

Bonnes pratiques énergétiques dans les constructions agricoles

Aspects techniques et recommandations



Version du 25.11.2021

IMPRESSUM

AgroCleanTech association
c/o Union suisse des paysans
Belpstrasse 26
3007 Berne

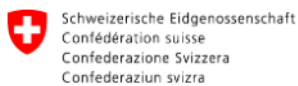
Direction de projet et Rédaction

Nathanaël Gobat	AgroCleanTech
Priska Stierli	AgroCleanTech
Sylvain Boéchat	Direction générale de l'agriculture et de la viticulture (DGAV), Etat de Vaud

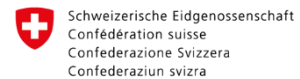
GROUPE DE TRAVAIL

Tobias	Anliker	Institut agricole de Grangeneuve
Alois	Cachelin	CNAV
Cédric	Linder	Fondation Rurale Interjurassienne
Mathias	Mauroux	Institut agricole de Grangeneuve
Vanessa	Ménétrier	Proconseil
Emile	Turin	Service de l'agriculture du Valais

Avec le soutien de



Office fédéral de l'agriculture OFAG
Office fédéral de l'énergie



Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN



Table des matières

1.	Introduction	4
1.1.	Utilisation du document	4
2.	Les aspects énergétiques dans la planification d'un bâtiment agricole	5
2.1.	Eléments de planification	5
2.2.	Consommations par catégories de bâtiment	7
2.2.1.	Elevage bovin	7
2.2.2.	Elevage et engraissement porcin	8
2.2.3.	Elevage avicole	9
2.2.4.	Serres maraichères	9
2.2.5.	Caves vinicoles	9
2.3.	Identification et complémentarités des mesures	10
3.	Infrastructures	12
3.1.	Isolation des étables fermées (élevage et engraissement de porcs et volailles)	13
3.2.	Récupération de chaleur du bâtiment	14
3.3.	Isolation des nids à porcelets	15
3.4.	Ventilation efficace	16
3.5.	Pose de luminaires LED	17
3.6.	Pompe à chaleur (PAC) air/eau eau/eau	18
3.7.	Capteurs solaires thermiques	19
3.8.	Biogaz agricole	20
3.9.	Photovoltaïque	21
3.10.	Stockage électrique	22
3.11.	Borne de recharge pour véhicules électriques	23
3.12.	Optimisation de l'autoconsommation	24
3.13.	Regroupement dans le cadre de la consommation propre (RCP) et raccordement électrique	25
3.14.	Chauffage à plaquettes/ pellets/bûches	26
3.15.	Stockage thermique (chaleur sensible)	27
4.	Processus	28
4.1.	Variateur de fréquence sur le moteur de la pompe à vide	29
4.2.	Installation pré-refroidisseur à lait	30
4.3.	Récupération de la chaleur du lait	31
4.4.	Boiler thermodynamique + boiler électrique	32
4.5.	Récupération de la chaleur en sous-toiture pour le séchage en grange	33
4.6.	Séchage en grange avec source externe de chaleur	34
4.7.	Séchage du foin par déshumidification de l'air	35
4.8.	Système d'antigel pour abreuvoir	36
4.9.	Electrification des processus	37
4.10.	Utilitaire électrique	38
4.11.	Climatisation par free-cooling directe pour caves vinicoles	39
4.12.	Optimisation du groupe froid de caves vinicoles	40
5.	Informations supplémentaires	41

1. Introduction

Ce document s'inscrit dans le cadre du projet CEPAR (Conseil Energétique pour l'Agriculture de Suisse Romande) destiné à développer et à fournir des références pour diminuer la consommation énergétique de l'agriculture.

Son objectif est de présenter les mesures de bonnes pratiques énergétiques pour les projets de nouvelle construction agricole. Il s'adresse à tous les porteurs de projets et aux acteurs impliqués (conseillers agricoles, architectes, fournisseurs de matériels et d'équipements, etc.).

Il vise à sensibiliser les maîtres d'ouvrage aux options envisageable en vue d'optimiser la consommation énergétique des différentes catégories de bâtiments agricoles. Il expose les grands principes des mesures à privilégier et donne les informations nécessaires pour obtenir des précisions complémentaires. Le but n'étant pas de fournir des explications détaillées mais d'identifier les marches suivre.

1.1. Utilisation du document

Ce document se divise en trois parties. La première présente les principaux éléments à prendre en considération dans la planification d'une nouvelle construction et identifie les postes de consommation par agent énergétique et branche de production. La seconde partie traite des mesures d'efficacité énergétique liées à l'infrastructure et aux équipements d'une construction ainsi qu'à son exploitation. La troisième aborde les mesures d'efficacité énergétique des processus agricoles, à savoir les étapes et activités concernant les divers domaines de production.

Les chapitres ci-après fournissent un inventaire exhaustif de mesures d'économie d'énergies à prévoir pour de nouvelles constructions, en considérant les économies d'énergie réalisables, la production d'énergies renouvelables et les investissements à consentir.

Cet inventaire fait état des différentes possibilités applicables aux bâtiments agricoles répartis en fonction des branches de production (production laitière, engraissement de bovins, détention de porcs et de volailles, viticulture, etc.). Une vue d'ensemble de l'inventaire est présentée sous forme de tableau (page 10) pour chaque branche de production (couleur spécifique). Un « X » signifie que la mesure touche l'infrastructure et un « / » signifie que la mesure concerne un processus de production (traite, alimentation, etc.).

Chaque mesure est présentée sous forme de fiche individuelle regroupant les principales informations relatives à leur mise en œuvre (investissement, rentabilité de la mesure, etc.).

Concernant les conditions de réalisation de la mesure, une appréciation qualitative est présentée sous forme de « + » dont la signification est la suivante :

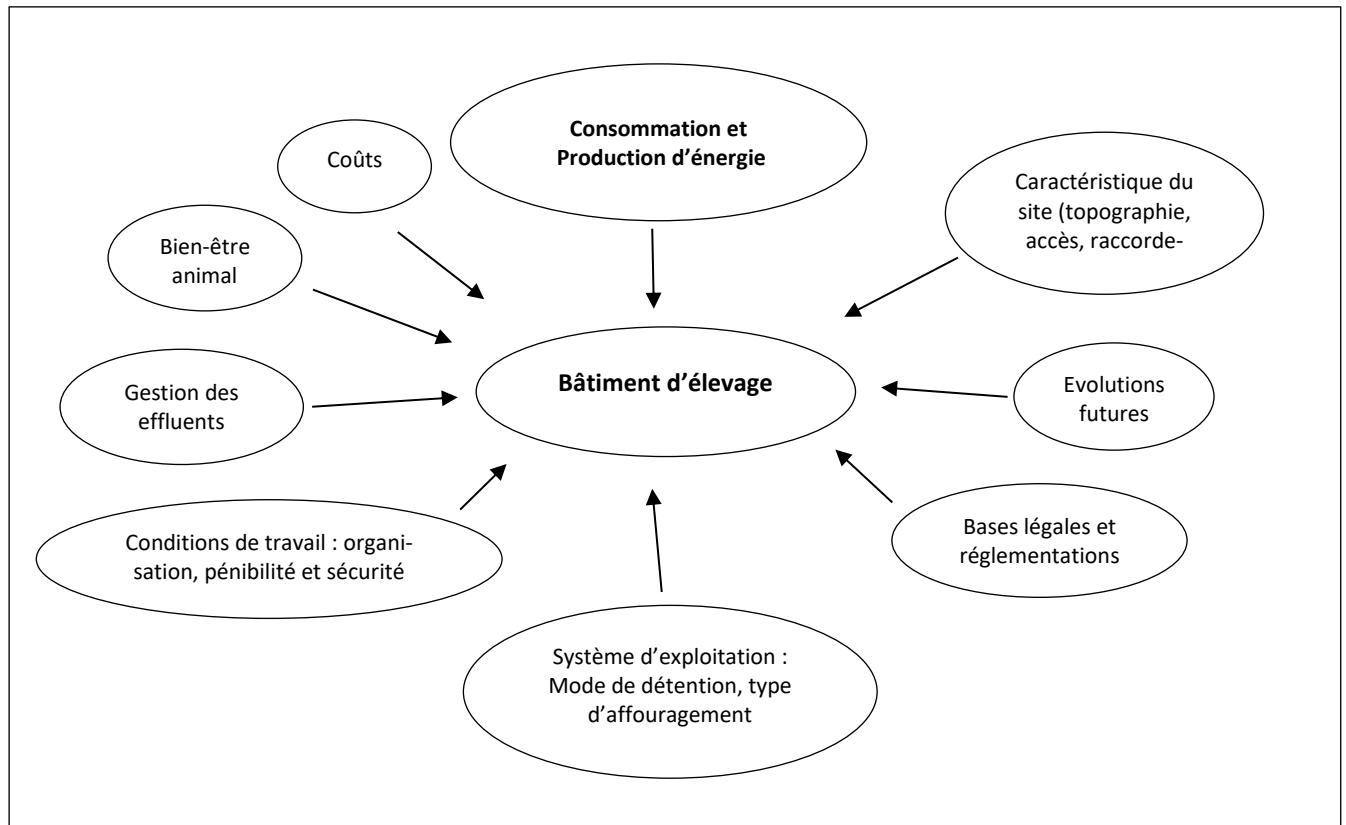
Mise en œuvre	Signification
+	Mise en œuvre facile, pouvant parfois être réalisée par l'agriculteur
++	Mise en œuvre nécessitant le recours à entreprise spécialisée, sans analyse supplémentaire car technologie connue
+++	Mise en œuvre complexe nécessitant une analyse supplémentaire (bilan thermique ou autre) et un suivi dans la réalisation

Tableau 1: Légende mise en œuvre

2. Les aspects énergétiques dans la planification d'un bâtiment agricole

La planification d'une nouvelle construction implique la prise en compte de plusieurs paramètres qui couvrent aussi bien les prescriptions légales, les conditions de détention du bétail, l'organisation du travail, etc. La figure ci-après présente ces différents critères.

Figure 1 : Eléments à considérer pour la planification d'une nouvelle construction



Source : Schéma adapté du Classeur « Machinisme et Constructions rurales », Agridea

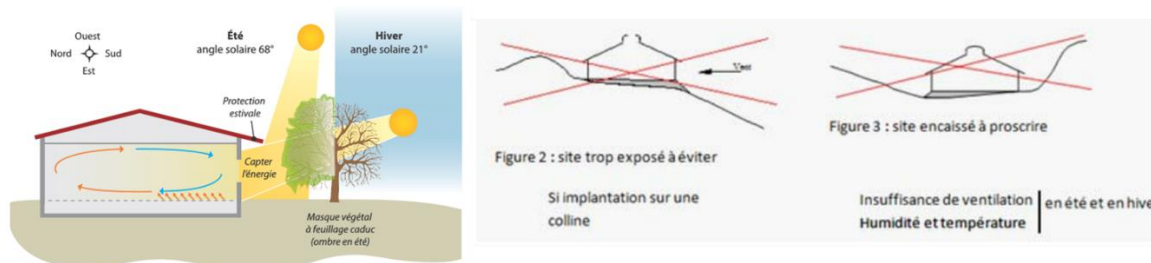
Parmi ces paramètres, la consommation et la production d'énergie constituent un élément pour lequel les options choisies auront une influence à long terme sur les coûts de fonctionnement du bâtiment. L'anticipation des besoins énergétiques du bâtiment (avant sa construction) nécessite de choisir et de dimensionner au mieux les équipements requis.

2.1. Eléments de planification

Il convient dans un premier temps de réfléchir à l'emplacement prévu pour la future construction (orientation, exposition, etc.) en s'appuyant sur la situation géographique et les conditions géologiques pour optimiser les qualités du bâtiment. Le choix du site doit tenir compte des éléments suivants :

- Limiter au maximum l'exposition au vent pour le bien-être du bétail (éviter les courants d'air) et réduire les risques de gel du système de circulation d'eau (éclatement des conduites, dégradation des appareils électroniques, etc.) ;
- Paradoxalement un bâtiment mal situé (terrain en cuvette, peu de courant) aura des problèmes d'humidité et d'aération ;
- Selon la situation, la plantation d'une haie d'arbres permet de couper le vent si la construction ne peut pas être correctement orientée ;
- Favoriser l'éclairage naturel en privilégiant l'ensoleillement dans la conception du bâtiment et en réduisant l'effet d'éventuelles ombres portées ;

- Dans le secteur de la volaille et de la production porcine, l'utilisation du solaire passif (valorisation de la chaleur naturelle au moyen d'un dimensionnement adapté des fenêtres et de l'avant-toit) permet de couvrir une partie des besoins de chauffage et de contribuer au bien-être des animaux.



Source: «Guide du bâtiment d'élevage à énergie positive (BEBE+)», Chambres d'agriculture Bretagne/Loire, 2013

Aménagements intérieurs

Dans la mesure du possible, l'aménagement des infrastructures et la disposition des composantes d'un bâtiment d'élevage doivent être planifiés de manière à :

- Optimiser les déplacements des véhicules : éviter les parcours inutiles et les trop longues distances contribuent à réduire les consommations d'énergie et à réduire le temps de travail, dans les tâches suivantes :
 - Le stockage et la reprise des fourrages : proximité avec l'aire d'affouragement
 - La gestion des engrais de ferme : mode d'évacuation et distance jusqu'à la fosse resp. la fumière
 - Le paillage : stockage, manutention et préparation de la litière
 Tout déplacement supplémentaire renchérit le coût de production.
- Favoriser les lois de la gravitation pour l'évacuation (engrais de ferme) ou la manutention (paille et fourrage)
- La collecte des eaux de pluie, notamment des toitures, peut s'avérer avantageuse pour le lavage des sols, ou du matériel, par exemple. Avec un système de filtration adéquat, une citerne de 200 m³ sous terre permet une bonne autonomie en eau d'un mois sans précipitations pour un troupeau de 90 bêtes (50 vaches laitières et 40 génisses/taries/jeune bétail).

Choix des équipements

Choisir des équipements adaptés (dimensionnement, puissance) aux besoins de l'exploitation. Limiter les surdimensionnements des équipements de chauffage, tracteurs, éclairage, etc. :

- De manière générale, on privilégiera les équipements électriques pour l'évacuation des effluents d'élevage et le brassage de la fosse à lisier.
- Pour les engins mobiles, on cherchera à optimiser le couple « tracteur + outil » pour éviter les gaspillages d'énergie liés à l'utilisation d'un tracteur beaucoup trop puissant.
- A relever qu'en matière d'outils de manutention (chargeurs articulés ou télescopiques), de plus en plus de constructeurs proposent des modèles électriques. Cette option, qui présente plusieurs avantages (substitution aux énergies fossiles, moins de bruit dans l'étable, pas de gaz d'échappement) mérite d'être réfléchi en parallèle à la pose éventuelle d'une installation photovoltaïque et d'une borne de recharge.

2.2. Consommations par catégories de bâtiment

Les paragraphes ci-après présentent la répartition des consommations énergétiques selon la vocation des bâtiments.

2.2.1. Elevage bovin

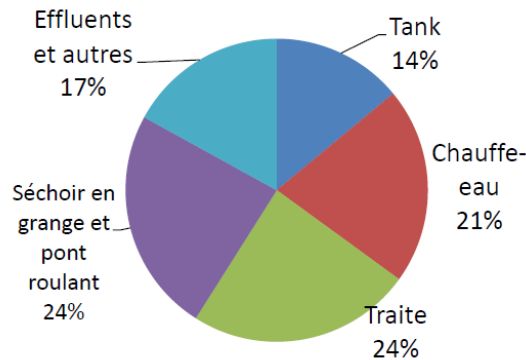
En élevage bovin, les éléments déterminants en matière de consommation d'énergie varient fortement en fonction des orientations : production laitière (lait de fromagerie, lait d'ensilage), vaches allaitantes et engraissement.

Production laitière

Les principaux postes de consommation en production laitière concernent les opérations liées à :

- Traite : fonctionnement de la salle de traite (pompe à vide), préparation d'eau chaude (électricité), refroidissement du lait (lait d'industrie principalement)
- Affouragement : reprise et distribution du fourrage (carburant et/ou électricité)
- Evacuation et la gestion des effluents d'élevage (engrais de ferme), carburant et/ou électricité
- Séchage en grange : le fonctionnement du ventilateur génère une consommation importante d'électricité.

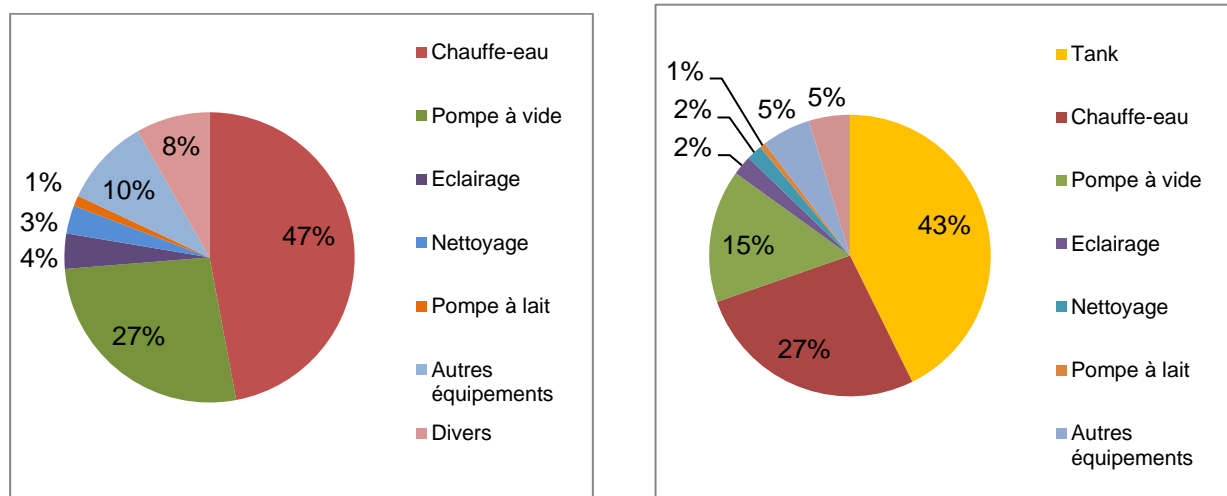
Figure 2 : Répartition des consommations énergétiques en production laitière



Source : CNAV

En raison des besoins liés au refroidissement du lait, les exploitations de lait d'ensilage ont une consommation d'électricité plus importante que celles de lait de fromagerie. Les schémas ci-dessous illustrent la répartition des besoins en électricité du bloc traite pour ces deux filières.

Figure 3 : Répartition des consommations d'énergie du bloc traite en lait de fromagerie (à gauche) et lait d'ensilage (à droite)



Source : DGAV, 2019

Dans ce contexte, l'optimisation de la consommation d'énergie se traduira par :

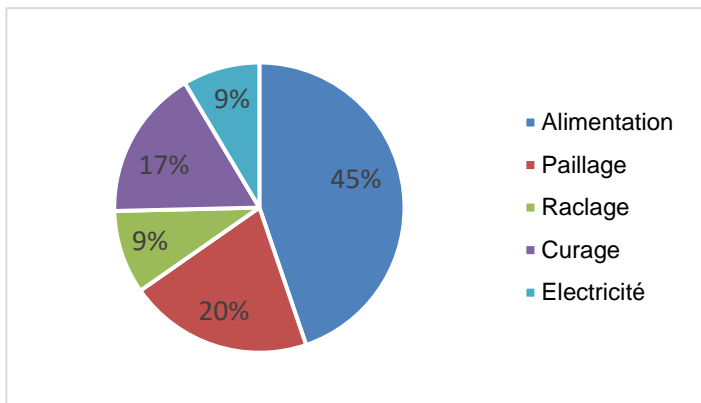
- L'utilisation de matériels moins gourmands (basse consommation)
- La récupération d'énergie (p.ex. : récupérateur de chaleurs sur le tank à lait)
- L'installation d'équipements réduisant les besoins (pré-refroidisseur à lait, variateur de fréquence pompe à chaleur).

Bovins viandes (allaitant et engraissement)

La répartition de la consommation d'énergie dans les bâtiments de vaches allaitantes et d'engraissement s'établit selon les activités suivantes :

- L'alimentation (distribution du fourrage au moyen d'une remorque mélangeuse)
- Le paillage
- Le raclage des effluents
- Le curage (évacuation des fumiers)
- L'alimentation électrique des équipements (principalement l'éclairage)

Figure 4 : Répartition des consommations d'énergie pour vaches allaitantes



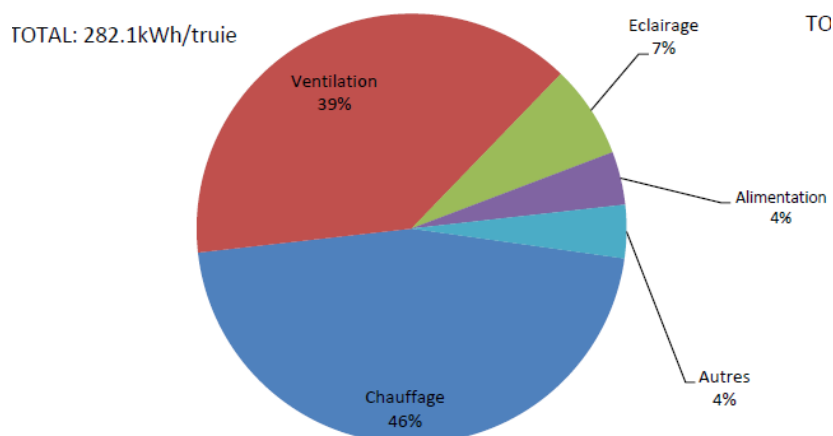
Source : DGAV, 2019

Dans la majeure partie des cas, la distribution du fourrage, le paillage et le curage s'effectuent au moyen d'engins à moteurs thermiques (consommation de diesel). Les économies d'énergie à privilégier, concerneront essentiellement les possibilités de réduction et de substitution des énergies fossiles.

2.2.2. Elevage et engraissement porcin

Dans la filière porcine, les principaux postes de consommation d'énergie concernent le chauffage, la ventilation, l'alimentation et l'éclairage.

Figure 5 : Répartition des consommations d'énergie en élevage porcin



Source : CNAV

Dès lors, un projet de nouvelle construction devra prioriser l'optimisation de la consommation d'énergie de chauffage, en privilégiant d'une part une bonne isolation du bâtiment, la récupération de chaleur au moyen d'échangeurs et le pilotage de la température au moyen de capteurs dédiés.

2.2.3. Elevage avicole

De la même manière que pour la filière porcine, l'énergie de chauffage nécessaire selon les stades de croissance, représente la part la plus élevée de la consommation énergétique pour les poulets d'engraissement (la détention de poules pondeuses ne nécessite pas de chauffage) de cette catégorie de bâtiment (environ 80% de la consommation totale d'énergie). Les besoins en électricité se répartissent entre la ventilation, l'éclairage et la distribution de l'alimentation.

Lors de la planification d'un nouveau projet, il s'agira de mettre en place les mesures relatives à l'optimisation de l'énergie de chauffage (isolation, récupération de chaleur, pilotage de la température), sans négliger les besoins relatifs à la ventilation et à l'éclairage.

Les valeurs de consommation de référence pour la branche sont les suivantes :

- Poules pondeuses :
 - Electricité : 2000 kWh électrique / 1000 places / an
- Poulets d'engraissement :
 - Electricité : 3000 kWh électrique / 1000 places / an
 - Chauffage : 18'000 kWh chauffage / 1000 places / an

2.2.4. Serres maraichères

En maraîchage (cultures sous serre avec fondations permanentes) les sources de consommation d'énergie concernent le chauffage à hauteur de 95% et 5% pour l'électricité (éclairage et alimentation des équipements). Les mesures à prévoir concerneront donc, l'approvisionnement en chaleur, la récupération de chaleur, l'isolation et l'optimisation de équipements électriques. Avec en point de mire la gestion du climat intérieur au moyen d'outils informatiques (logiciels, sondes).

Les valeurs de consommation de référence pour la branche sont les suivantes :

- Serre maraîchères :
 - Total : 210 kWh/m²
 - Electricité : 9 kWh/m²
 - Chauffage : 200 kWh/m²
- Serres horticoles :
 - Total : 160 kWh d'énergie/m²
 - Electricité : 7 kWh/m²
 - Chauffage : 153 kWh/m²

2.2.5. Caves vinicoles

En Suisse, les références de consommation énergétique pour les processus de vinification font défaut. Il est cependant possible d'identifier les principaux consommateurs intervenant lors des différentes opérations réalisées en cave. Il s'agit principalement des besoins de chauffage, de climatisation et d'électricité.

Pour cette branche de production, les valeurs de consommation de référence sont les suivantes :

- < 150'000 l. vinifiés / an : 30 kWh électrique / hl vin
- >150'000 l. vinifiés /an : 20 kWh électrique / hl vin

2.3. Identification et complémentarités des mesures

Ce document présente toute une série de mesures individuelles concernant l'efficacité énergétique et la production d'énergies renouvelables. Le choix de retenir et d'appliquer l'une ou l'autre de ces mesures dans un nouveau projet de production doit également conduire à une réflexion plus large sur les synergies à exploiter :

Exemple de la production d'électricité renouvelable :

- Identification des besoins d'électricité de l'exploitation
- Choix de la technologie (p.ex. : Photovoltaïque. Fiche 3.9)
- Possibilités de valoriser la production :
 - Autoconsommation (Fiche 3.12):
 - Installation d'une borne de recharge (Fiche 3.11)
 - Acquisition d'utilitaire électrique (Fiche 4.10)
 - Electrification des processus (Fiche 4.9)
 - Stockage électrique (Fiche 3.10)
 - Regroupement de consommateurs (RCP) (Fiche 3.13)

Domaine	Nom de la mesure	Branche de production						No	Page
		Production laitière	Engraissement bovins	Porcs	Volaille	Viticulture	Serres		
Eclairage	Pose de luminaires LED	X	X	X	X	X	X	3.5	17
Traite	Variateur de fréquence sur le moteur de la pompe à vide	/						4.1	29
Conditionnement lait	Installation d'un pré-refroidisseur à lait	/						4.2	30
	Récupération de chaleur du lait	/						4.3	31
Préparation eau chaude	Boiler thermodynamique + boiler électrique	/						4.4	32
	Capteurs solaires thermiques	X		X	X	X		3.7	19
Chauffage bâtiments	Pompe à chaleur (PAC) air/eau ou air/air	X		X	X	X	X	3.6	18
	Chauffage plaquettes/bûches	X		X	X		X	3.14	26
Enveloppe du bâtiment	Isolation du bâtiment			X	X			3.1	13
	Récupération de chaleur du bâtiment			X	X	X	X	3.2	14
	Isolation des nids à porcelets			X				3.3	15
Ventilation & climatisation	Ventilation efficace			X	X		X	3.4	16
	Climatisation par freecooling directe			/		/		4.11	39
	Optimisation du groupe froid					/		4.12	40
Détection du bétail	Système antigel abreuvoir	/	/	/	/			4.8	36
	Electrification des processus	/	/	/	/	/	/	4.9	37
Séchage du foin	Récupération de la chaleur en sous-toiture	/	/					4.5	33
	Séchage du foin avec source de chaleur externe	/						4.6	22
	Séchage du foin par déshumidification de l'air	/						4.7	35
Mobilité électrique	Utilitaire électrique	/	/	/	/	/	/	4.10	38
	Borne de recharge	X	X	X	X	X	X	3.11	23
Production électrique & Stockage	Biogaz agricole	X	X	X	X			3.8	20
	Photovoltaïque	X	X	X	X	X	X	3.9	21
	Stockage électrique	X	X	X	X	X	X	3.10	22
	Regroupement dans le cadre de la consommation propre	X	X	X	X	X	X	3.13	25
	Optimisation de l'autoconsommation	X	X	X	X	X	X	3.12	24
	Stockage thermique (chaleur sensible)	X		X	X	X	X	3.15	27
Légende	X = infrastructures								
	/ = processus								

Tableau 2: Liste des mesures d'efficacité dans les nouvelles constructions agricoles par domaine

3. Infrastructures

Ce chapitre présente les mesures d'efficacité énergétique pour les infrastructures agricoles ainsi que les possibilités de production d'énergie renouvelable. La plupart de ces mesures doivent être planifiées et réalisées lors de la construction du bâtiment, car leur intégration sur un bâtiment existant entraîne des surcoûts parfois difficilement amortissables sur la durée de vie restante. Des mesures spécifiques à chaque branche de production sont présentées.

3.1. Isolation des étables fermées (élevage et engraissement de porcs et volailles)

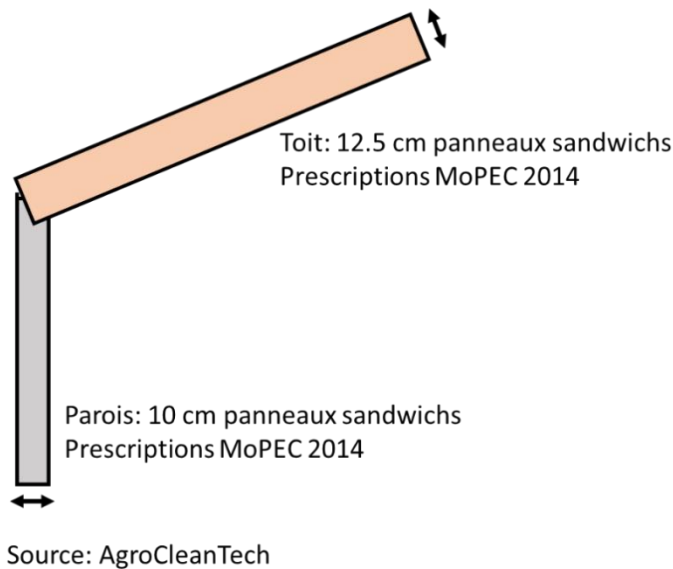


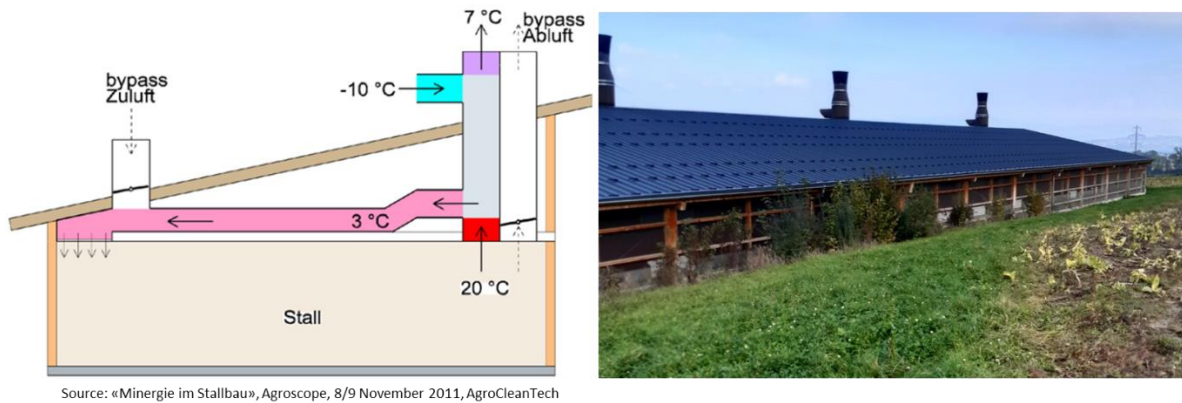
Figure 6: Schéma isolation étable volaille

Les bâtiments destinés à l'élevage de porcs et de volaille nécessitent beaucoup de chaleur. Ce poste peut représenter jusqu'à 80% de la consommation d'énergie pour ces filières. Pour réduire les besoins d'énergie de chauffage, une bonne isolation de l'enveloppe du bâtiment constitue une option efficace à intégrer dès la planification du projet. De manière générale, on utilise des panneaux sandwichs en polyuréthane (PUR) dont le coefficient de transmission thermique (perte de chaleur à travers le panneau, exprimée en Watt par mètre carré Kelvin) diminue proportionnellement à l'épaisseur de l'isolation, p.ex. : 8 cm d'épaisseur = 0.30 W/m²K ; 12 cm = 0.2 W/m²K.

Investissement [CHF]	Isolation : ~50.- CHF/m ² (sans compter montage)
Agent énergétique économisé, Economie	Chauffage : économie 20-40% par rapport à isolation standard
Amortissement de la mesure	Amortissement : 10-12 ans. Durée de vie technique : 25 ans (âge du bâtiment)
Difficulté de mise en œuvre	+ (constructeurs d'étables)
Avantages	Réduction des coûts de l'énergie Pas d'entretien
Inconvénients	Investissement initial plus important
Informations complémentaires	Rapport ART No 735 : « Diviser la consommation d'énergie du chauffage et de la ventilation par deux et plus » Guide du bâtiment d'élevage à énergie positive : <ul style="list-style-type: none"> « Solutions pour réduire sa consommation d'énergie et produire des énergies renouvelables dans la filière porcine », IFP Solutions pour réduire sa consommation d'énergie et produire des énergies renouvelables dans la filière volailles de chair », ITAVI Etude Minergie A-P, Mastgefügelstall, Monitoringsbericht (Résumé en français)

Tableau 3: Caractéristiques isolation étables de volaille

3.2. Récupération de chaleur du bâtiment



Source: «Minergie im Stallbau», Agroscope, 8/9 November 2011, AgroCleanTech

Figure 7: Schéma récupérateur de chaleur

Le chauffage des étables de volaille d'engraissement est principalement réalisé à partir de propane (brûleur similaire au gaz naturel). Certaines exploitations utilisent des chauffages à bois (plaquettes) ou des pompes à chaleur (PAC avec sonde géothermique).

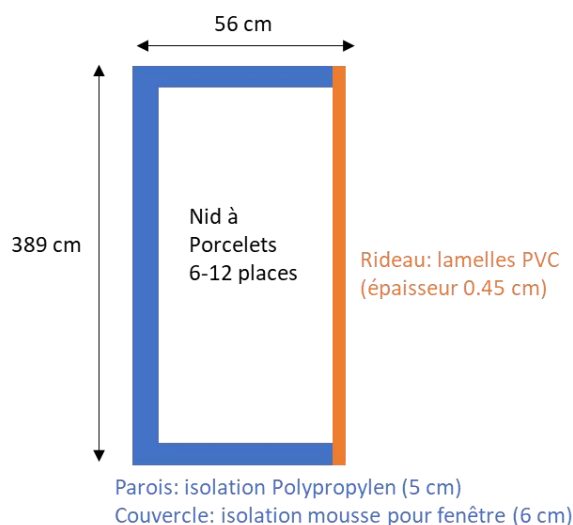
L'installation d'un échangeur de chaleur/récupérateur permet de réduire la sollicitation du système de chauffage. Le principe consiste à récupérer l'énergie contenue dans l'air « sortant » (vicié et chaud) et de la transférer à l'air « entrant » (propre et froid). Le réchauffement de l'air entrant ainsi de maintenir la température de l'air ambiant. Selon le volume de l'étable, il est nécessaire de mettre plusieurs récupérateurs de chaleur.

Cette mesure est préconisée pour toutes les étables de poulets d'engraissement et peut dans certains cas, concerner les étables porcines, les serres et les caves viticoles.

Investissement [CHF]	10'000-15'000 CHF/récupérateur (en fonction de la taille)
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Gaz propane : économie 50% (9 kWh/place/an), soit env. 1 CHF/place/an Amortissement : 6-8 ans. Durée de vie technique : 25 ans
Difficulté de mise en œuvre	++ (constructeurs d'étables de volaille d'engraissement)
Avantages	Coûts d'énergie faibles Peu d'entretien (nettoyage des filtres)
Inconvénients	Investissement initial plus important
Informations complémentaires	Rapport ART, No 735 : « Diviser la consommation d'énergie du chauffage et de la ventilation par deux et plus » Etude Minergie A-P, Mastgeflügelstall, Monitoringsbericht (Résumé en français)

Tableau 4: Caractéristiques récupérateur de chaleur

3.3. Isolation des nids à porcelets



Source: AgroCleanTech

Figure 8: Isolation de nid à porcelets

L'élevage de porcelets requiert un besoin important de chaleur (croissance depuis la mise bas jusqu'au sevrage complet), soit env. 2'000 kWh de chaleur/nid/an (rotation de 3 truies/nid/an). La majorité du chauffage des nids s'effectue au moyen de résistances électrique (lampes UV). La meilleure manière de diminuer cette consommation thermique consiste à installer des nids à porcelets isolés et équipés d'une régulation de température. Le programme d'efficacité énergétique « Nids à porcelets » conduit par AgroCleanTech de 2018 à 2021 pour l'assainissement d'anciens nids à porcelets avec les constructeurs de porcherie (ATX Suisse, Krieger AG, Frey Stalteinrichtungen AG et Huber Kontech) a permis d'équiper env. 2'000 nids à porcelets et 1'000 nids post-sevrage et de confirmer les avantages ainsi que l'efficacité de cette solution.

Un programme suite de soutien « Nids à porcelets II » soutient financièrement la rénovation de nids à porcelets/post-sevrage à hauteur de 15% des coûts d'investissement. Ce programme dure de 2022 à 2025 et est porté par AgroCleanTech (plus d'informations sur le site d'AgroCleanTech).

Un nid à porcelets isolé consomme 500 kWh électrique/an (100 CHF électricité/an) au lieu de 2'000 kWh/an (500 CHF d'électricité/an). Cette mesure est préconisée pour chaque assainissement ou lors de la construction de porcheries de mises bas et dans les porcheries de post-sevrage.

Investissement [CHF]	3'000 CHF/nid isolé (moyenne)
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Electricité (chauffage) : économie 50-70% par rapport à solution standard Amortissement : 8-10 ans. Durée de vie technique : 15 ans
Difficulté de mise en œuvre	++ (constructeurs et fournisseurs d'équipements de porcherie) Les principaux constructeurs de porcheries d'élevage ont participé au programme de soutien « Nids à porcelets » 2018-2021
Avantages	Coûts d'énergie faibles Pas d'entretien, meilleure hygiène
Inconvénients	Investissement initial plus important (3'000 CHF/nid isolé)
Informations complémentaires	AgroCleanTech : « Sparpotential durch energieeffizienter Ferkelnester », Rapport ART No 704 : « Comparaison des nids à porcelets »

Tableau 5: Caractéristique isolation des nids à porcelets

3.4. Ventilation efficace



Figure 9: Ventilation efficace : mauvais exemple (gauche), bon exemple (droite)

Dans les étables fermées (porcheries et poulaillers), la ventilation est nécessaire pour assurer le renouvellement de l'air. Dans les étables de poulets d'engraissement, il est important que la ventilation soit correctement réglée afin de ne pas fonctionner en même temps que le chauffage du bâtiment (déperditions thermiques importantes). Les aspects ci-dessous de la ventilation sont à considérer :

- Régulation de la ventilation par sonde de CO₂. Une mesure de CO₂ permet de connaître le besoin de ventilation réel des animaux.
- Ventilation naturelle. Pour les porcheries d'engraissement, la ventilation naturelle doit être au maximum utilisée (utilisation des dépressions avec une sortie de l'air au centre du plafond). En dernier recours, la porcherie est équipée de ventilateurs électriques (avec variateurs de fréquence et régulation par sonde de CO₂).
- Entraînements électriques efficaces. Les ventilateurs sont équipés de variateur de fréquence (diminution de la vitesse de rotation du moteur électrique). De plus, ils sont dans la catégorie IE3 ou IE4 (rendement électrique – mécanique) et à entraînement direct.
- Gestion de la ventilation. La commande de la ventilation doit être correctement optimisée, c'est-à-dire qu'il ne faut pas que le chauffage soit enclenché en même temps que le ventilateur extracteur de l'air (expulsion de l'air chaud propre).

Cette mesure est très fortement recommandée dans les porcheries d'engraissement et les poulaillers (œufs et viande).

Investissement [CHF]	Ventilateur 5 kW IE3-IE4 : 3-5'000 CHF (matériel + montage) Commande par régulation de CO ₂ : 10'000 CHF (sonde et commande) Ventilation naturelle : surcoût en fonction de la taille du bâtiment
Agent énergétique économisé, Economie	Economie : Electricité, env. 50% par rapport à un système de ventilation standard
Amortissement de la mesure	Amortissement mesure < 5 ans
Difficulté de mise en œuvre	++
Avantages	Rentabilité bonne Investissement faible
Inconvénients	Nécessité de planifier ce point à la construction
Informations complémentaires	Constructeurs de bâtiments agricoles Topmotors.ch « Fiche 24 : Ventilation »

Tableau 6: Caractéristiques Ventilation efficace

3.5. Pose de luminaires LED



Figure 10: Eclairage halle poulets engraissement LED

Source : www.beleuchtungdirekt.ch ; AgroCleanTech

L'éclairage des bâtiments agricoles est important et trop souvent négligé. Les postes de travail demandent des niveaux d'éclairage différents (salle de traite, bureau, aire d'affouragement, etc.). Bien entendu, le meilleur éclairage est la lumière naturelle et elle doit être privilégiée dès la planification d'une nouvelle construction. Mais, en l'absence de lumière naturelle (matin, soirée, période hivernale); le recours à un éclairage artificiel est indispensable. La pose de luminaires LED (Light Emitting Diode) ou diode électroluminescente est à privilégier. Une LED est composée d'une anode (côté positif) et d'une cathode (côté négatif) et fonctionne sous courant continu (DC). Le spectre de fonctionnement de la LED est très large et couvre toutes les couleurs (orange à blanc). Les grands avantages de la LED sont sa durée de vie (>10'000 h.) et sa faible consommation électrique (-80% par rapport à une ampoule classique). La réduction des coûts de fabrication et sa vulgarisation auprès du grand public font de cette technologie le moyen d'éclairage fiable et économe.

Description mesure	Eclairage avec luminaires économes en énergie, type LED. Eclairage adapté à tout type de bâtiment (porcherie, étable, poulailler, etc.)
Investissement [CHF]	15.-/tube LED
Agent énergétique économisé, Economie	Electricité (haut tarif principalement)
Amortissement de la mesure	Amortissement mesure en <5 ans (dépend la durée de l'éclairage requise)
Difficulté de mise en œuvre	+ (pose des ampoules par l'agriculteur)
Avantages	Economies d'énergie, moins de dégagements de chaleur, longue durée de vie (6'000 h.)
Inconvénients	Prix plus élevé par rapport à ampoule traditionnelle (1.5 x) ; amorti en 2 ans.
Informations complémentaires	www.beleuchtungdirekt.ch AgroCleanTech

Tableau 7: Pose de luminaires LED

3.6. Pompe à chaleur (PAC) air/eau eau/eau

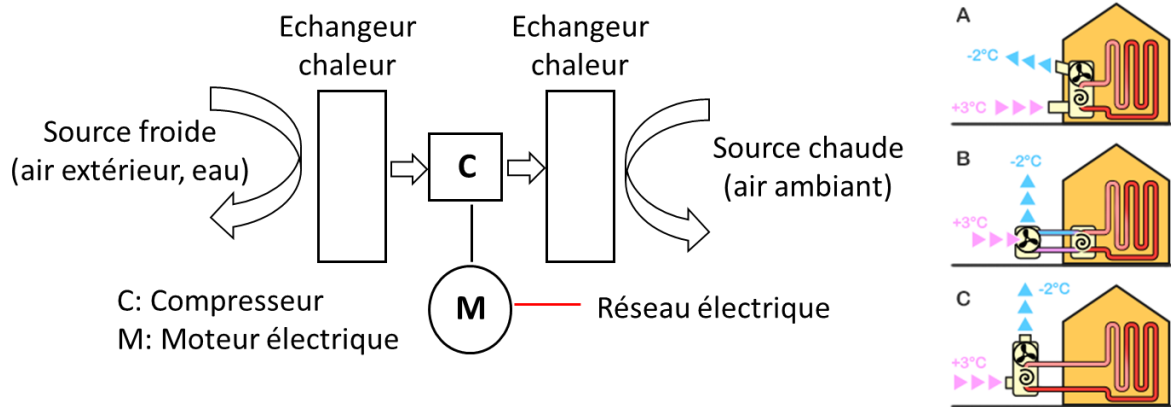


Figure 11: Boiler PAC (source energie-environnement.ch)

Le chauffage des bâtiments (étables poulets d'engraissement, serres agricoles, domaine vinicole, porcheries d'élevage) peut être réalisé au moyen d'une pompe à chaleur (PAC) x/y, « x » détermine la source froide à partir de laquelle l'énergie est prise et « y » détermine le vecteur qui va être chauffé (eau pour le circuit de chauffage). La PAC valorise l'énergie de l'environnement (air ou eau) et va le réchauffer au moyen d'un compresseur pour la restituer à une température plus élevée. La plupart des PACs installées pour le chauffage des bâtiments sont de type air/eau. Le rendement d'une PAC (chaleur fournie par rapport à l'électricité consommée) est dépendant de la source froide (air = 3-5 et eau = 5-7) et de la température de sortie entre 30 et 60°C.

Couplée à une installation photovoltaïque et un accumulateur de chaleur, cette mesure est très fortement préconisée pour les nouvelles étables de poulets d'engraissement, le chauffage des bâtiments vinicoles et le chauffage d'une porcherie d'élevage.

Investissement [CHF]	25'000 CHF pour PAC air/eau 12 kW chaleur (matériel, installation) 35'000 CHF pour PAC air/eau 20 kW chaleur (matériel, installation)
Agent énergétique économisé, Economie	Economie mazout, électricité
Amortissement de la mesure	Amortissement mesure en 8-10 ans par rapport à un système de chauffage à source fossile
Difficulté de mise en œuvre	++ (nécessité d'être fait par un professionnel)
Avantages	Coût de chaleur très faible (3-5 cts/kWh chaleur) Production de chaleur neutre en CO ₂
Inconvénients	Investissements plus importants qu'un chauffage à combustion fossile
Informations complémentaires	Groupe professionnel suisse pour les pompes à chaleur : https://www.fws.ch/fr/ Installateurs sanitaires locaux

Tableau 8: Caractéristiques boiler thermodynamique

3.7. Capteurs solaires thermiques

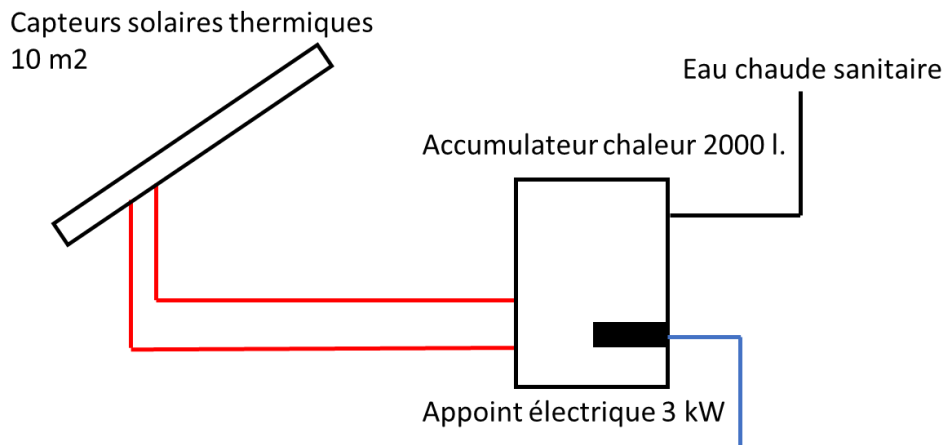


Figure 12: Capteurs solaire thermique

Les capteurs solaires thermiques collectent l'énergie lumineuse et la transforment en chaleur pour la transférer à un liquide caloporteur qui circule à travers les panneaux. Le rendement d'un panneau solaire thermique (conversion de la lumière en chaleur) est très bon (>60%). Le principal type de capteur utilisé est le capteur vitré (température max. 80°C) et généralement combiné à un chauffage bois (bûches ou plaquettes).

Cette mesure est préconisée dans le domaine de la production laitière uniquement avec une source de chaleur non-renouvelable/peu efficace (résistance électrique directe, mazout ou gaz) ou du bois (chaudière à bûches/à plaquettes) pour le chauffage de bâtiment.

Dans le cas de processus à basse température (chauffage des serres, chauffage des poulets d'engraissements), l'utilisation de panneau solaire thermique est très fortement encouragée.

Investissement [CHF]	1'000 CHF/m ² (installation + montage)
Agent énergétique économisé, Economie	Electricité ; économie : 50 % besoins chaleurs préparation eau chaude sanitaire
Amortissement de la mesure	Amortissement mesure en 10-15 ans. Seuil de rentabilité [kg lait/an] : 300'000 kg lait/an
Difficulté de mise en œuvre	++ (nécessité d'être fait par un spécialiste du domaine) Complexe à mettre en œuvre
Avantages	Coût de chaleur moyen garanti sur 20 ans (durée de vie de l'installation), technologie simple, mature et robuste à mettre en œuvre
Inconvénients	Nécessaire d'avoir un système de chauffage complémentaire (résistance directe, bois, etc.) Investissement important.
Informations complémentaires	Entreprises spécialisées dans le solaire thermique SwissSolar : https://www.swissolar.ch/fr/lenergie-solaire/solaire-thermique/

Tableau 9: Caractéristiques capteurs solaire thermique

3.8. Biogaz agricole

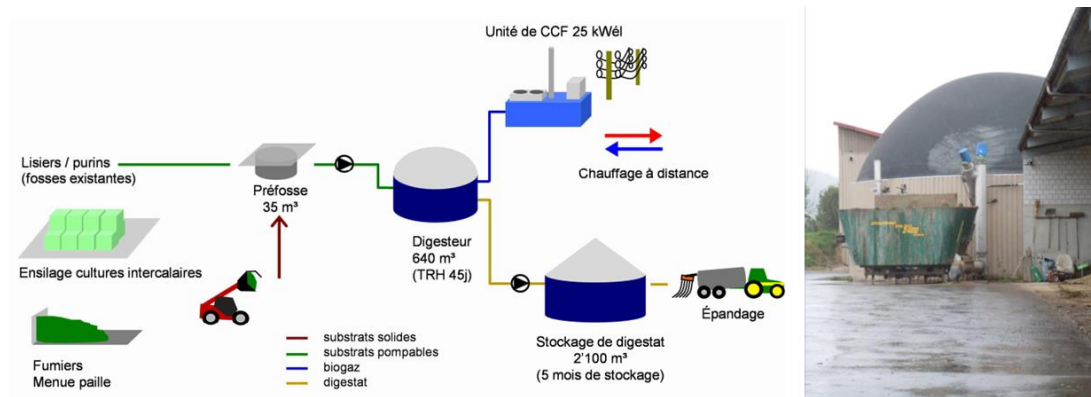


Figure 13: Schéma installation biogaz agricole

Source : « Mini-biogaz, Développement de petites unités de biogaz en agriculture »

La production de biogaz agricole est le résultat d'une réaction chimique (hydrolyse – acidogénèse – acétogénèse – méthanogénèse) visant à produire un mélange gazeux composé de méthane (60%), de gaz carbonique (40%) et d'autres gaz présents en infime quantité (H₂, CO, N₂, etc.). Le biogaz agricole peut être valorisé sous forme d'électricité (couplage chaleur force, avec production de chaleur) ou de gaz (injection dans le réseau de gaz naturel après purification ou utilisation du biogaz produit sous forme de carburant local). Les projets de biogaz actuels s'orientent sur la production de gaz de synthèse (carburant ou injection dans le réseau de gaz naturel).

Une installation de biogaz permet de très bien valoriser les engrais de ferme (homogénéité, réduction des odeurs, etc.) et produit de l'énergie (chaleur, électricité ou gaz renouvelable).

Cependant, les investissements initiaux sont importants, la rentabilité du modèle économique dépend de la valorisation de l'énergie produite (contrat entreprise gazière, station-service, etc.) et les procédures pour une nouvelle installation sont longues. A noter que le cadre législatif évolue constamment dans ce domaine.

Cette mesure est préconisée pour les grandes exploitations agricoles ou des regroupements d'exploitations de taille plus modeste.

Investissement [CHF]	2'000 – 8'000 CHF/kW électrique installé
Agent énergétique économisé, Economie	Economie : Carburant (diesel)
Amortissement de la mesure	Amortissement : 20 ans
Difficulté de mise en œuvre	+++ (installation par entreprise spécialisée, accompagnement par bureau d'ingénieurs, etc.)
Avantages	Diminution coûts énergie Réduction pollution de l'air, bruits
Inconvénients	Investissements initiaux importants, cadre législatif incertain
Informations complémentaires	Association Biomasse Suisse : https://biomassesuisse.ch/ Oekostrom (association faitière des biogaz agricoles suisses) : https://oekostromschweiz.ch/fr/ OFEN (Office fédéral de l'énergie) : https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home.html

Tableau 10: Caractéristiques biogaz agricole

3.9. Photovoltaïque

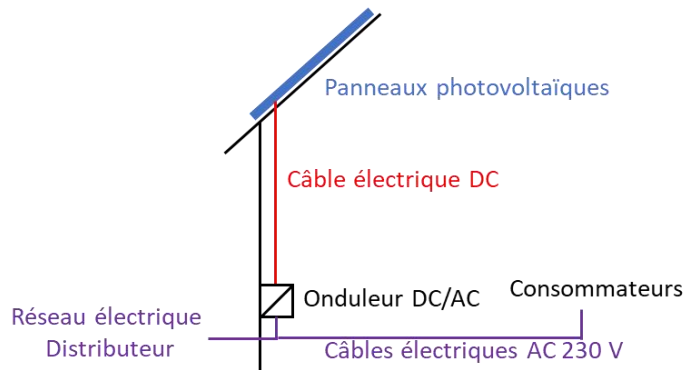


Figure 14: Schéma installation photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque permet de produire de l'électricité à partir de l'énergie lumineuse (transformation rayonnement solaire en électricité). L'électricité produite doit être converti en courant alternatif (onduleur DC/AC) pour être utilisé dans les consommateurs du ménage ou d'injecter dans le réseau électrique de distribution.

La rentabilité d'une installation est atteinte avec le principe de « consommation propre ». En produisant et consommant l'électricité produite (coût de production = 6-8 cts/kWh), le propriétaire diminue la facture d'électricité annuelle (coût électricité du réseau= 18-22 cts/kWh). C'est pourquoi la taille de l'installation de production photovoltaïque doit être dimensionnée par rapport à la consommation agricole et non par rapport à la taille du toit disponible. L'acquisition de véhicules ou d'équipements électriques augmentent la consommation propre d'électricité et donc l'intérêt d'une installation photovoltaïque, tout en réduisant la dépendance et les coûts liés aux énergies fossiles. Un soutien financier suisse (Pronovo) permet de couvrir jusqu'à 25% de l'investissement initial.

Cette mesure est préconisée pour toutes les constructions agricoles ayant une consommation électrique >15'000 kWh/an.

Investissement [CHF]	1'500 – 2'000 CHF/kW installé (dépend du type d'installation)
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Economie : Pas d'économie de consommation Amortissement : 8-12 ans
Difficulté de mise en œuvre	++ (installation par entreprise spécialisée)
Avantages	Diminution coûts énergie Participation active à la sortie du nucléaire
Inconvénients	Investissements initiaux importants
Informations complémentaires	Association Swissolar : https://www.swissolar.ch Pronovo : https://pronovo.ch/fr/ AgroCleanTech

Tableau 11: Caractéristique installation photovoltaïque

3.10. Stockage électrique

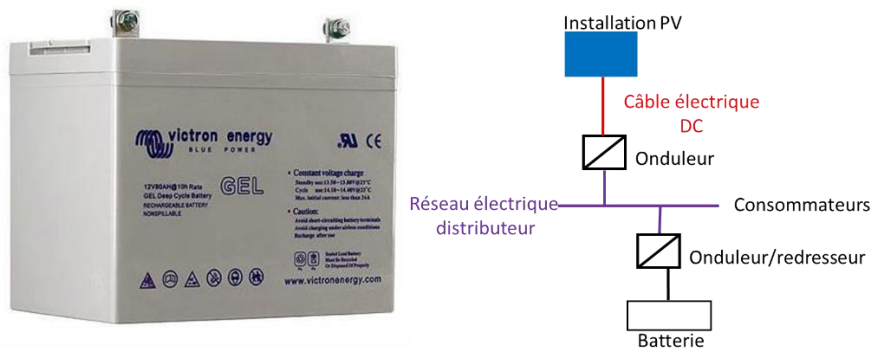


Figure 15: Schéma stockage électrique

Source : Victron Energy <https://www.swiss-victron.ch/de>

Pour stocker tout ou partie de l'électricité produite par l'installation photovoltaïque, un moyen est d'installer un accumulateur d'énergie. L'accumulateur d'énergie est une batterie stockant l'énergie électrique sous forme chimique (matériaux utilisés lithium et acide-plomb). Son utilisation est toujours couplée à une installation photovoltaïque. Les batteries actuelles vendues sont des accumulateurs au lithium.

Une batterie est rentable quand le coût du kWh stocké est inférieur au prix du kWh du réseau électrique (20 cts/kWh). Actuellement (état 2021), l'installation d'une batterie n'est pas encore économiquement rentable (coût de stockage : 25-40 cts/kWh). Mais l'évolution des technologies dans ce secteur devrait générer une diminution des coûts des batteries et rendre cette option rentable dans quelques années. Des aides à l'investissement sont prévus dans le cadre de la politique agricole via l'ordonnance sur les améliorations structurelles (OAS) ou encore dans le cadre programmes de soutien cantonaux ou communaux. La capacité idéale pour une exploitation laitière de 50 vaches laitières, 30'000 kWh/an avec une installation photovoltaïque de 20 kWp est de 8 kWh (profondeur des décharges = 80 %).

Cette mesure ne relève pas du domaine de l'efficacité énergétique, mais doit être réfléchié dans le processus de construction dans une perspective d'indépendance énergétique (emplacement possible, place sur le tableau électrique).

Investissement [CHF]	900 – 1'200 CHF/kWh installé
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Economie : Augmentation de l'autoconsommation Amortissement : pas encore rentable sans aides à l'investissement
Difficulté de mise en œuvre	++ (installation par entreprise spécialisée)
Avantages	Diminution coûts énergie Autonomie énergétique
Inconvénients	Investissements initiaux importants Rentabilité pas atteinte (sans investissement)
Informations complémentaires	Ordonnance sur améliorations structurelles (OAS) AgroCleanTech Suisse Energie : https://www.suisseenergie.ch/stories/batteries-solaires/

Tableau 12: Caractéristiques stockage électrique

3.11. Borne de recharge pour véhicules électriques



Source: « Mobilité électrique et infrastructures de recharge », e'mobile, 2020

Figure 16: Type de bornes de recharge électrique

Les véhicules électriques représentent également une alternative aux véhicules thermiques pour le monde agricole. Ils concernent principalement : les outils de manutention électriques (chargeurs télescopiques, valets de ferme) et les véhicules d'exploitation (tracteurs, motofaucheuses et autres outils pour les travaux aux champs). La mesure « Utilitaire électrique » (chap. 4.10) donne plus d'informations à ce sujet.

L'acquisition de ce type de matériel nécessite de prévoir une infrastructure de recharge. Il existe trois types de recharges possibles (monophasé, triphasé et recharge rapide DC). Les recharges monophasé et triphasé sont adaptées aux besoins de l'agriculture. Lors du raccordement électrique du bâtiment, il convient de prendre en compte l'ampérage de la borne de recharge (16 A, monophasé et 32 A max. triphasé) ainsi qu'un système de gestion de l'énergie (rééquilibrage entre consommation et production, délestage en fonction de la consommation). Le délestage d'une charge permet de réduire la puissance électrique soutirée du réseau électrique en coupant momentanément la recharge du véhicule électrique (consommateur).

La combinaison d'une borne de recharge avec la pose d'une installation photovoltaïque mérite d'être étudiée. Cette option offre des perspectives intéressantes en vue d'augmenter la consommation propre (autoconsommation) de l'exploitation et de viser l'autonomie énergétique (voir à ce sujet la mesure « Photovoltaïque » chap. 3.9).

Investissement [CHF]	Monophasé : 1'000 CHF (sans place de stationnement) Triphasé : 2'000-4'000 CHF (sans place de stationnement) Soutiens cantonaux possibles : VS, BS, BE, GE, SH, TI, TG, VD
Agent énergétique économisé, Economie	Diesel
Amortissement de la mesure	Amortissement : 4-5 ans. Durée de vie technique : 20 ans
Difficulté de mise en œuvre	++ (installation par spécialiste)
Avantages	Pas de pollution Valorisation de la production photovoltaïque Diminution des coûts
Inconvénients	Coûts supplémentaires Besoin véhicule électrique
Informations complémentaires	Installateurs borne de recharge Swissolar www.swissolar.ch , SSE, www.vese.ch AgroCleanTech

Tableau 13: Caractéristiques borne de recharge

3.12. Optimisation de l'autoconsommation

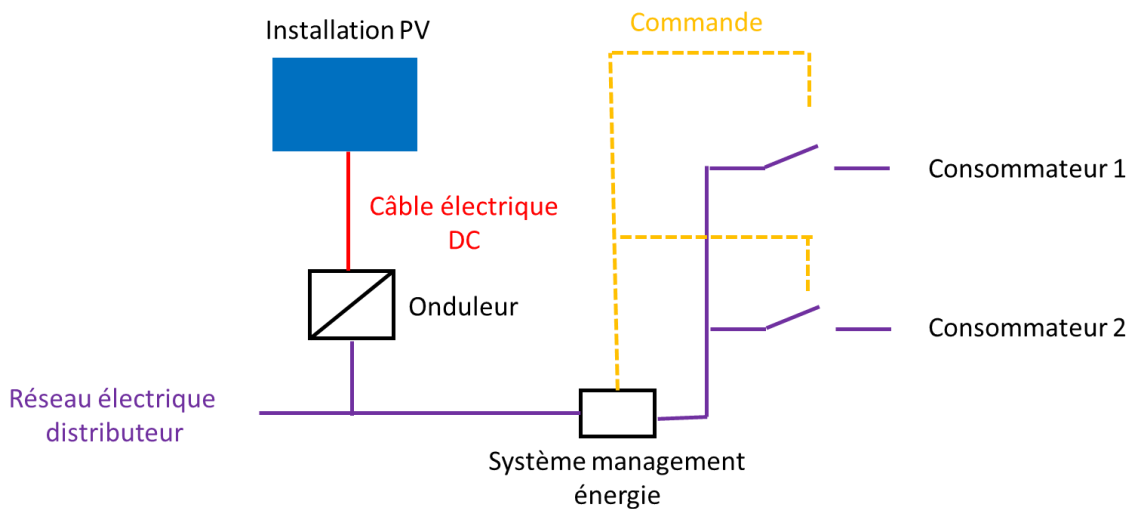


Figure 17: Schéma optimisation autoconsommation

La rentabilité d'une installation photovoltaïque dépend du taux d'autoconsommation, c'est-à-dire de la part d'électricité consommée pendant la production électrique (en journée).

Les consommateurs de chaleur, de froid, d'air comprimé sont pilotés par un système de management de la charge. Un tel système est intéressant dès une puissance électrique pilotable de 3 kW électrique (boiler électrique >200 l.).

Cette mesure est préconisée dans toutes les exploitations agricoles possédant une installation photovoltaïque.

Investissement [CHF]	1'500 – 3'000 CHF/ système Matériel (commande) : dès 500 CHF Installation : env. 1000 CHF
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Economie : Augmentation de l'autoconsommation Amortissement : <5 ans
Difficulté de mise en œuvre	+ (installation par électricien)
Avantages	Diminution coûts énergie Autonomie énergétique
Inconvénients	Investissement initial
Informations complémentaires	AgroCleanTech Suisse énergie : « Guide pratique de la consommation propre », juillet 2021 https://www.suisseenergie.ch/batiment/consommation-propre/

Tableau 14: Caractéristiques optimisation de l'autoconsommation

3.13. Regroupement dans le cadre de la consommation propre (RCP) et raccordement électrique

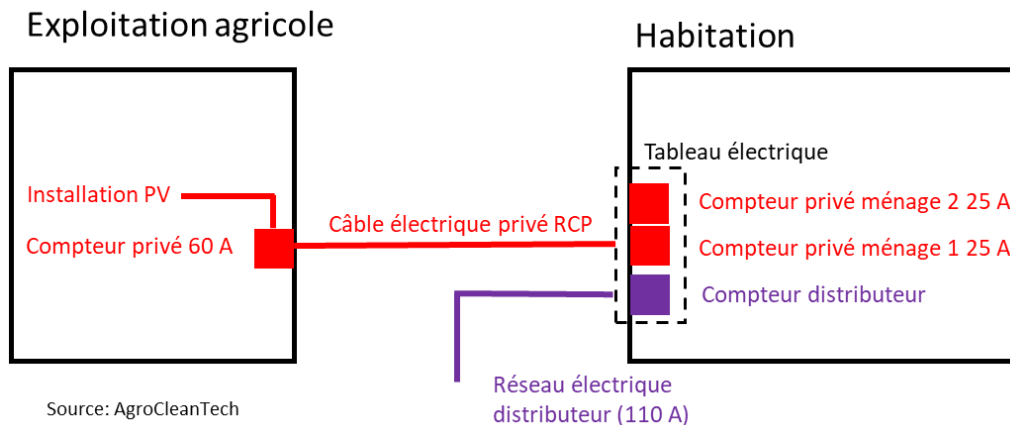


Figure 18: Schéma RCP agricole

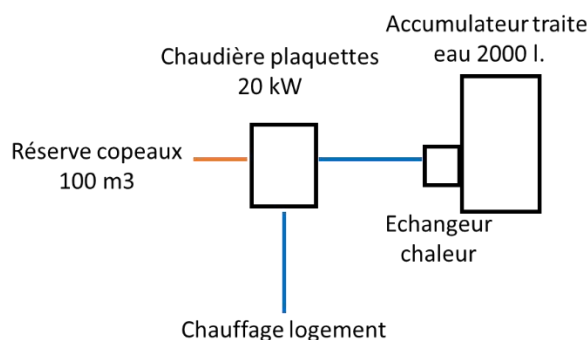
Le raccordement d'une exploitation agricole moyenne (40 vaches laitières, consommation électrique ~ 30'000 kWh/an) requiert généralement un ampérage de 60 A, soit un coût de raccordement de 6'000 CHF env. (100.-/A), sans compter les besoins de branchement hors zone à bâtir. Pour une grande exploitation agricole, l'introduction électrique peut monter jusqu'à 100 A (partie agricole uniquement).

Un RCP (regroupement dans le cadre de la consommation propre) consiste à créer une zone commune entre plusieurs consommateurs finaux (1 consommateur final = 1 compteur électrique) afin de s'échanger l'électricité produite par une installation de production d'énergie (photovoltaïque, biogaz, etc.). Le RCP permet de diminuer les compteurs du GRD (gestionnaire du réseau de distribution) à savoir la réduction des frais de location (80-100.-/compteur GRD/an), d'augmenter l'autoconsommation par l'échange d'énergie dans le RCP et de profiter de tarifs d'électricité plus avantageux (consommation électrique plus importante). Il est nécessaire que le raccordement entre les bâtiments soit privé (investissement à la charge de l'exploitant). Dans de nombreux cas, de simples modifications dans le tableau électrique sont suffisantes (installations compteurs privés). Le succès de cette mesure dépendra de la localisation de l'exploitation et de la proximité des partenaires intéressés.

Investissement [CHF]	5'000 CHF (modifications tableau électrique) à 50'000 CHF (raccordement entre 2 bâtiments 100 m). Investissement réseau privé + compteurs privés sans installation photovoltaïque.
Agent énergétique économisé, Economie	-
Amortissement de la mesure	Amortissement : <10 ans. Durée de vie technique : 40 ans
Difficulté de mise en œuvre	+++ (installation par bureau d'ingénieurs)
Avantages	Valorisation production photovoltaïque ou d'autres installations de production d'énergie renouvelable Diminution des coûts électriques
Inconvénients	Investissements initiaux importants
Informations complémentaires	SuisseEnergie : https://www.suisseenergie.ch/ SwissSolar : https://www.swissolar.ch/nc/fr/ AgroCleanTech

Tableau 15: Caractéristiques RCP et raccordement électrique

3.14. Chauffage à plaquettes/ pellets/bûches



<https://www.sologneboisenergie.fr/content/chaudieres-bois-dechiquete>

Figure 19: Chaudière à plaquettes

La préparation de l'eau chaude sanitaire nécessaire au nettoyage de l'installation de traite peut également se réaliser au moyen d'une chaudière à plaquettes, à pellets ou d'une chaudière à bûches. Dans la majorité des systèmes, la chaudière amène l'eau jusqu'à 60°C et un appoint électrique est nécessaire. Il n'existe pas de petites chaudières à plaquettes, donc le système (10 kW min.) est toujours couplé au chauffage d'un logement (chauffage à distance local) ou d'un autre bâtiment (poulailler, etc.).

La rentabilité dépend du prix d'achat du combustible (plaquettes, pellets ou bûches). Cette mesure est préconisée quand l'exploitation agricole est construite/rénovée en même temps que la rénovation de l'habitation située à proximité. Pour couvrir uniquement les besoins d'ECS de l'exploitation agricole, la mesure n'est pas préconisée.

Investissement [CHF]	20 kW plaquettes (30'000 CHF), sans conduites chauffage à distance
Agent énergétique économisé, Economie	Mazout (chauffage des bâtiments), électricité (ECS)
Amortissement de la mesure	Amortissement mesure en <15 ans. Condition de rentabilité : exploitation et maison d'habitation couplées sur le chauffage à bois ; puissance minimale : 20 kW
Difficulté de mise en œuvre	++ (nécessité d'être fait par un spécialiste du chauffage) Nécessaire d'avoir un chauffage pour le logement
Avantages	Frais d'exploitation faibles Valorisation intéressante des forêts
Inconvénients	Investissement initial important (>20 kCHF)
Informations complémentaires	SuisseEnergie : https://www.suisseenergie.ch/ Energie-bois Suisse : https://www.energie-bois.ch/accueil.html

Tableau 16: Caractéristiques chaudière plaquettes/bûches

3.15. Stockage thermique (chaleur sensible)

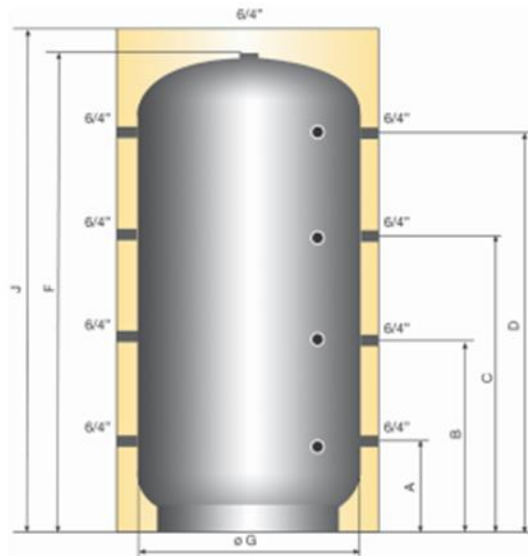


Figure 20: Exemple accumulateur de chaleur 500 l

Source : Catalogue Altantic 2020

Le stockage thermique est une méthode qui permet de valoriser le surplus d'électricité produit par l'installation photovoltaïque. Le principe consiste à produire de l'eau chaude dans un accumulateur de chaleur, lorsque l'électricité est abondante (excès de production la journée).

Ce type de stockage est intéressant pour les exploitations dont les besoins de chaleur sont importants (porcheries de mises-bas, étables de poulets d'engraissement, production laitière, etc.). Ce stockage doit être obligatoirement couplé à une installation de production photovoltaïque, un système de chauffage efficace (PAC ou résistance électrique) et éventuellement un système de gestion de l'autoconsommation, voir mesure « Optimisation de l'autoconsommation ». Cette mesure est préconisée dans les porcheries de mise-bas (chauffage PAC), les étables de poulets d'engraissements (chauffage PAC) et la production laitière (boiler thermodynamique).

Investissement [CHF]	900 – 1'200 CHF/kWh installé
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Economie : Augmentation de l'autoconsommation Amortissement : pas encore rentable
Difficulté de mise en œuvre	++ (installation par entreprise spécialisée)
Avantages	Diminution coûts énergie Autonomie énergétique
Inconvénients	Investissements initiaux importants
Informations complémentaires	AgroCleanTech

Tableau 17: Caractéristiques stockage thermique

4. Processus

Ce chapitre évoque les mesures d'efficacité énergétiques qui méritent d'être prises en considération dans la planification d'une nouvelle construction. La plupart des mesures présentées peuvent être également être envisagées dans un bâtiment existant. Un processus agricole est l'utilisation de moyens techniques ayant pour but de valoriser les moyens et ressources de production pour arriver à un produit semi-fini (lait, viande, céréale, etc.)

4.1. Variateur de fréquence sur le moteur de la pompe à vide

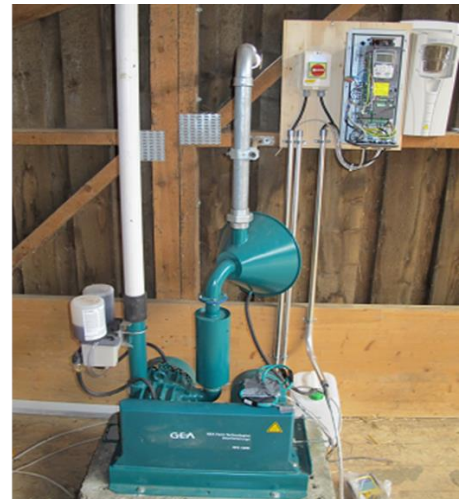
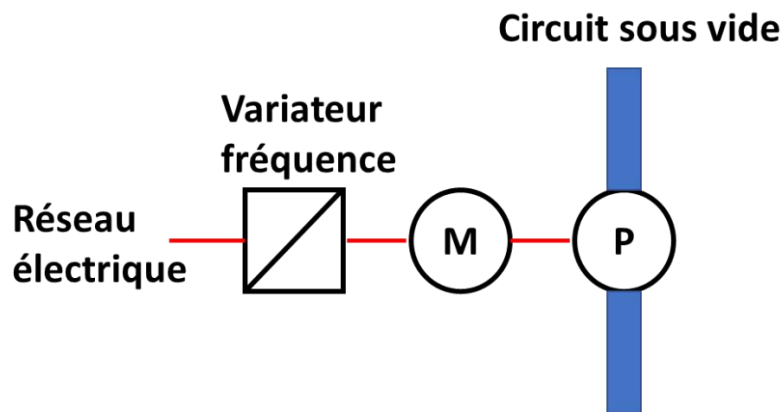


Figure 21: Variateur de fréquence sur le moteur de la pompe à vide

Le variateur de fréquence permet à la pompe à vide pour la traite de varier sa fréquence de rotation, donc sa consommation électrique. Certains nouveaux modèles sont d'office équipés de variateur de fréquence. La diminution de la consommation est très variable en fonction du système de traite choisi (tandem, carrousel, etc.). A noter que certains robots de traite fonctionnent avec un compresseur central alimentant les organes principaux du robot.

Cette technologie est robuste et utilisée dans de nombreux autres domaines depuis des années (pompes de chauffage à variateur de fréquence, moteurs de ventilateurs à variateur de fréquence, etc.).

Cette mesure est préconisée pour toutes les exploitations laitières intégrant ou rénovant une salle de traite.

Investissement [CHF]	5'000 CHF (offre pompe à vide existante + travail)
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Electricité (haut tarif 5h-7h et 16h-18h) ; économie : 20-40 % électricité Amortissement mesure en 5-10 ans (variable selon le système de traite choisi (épis, carrousel, etc.)
Difficulté de mise en œuvre	++ (nécessité d'être fait par un professionnel)
Avantages	Economies d'électricité cher (haut tarif) Diminution du bruit
Inconvénients	Investissement Compatibilité des systèmes
Informations complémentaires	Installateurs de machines à traire AgroCleanTech_

Tableau 18: Caractéristiques variateur de fréquence

4.2. Installation pré-refroidisseur à lait

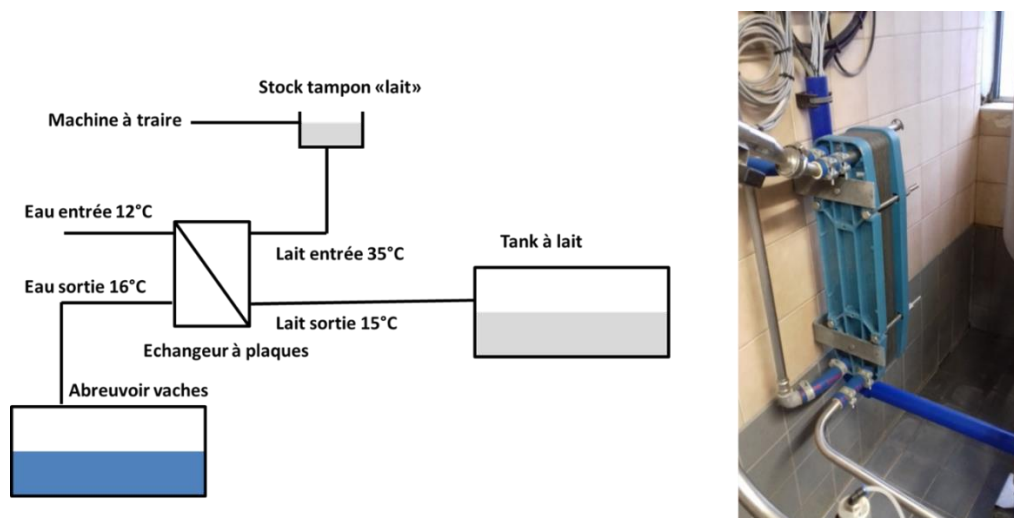


Figure 22: Schéma installation pré-refroidisseur à lait

Le pré-refroidissement du lait s'applique essentiellement aux exploitations laitières d'ensilage, exceptions possibles dans le lait de fromagerie (refroidissement du lait obligatoire). Avant l'entrée du lait dans le tank à lait (refroidissement), un échangeur à plaques (inox) ou à serpentin transfère la chaleur du lait (de 28°C à 15°C) à l'eau (de 12°C à 16°C) qui peut être utilisée pour abreuver le bétail. Le pré-refroidissement du lait, permet ainsi de réduire la sollicitation du groupe froid du tank et donc sa consommation d'énergie. L'échange de chaleur peut être sous forme d'un serpentin ou un échangeur à plaques. La mesure est préconisée pour des exploitations agricoles (>250'000 kg lait/an) pour être rentable dans le cas d'une rénovation. Dans le cas d'une nouvelle construction (plus facile de mettre en place), la mesure est préconisée dès 150'000 kg lait/an.

La mesure « pré-refroidisseur du lait » et « récupération de chaleur du groupe froid » sont concurrentes ; c'est-à-dire qu'il faut installer l'une ou l'autre.

La mesure « pré-refroidisseur du lait » et « récupération de chaleur du groupe froid » sont concurrentes ; c'est-à-dire qu'il faut installer l'une ou l'autre. Dans les grandes exploitations agricoles (>600'000 kg lait/an), il est conseillé d'installer les deux systèmes. Dans les autres exploitations agricoles, un pré-refroidisseur avec un boiler thermodynamique est plutôt conseillé.

Investissement [CHF]	4'000 CHF (offre échangeur à plaques + main d'œuvre). Dépend des raccords hydrauliques.
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Electricité (haut tarif 5h-7h et 16h-18h) ; économie : 20-40 % électricité Amortissement mesure en 8-10 ans.
Difficulté de mise en œuvre	++ (nécessité d'être fait par un professionnel)
Avantages	Economies d'électricité chères (haut tarif) Eau chaude (pas besoin de maintenir hors gel les conduites en hiver) et augmentation productivité laitière (eau tiède) Surcoût plus faible à la construction
Inconvénients	Rentable à partir de 250'000 kg lait/an (rénovation) Rentable à partir de 150'000 kg lait/an (construction)
Informations complémentaires	Constructeurs principaux de matériel de traite Installateurs-sanitaires

Tableau 19: Caractéristiques installation pré-refroidisseur à lait

4.3. Récupération de la chaleur du lait

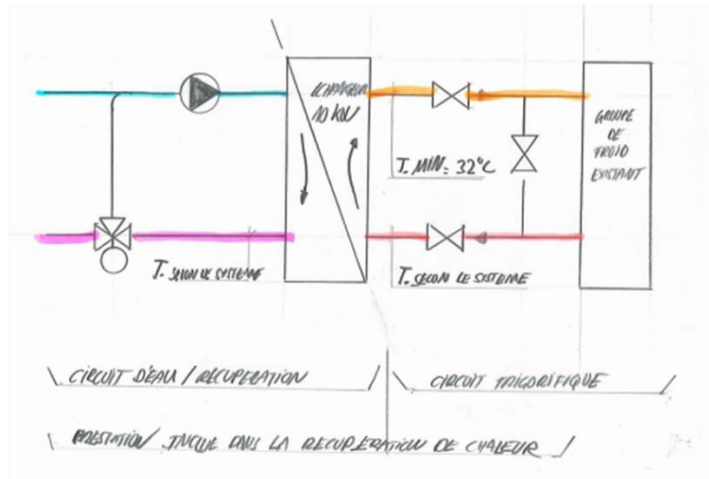


Figure 23: Récupération de la chaleur du lait

La récupération de la chaleur du lait s'applique aux exploitations agricoles de lait d'ensilage (refroidissement du lait obligatoire). En refroidissant le lait, le groupe froid produit de la chaleur qui peut être utilisée pour préchauffer l'eau chaude sanitaire (50°C) nécessaire au nettoyage des installations de traite. La mesure comprend un échangeur de chaleur (fluide frigorigène/eau) et des raccords hydrauliques jusqu'au boiler et la modification du circuit du groupe froid.

La rentabilité dépend du prix de chaleur pour la préparation de l'eau chaude (électricité, bois, etc.). En cas d'autoconsommation (production photovoltaïque), coût du kWh estimé à 0.1 CHF/kWh.

La mesure « pré-refroidisseur du lait » et « récupération de chaleur du groupe froid » sont concurrentes ; c'est-à-dire qu'il faut installer l'une ou l'autre. Dans les grandes exploitations agricoles (>600'000 kg lait/an), il est conseillé d'installer les deux systèmes. Dans les autres exploitations agricoles, un pré-refroidisseur avec un boiler thermodynamique est plutôt conseillé.

Investissement [CHF]	Min. 8'000 CHF (offre échangeur à plaques, modifications circuit et raccords). Dépend de la longueur des raccords hydrauliques.
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Electricité ; économie : 50 % besoins chaleurs préparation eau chaude sanitaire Amortissement mesure en 8-10 ans. Seuil de rentabilité [kg lait/an] : 300'000 kg lait/an (sans photovoltaïque)
Difficulté de mise en œuvre	+++ (nécessité d'être fait par un spécialiste du domaine) Complexe à mettre en œuvre
Avantages	Excellente valorisation de la chaleur du groupe froid Surcoût plus faible à la construction
Inconvénients	Pas de diminution de la consommation électrique du tank à lait
Informations complémentaires	Entreprises climatisation, frigoristes : Frigotech, Frialp, CTA, etc.

Tableau 20: Caractéristiques installation pré-refroidisseur à lait

4.4. Boiler thermodynamique + boiler électrique

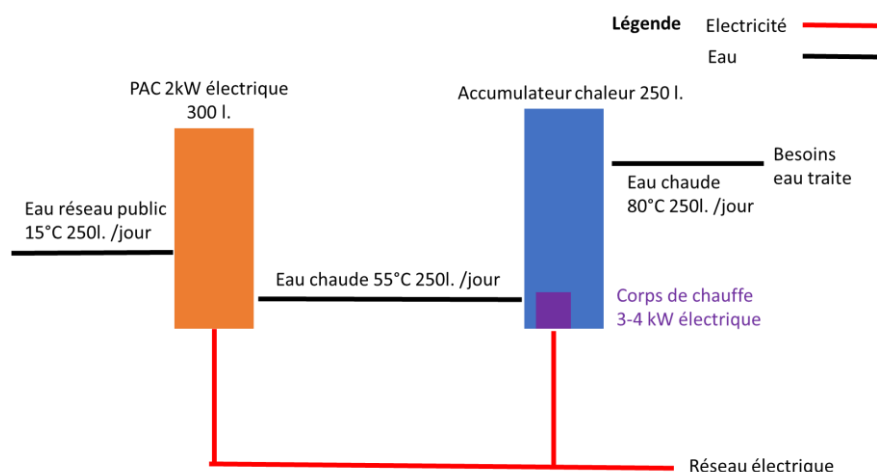


Figure 24: Schéma boiler thermodynamique

La couverture des besoins en eau chaude d'une exploitation peut être assurée par un boiler thermodynamique qui consiste en la combinaison d'un boiler classique équipé d'une pompe à chaleur (PAC). En utilisant la chaleur ambiante contenue dans la salle de traite, la PAC permet réduire les besoins thermiques du boiler d'environ 60% (coefficient de rendement =3). La PAC chauffe l'eau jusqu'à 55-60°C et le boiler électrique intervient ensuite pour atteindre 85°C. Couplé à une installation photovoltaïque, ce système permet une production d'eau chaude sanitaire à moindre coût, détails sur ce système au paragraphe 3.14 « Optimisation autoconsommation ».

Cette mesure est préconisée pour toutes les nouvelles exploitations agricoles laitières de fromageries (sans refroidissement) avec un besoin minimum d'eau chaude de 200 l./jour (env. 200'000 kg lait/an). Le besoin d'eau chaude (EC) est par litre de lait produit est de 0.25 (1l. EC pour 4 l. lait) dès 290'000 kg lait/an (200 l. EC/jour), mais avec un minimum de 200 l. EC/jour à partir de 200'000 kg lait/an. Pour les exploitations agricoles laitières (lait d'industrie), cette mesure est préconisée à mettre en œuvre avec le « pré-refroidissement du lait ».

Cette mesure (boiler PAC + boiler électrique) est aussi préconisée pour les branches de production utilisant de l'EC à haute température (80°C) : nettoyage de systèmes d'alimentation d'une porcherie.

Investissement [CHF]	Min. 6'000 CHF (offre boiler thermodynamique, accumulateur chaleur, raccords hydrauliques, et main d'œuvre). Dépend de la longueur des raccords hydrauliques.
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Economie : électricité (chauffage EC) Amortissement mesure en 8-10 ans. Seuil de rentabilité [l. eau chaude/jour] : 200 l.
Difficulté de mise en œuvre	++ (nécessité d'être fait par un professionnel)
Avantages	Système simple et robuste (technologie mature) Applications pour les exploitations en lait de fromagerie et d'industrie
Inconvénients	Rentable à partir de 200 l. eau chaude/jour, soit env. 200'000 kg lait/an
Informations complémentaires	Programme de soutien « boiler PAC » (AgroCleanTech) Installateurs sanitaires locaux

Tableau 21: Caractéristiques boiler thermodynamique

4.5. Récupération de la chaleur en sous-toiture pour le séchage en grange

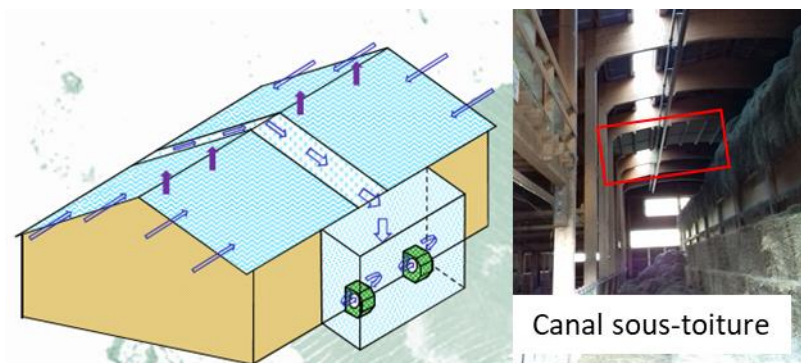


Figure 25: Récupération chaleur sous-toiture

Source : SGF Conseil, Yann Charrier, AgroCleanTech

Les installations de séchage en grange fonctionnent principalement en captant l'air extérieur, qui est ensuite insufflé dans le fenil au moyen d'un ventilateur. L'efficacité du séchage du fourrage dépend donc directement de la température et du taux d'humidité de l'air aspiré. Plus le taux d'humidité sera bas, meilleure sera la capacité d'absorption du fourrage.

La réduction du taux d'humidité de l'air, peut s'obtenir en réchauffant l'air absorbée. La récupération de chaleur en sous-toiture y contribue en valorisant l'énergie solaire. Le système est composé d'entrées d'air extérieures (latérales,) d'une sous-toiture (entre 15-20 cm d'espace de circulation d'air sous la toiture principale) et d'un canal central collecteur qui amène l'air réchauffé vers le ou les ventilateurs. Selon les dispositions du bâtiment, plusieurs configurations sont envisageables. La puissance thermique se monte à 0.55 W/m² (132 kW pour une toiture de 600 m²). Le gain de température varie entre 6°C et 10°C par rapport à la température extérieure. Le dimensionnement de l'installation est réalisé au moyen d'un logiciel dédié.

Cette mesure est préconisée pour les nouvelles exploitations laitières.

Investissement [CHF]	Ventilation : 25'000 CHF (moteur 30 kW, volume séchoir=1030 m ³), Sous-toiture : 20'000-30'000 CHF supplémentaire
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Electricité (moteur ventilation) : économie 25% consommation électrique Amortissement : 50 ans (durée vie du bâtiment)
Difficulté de mise en œuvre	++ (dimensionnement spécialiste, nécessaire)
Avantages	Coûts d'énergie faibles Pas d'entretien Augmentation de la qualité du fourrage
Inconvénients	Investissement initial plus important Efficacité plus faible sous conditions météo humides
Informations complémentaires	AgroCleanTech Agroscope Transfert No 38 : Directives pour les installations de séchage en grange Conseillers agricoles de la vulgarisation cantonale

Tableau 22: Caractéristiques récupération de chaleur en sous-toiture

4.6. Séchage en grange avec source externe de chaleur



Figure 26: Types de source de chaleur externe (chauffage à plaquettes et PAC)

Source : Hoval (pompe à chaleur), Lasco (chauffage à plaquettes)

Une autre option pour diminuer le taux d'humidité de l'air consiste à chauffer l'air absorbée au moyen d'une source de chaleur externe (chauffage bois ou pompe à chaleur). L'avantage de cette mesure est de garantir la qualité du fourrage quelles que soient les conditions climatiques. Cette mesure permet de remplacer un brûleur à mazout mobile, solution peu durable.

Lors d'une installation pour le séchage du foin au moyen d'une source externe de chaleur, il est très important de comparer les variantes avec les coûts de production (prix du bois, prix de l'électricité et tarif de puissance [CHF/kW]) sur 15 ans. A noter que l'installation d'une PAC ou d'un déshumidificateur de l'air requiert une introduction électrique de minimum de 80 A (en comptant le ventilateur).

Investissement [CHF]	Ventilation : 25'000 CHF (moteur 30 kW, volume séchoir=1030 m3) ; Chauffage plaquettes : 50'000 CHF, Système PAC : 40'000 CHF
Agent énergétique économisé, Economie	Mazout : brûleur mobile
Amortissement de la mesure	Amortissement : 12-15 ans. Durée de vie technique : 25 ans
Difficulté de mise en œuvre	+++ (installation sur mesure)
Avantages	Qualité du fourrage excellente garantie par toutes années (humides/sèches)
Inconvénients	Coûts supplémentaires par rapport à ventilation simple Investissement initial important (>20 kCHF)
Informations complémentaires	AgroCleanTech Agroscope Transfert No 38 : Directives pour les installations de séchage en grange

Tableau 23: Caractéristiques séchage du foin avec source externe de chaleur

4.7. Séchage du foin par déshumidification de l'air

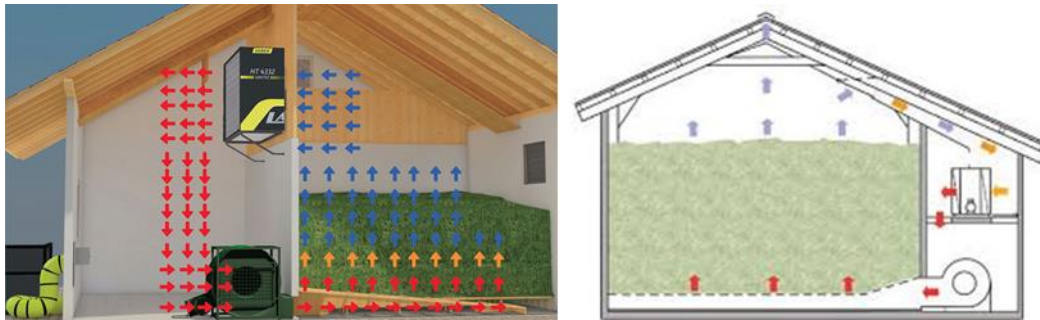


Figure 27: Séchage du foin par déshumidification de l'air

Source : AgroCleanTech; Lasco

Pour diminuer le taux d'humidité de l'air, une possibilité est de déshumidifier l'air extérieur. L'humidité relative de l'air extérieure est abaissée afin d'absorber plus d'eau. L'avantage de cette mesure est que le fourrage est garanti toutes les années (année humide et sèche). Cependant, la consommation électrique d'un déshumidificateur est importante.

Lors d'une installation pour le séchage du foin par source externe de chaleur ou par déshumidification de l'air, il est très important de comparer les variantes avec les coûts de production (prix du bois, prix de l'électricité et tarif de puissance [CHF/kW]) sur 15 ans afin de choisir une variante. A noter que l'installation d'une PAC ou d'un déshumidificateur de l'air requiert une introduction électrique de minimum de 80 A (en comptant le ventilateur).

Investissement [CHF]	Ventilation : 25'000 CHF (moteur 30 kW, volume séchoir=1030 m3) ; Déshumidificateur : 30-45 kCHF
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Mazout : brûleur mobile Amortissement : 12-15 ans. Durée de vie technique : 25 ans
Difficulté de mise en œuvre	+++ (installation sur mesure)
Avantages	Qualité du fourrage excellente garantie par toutes années (humides/sèches)
Inconvénients	Coûts supplémentaires par rapport à ventilation simple Investissement initial important (30-45 kCHF) Consommation électrique importante et pics de puissance
Informations complémentaires	Constructeurs matériel agricole AgroCleanTech Agroscope Transfert No 38 : Directives pour les installations de séchage en grange

Tableau 24: Caractéristiques séchage du foin par déshumidification de l'air

4.8. Système d'antigel pour abreuvoir

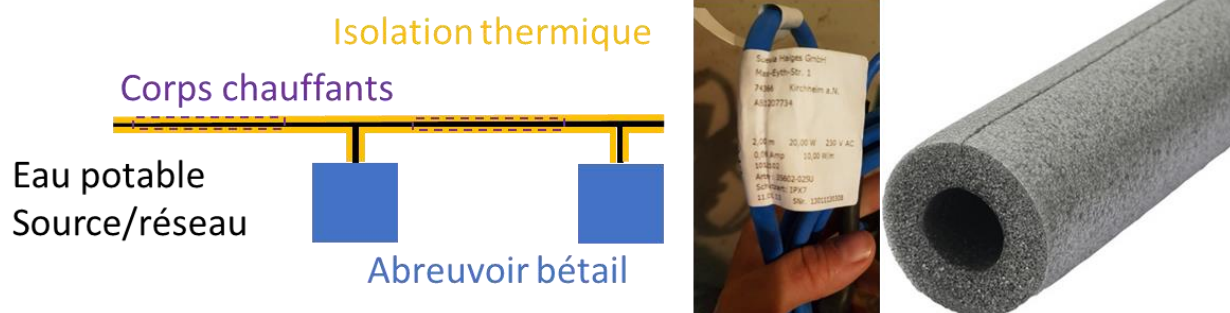


Figure 28: Système chauffant abreuvoir

Source : AgroCleanTech, Hornbach www.hornbach.ch

En hiver, les abreuvoirs et les conduites d'eau potable pour le bétail doivent être protégés du risque de gel (éclatement des conduites). Il vaut la peine de se préserver de ce genre de risque en prenant certaines dispositions en privilégiant la protection des conduites d'amenée d'eau. Deux systèmes principaux existent (corps chauffants autour des conduites et pompe de circulation avec réchauffage de l'eau). Le système préconisé est l'utilisation de corps chauffants sur la moitié de la longueur complétée par l'isolation des conduites d'eau.

Cette mesure est préconisée pour toutes les nouvelles exploitations agricoles possédant du bétail.

Investissement [CHF]	Coût d'investissements [CHF/m] : 20.- CHF/m conduite d'eau (isolation et corps chauffants, sans main d'œuvre).
Agent énergétique économisé, Economie	Economie : Electricité
Amortissement de la mesure	Amortissement mesure en 3 ans par rapport à corps de chauffe sans isolation
Difficulté de mise en œuvre	+ (installation par agriculteur)
Avantages	Rentabilité presque immédiate Mise en œuvre très facile Investissement faible
Inconvénients	-
Informations complémentaires	Constructeurs et fournisseurs de matériel agricole standard Isolation commune (commerce local)

Tableau 25: Caractéristiques système antigel

4.9. Electrification des processus



Figure 29: Electrification des processus agricoles

Source : Mélangeuse : www.kurmann-landtechnik.ch , faucheuses : www.aebi-schmidt.com, AgroCleanTech

Plusieurs processus agricoles peuvent être électrifiés (préparation et distribution du fourrage, raclage/évacuation des engrais de ferme, brasseurs à lisier). Comparée à des équipements alimentés par des énergies fossiles, la consommation électrique supplémentaire est relativement faible.

Une partie des processus électrifiés ne nécessite pas d'accumulateurs (batteries) : mélangeuse électrique, brasseur, pompe à lisier, etc. Les autres appareils électriques (débroussailleuse, tronçonneuse, etc.) nécessitent des batteries.

Cette mesure est préconisée pour toutes les nouvelles exploitations agricoles.

Investissement [CHF]	Dépend des technologies (débroussailleuse : 500 CHF, mélangeuse électrique dès : 20 kCHF)
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Economie : Carburant (diesel et essence) Amortissement : 10-15 ans
Difficulté de mise en œuvre	+
Avantages	Diminution coûts énergie Réduction pollution de l'air, bruits
Inconvénients	Investissements initiaux plus importants
Informations complémentaires	Constructeurs de matériel agricole AgroCleanTech

Tableau 26: Caractéristiques électrification des processus

4.10. Utilitaire électrique



Figure 30: Utilitaire agricole

Source : eHoftrac www.weidemann.de

Au-delà de certains équipements, certains constructeurs proposent également des véhicules et utilitaires électriques pour l'agriculture. Il peut s'agir de véhicules de manutention (chargeurs articulés ou télescopique), de motofaucheuses ou autres appareils destinés aux travaux des champs. Les utilitaires électriques actuellement proposés ont une autonomie comprise entre 1.5 et 3h. En combinaison avec les mesures, « Optimisation de l'autoconsommation » et « Photovoltaïque » ; les coûts de fonctionnement sont fortement réduits (autoconsommation de l'énergie photovoltaïque).

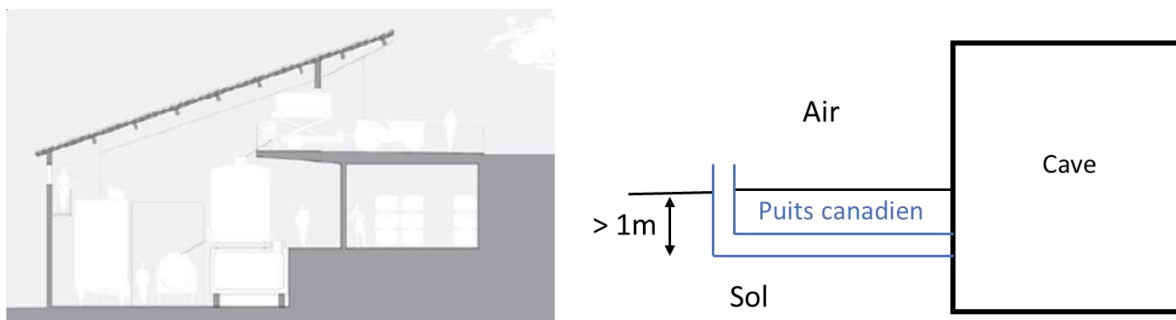
L'utilisation de ce type de matériel, présente l'avantage de réduire le bruit durant les travaux (moins de stress pour le bétail), d'éviter les émissions de gaz d'échappement en intérieur (qualité de l'air) et de remplacer la consommation de carburant fossile.

Cette mesure est préconisée pour toutes les nouvelles exploitations agricoles utilisant un utilitaire agricole.

Investissement [CHF]	55'000-75'000 CHF (avec achat des batteries)
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Economie : Carburant (diesel) Amortissement : <10 ans
Difficulté de mise en œuvre	++ (installation par entreprise spécialisée)
Avantages	Diminution coûts énergie Réduction pollution de l'air, bruits
Inconvénients	Investissements initiaux plus importants
Informations complémentaires	Constructeurs machines agricoles : Weidemann, Schäffer, etc.

Tableau 27: Caractéristiques utilitaire agricole électrique

4.11. Climatisation par free-cooling directe pour caves vinicoles



Source: «Utilisation raisonnée de l'énergie et de l'eau dans une cave», Vitival 2012; AgroCleanTech

Figure 31: Système free-cooling et puits canadien

La vinification nécessite un besoin de climatisation à des températures ambiantes. La maîtrise des températures (19-20°C) lors la fermentation est cruciale dans le processus de vinification.

Une mesure d'efficacité énergétique possible est la ventilation naturelle (free-cooling). En utilisant l'effet thermique du bâtiment (inertie des éléments massifs et orientation du bâtiment), il est possible de diminuer la consommation électrique nécessaire pour atteindre la température souhaitée.

Si l'emplacement des bâtiments ne le permet pas, l'installation d'un puits canadien (trou d'air d'une longueur de 5-10m situé à 1m de profondeur avant les aspirations pour la ventilation artificielle) est également envisageable. L'air extérieur est aspiré dans le puits à une température constante toute l'année (12 °C), frais en été et chaud en hiver. L'investissement supplémentaire dans une nouvelle construction est faible.

Cette mesure est préconisée pour toutes les nouvelles constructions viticoles (cave).

Investissement [CHF]	Puits canadien : 5'000-10'000 CHF (génie civil) Ventilation : 4000 CHF (moteur, commande et installation)
Agent énergétique économisé, Economie Amortissement de la mesure	Electricité (moteur ventilation) : économie 20% consommation électrique Amortissement : 30 ans (durée vie du bâtiment)
Difficulté de mise en œuvre	+++ (dimensionnement spécialiste, entreprise de génie civil)
Avantages	Coûts d'énergie faibles Pas d'entretien
Inconvénients	Investissement initial plus important
Informations complémentaires	Eco-conception des caves : projet européen EcoWinery AgroCleanTech

Tableau 28: Caractéristiques free-cooling et puits canadien

4.12. Optimisation du groupe froid de caves vinicoles

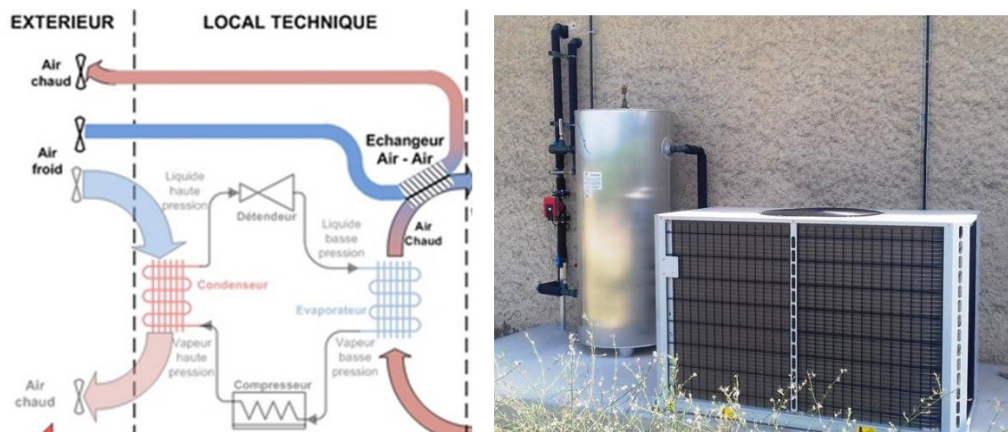


Figure 32: Schéma frigoriste et groupe froid

La vinification nécessite un besoin de climatisation à des températures ambiantes. Durant la fermentation, maîtrise des températures (19-20°C) est cruciale. Tout domaine viticole possède un groupe froid pour le stockage des bouteilles et les étapes des processus de vinification (maîtrise des températures, stabilisation, etc.). Plusieurs mesures d'optimisation peuvent être réalisées pour diminuer la consommation électrique du groupe froid :

- Amélioration de la récupération de chaleur du groupe froid. Dans toute nouvelle construction, la récupération de chaleur permet de préchauffer l'ECS (eau chaude sanitaire). Néanmoins, il est aussi très recommandé de mettre un échangeur entre le groupe froid et le chauffage des bâtiments.
- Installation d'un circuit d'eau glacé, distribution de froid/chaleur décentralisé. Un circuit décentralisé avec des échangeurs drapeaux dans les cuves permet de mieux réguler les cuves et supprimer les pertes du local.
- Free-cooling indirect. Le free-cooling (refroidissement naturel) permet de diminuer la consommation électrique du groupe froid (amélioration de l'efficacité du groupe froid) quand la température extérieure est inférieure à la consigne de froid (température de froid).

Cette mesure est préconisée pour toutes les nouvelles constructions viticoles (cave).

Investissement [CHF]	Amélioration de la récupération de chaleur : 10'000 CHF Distribution de froid décentralisé : 0.5 CHF / l. vin vinifié Free-cooling indirect : 15'000 CHF (échangeur, montage, ventilateur)
Agent énergétique économisé, Economie	Electricité (compresseur) : env. 10 à 20% par rapport à un fonctionnement traditionnel (free-cooling)
Amortissement de la mesure	Chaleur du bâtiment : économie de chaleur du bâtiment (mazout, etc.) Amortissement : <15 ans (durée vie du groupe froid)
Difficulté de mise en œuvre	+++ (dimensionnement spécialiste + entreprise dans le froid industriel)
Avantages	Coûts d'énergie faibles Pas d'entretien
Inconvénients	Investissement initial plus important
Informations complémentaires	AgroCleanTech

Tableau 29: Caractéristiques free-cooling et puits canadien

5. Informations supplémentaires

Les adresses d'associations, d'organes faitières pour la construction rurale, l'efficacité énergétique et la promotion des énergies renouvelables sont disponibles ci-dessous :

- SuisseEnergie (OFEN Office fédéral de l'énergie) : programme promouvant l'efficacité énergétiques et les énergies renouvelables <https://www.suisseenergie.ch/>
- AgroCleanTech : auteur du document, Agence pour l'énergie et la protection du climat dans l'agriculture <https://www.agrocleantech.ch/fr>
- Association Biomasse Suisse : <https://biomassesuisse.ch/>
- Energie-bois Suisse : <https://www.energie-bois.ch/accueil.html>
- SwissSolar : association des professionnels de l'énergie solaire <https://www.swissolar.ch/fr/>
- Suissetec : association des professionnels du bâtiment <https://suissetec.ch/fr/home.html>
- Oekostrom Schweiz : association faitière des biogaz agricoles suisses <https://oekostrom-schweiz.ch/fr/>
- AEE Suisse : organisation faitière de l'économie des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique <https://www.aeesuisse.ch/fr/>

De plus, ci-dessous se trouve un résumé des programmes de soutien possibles dans le cas de transformation (changement d'un équipement, isolation d'un bâtiment, installation photovoltaïque, etc.).

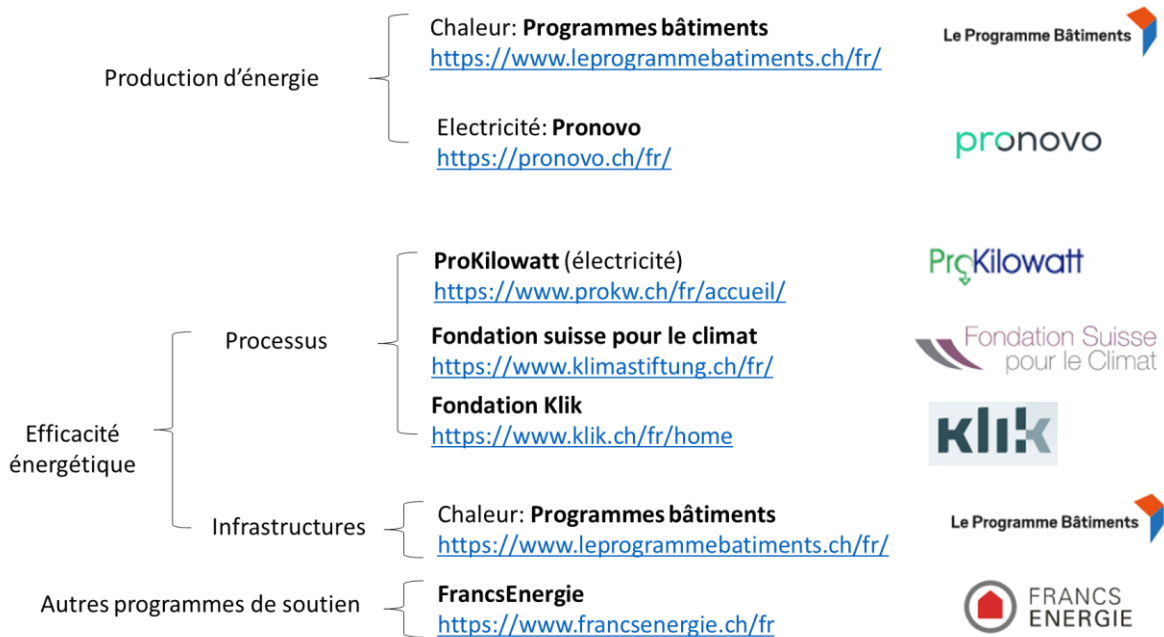


Figure 33: Soutiens financiers possibles