bank Energy

[www.worldbank.org/en/topic/energy](http://www.worldbank.org/en/topic/energy)



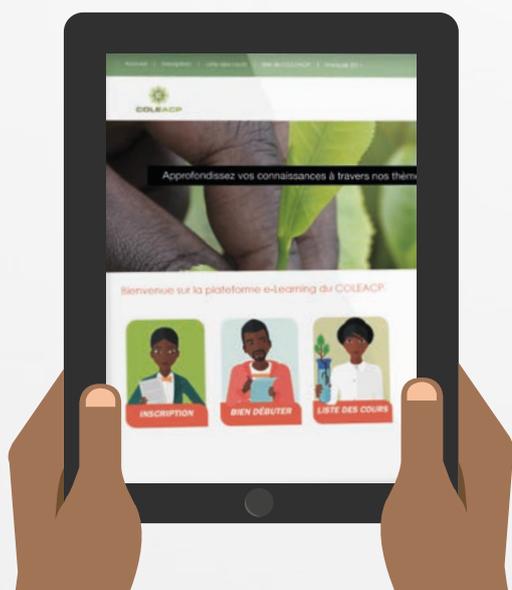
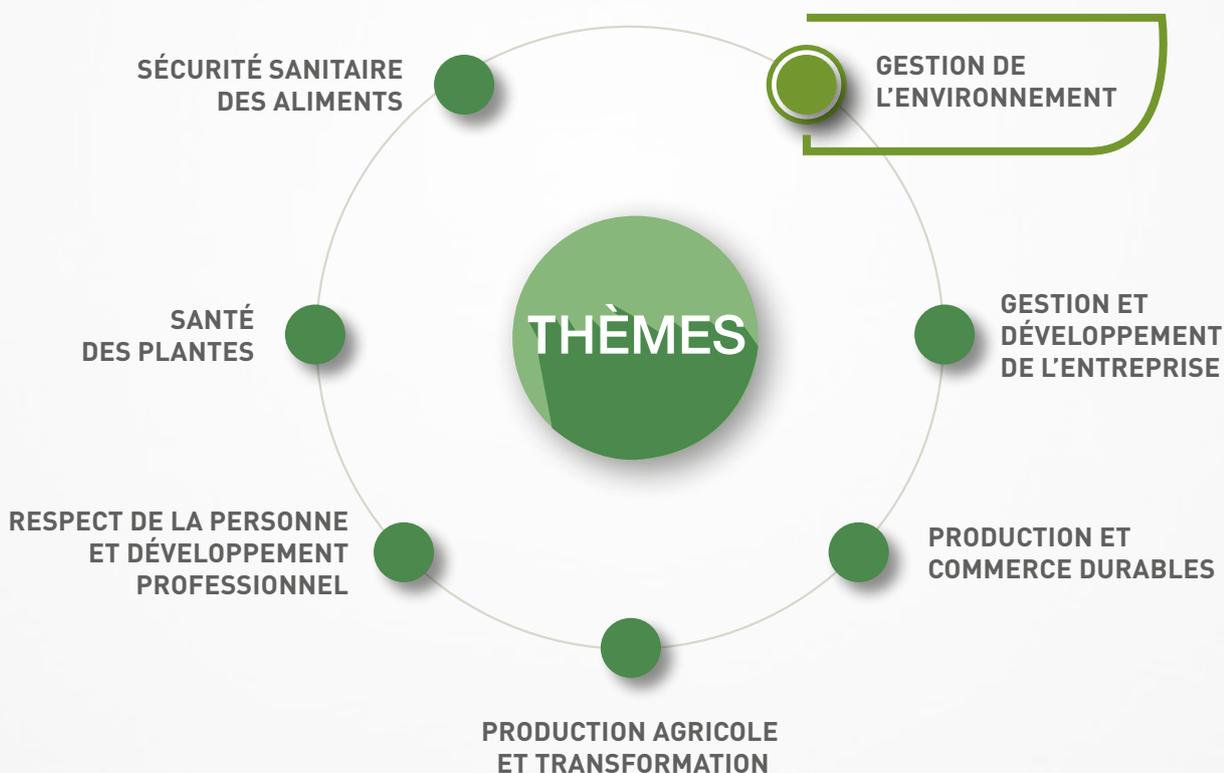




# PLATEFORME E-LEARNING DU COLEACP

RECEVEZ VOTRE ACCÈS À NOTRE PLATEFORME DE FORMATION À DISTANCE RÉSERVÉE AUX ACTEURS DU SECTEUR AGRICOLE DANS LES PAYS D'AFRIQUE, DES CARAÏBES ET DU PACIFIQUE.

TESTEZ ET AMÉLIOREZ VOS CONNAISSANCES À VOTRE RYTHME !



<https://training.coleacp.org>

PRODUCTION ET COMMERCE  
DURABLES

SANTÉ DES PLANTES

SÉCURITÉ SANITAIRE  
DES ALIMENTS

PRODUCTION AGRICOLE  
ET TRANSFORMATION

RESPECT DE LA PERSONNE ET  
DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL

**GESTION DE  
L'ENVIRONNEMENT**

GESTION ET DÉVELOPPEMENT  
DE L'ENTREPRISE

MÉTHODOLOGIES  
DE FORMATION