

LE DÉFI DE L'ÉNERGIE DANS LES SERRES



Région



Centre



Dans le cadre de sa mesure phare, la Région Centre poursuit la construction d'une politique de maîtrise de l'énergie. L'enjeu environnemental et les champs d'actions à mettre en œuvre sont considérables. La déclinaison sectorielle de cette politique revêt donc une grande importance. C'est pourquoi lors de la présentation de la nouvelle stratégie de la Région dans les domaines agricole et forestier, un axe sur l'autonomie énergétique au niveau local a été identifié.

La production de légumes et de fleurs sous serres est une activité phare de l'économie agricole régionale. En effet elle est en position de leader français sur le concombre et le poivron, elle est également source d'emplois, notamment en bordures des agglomérations, elle est enfin moteur d'innovation. Pourtant aujourd'hui cette activité est confrontée aux fortes fluctuations du prix de l'énergie fossile.

C'est pourquoi, afin de conserver la compétitivité de ce secteur dans la région, j'ai souhaité faire une priorité de l'élaboration d'un programme d'actions régionales sur la maîtrise de l'énergie dans les serres.

La mise en place d'un groupe de travail sous l'égide de la Région a d'abord permis de faire un recensement du parc existant et des besoins de la profession dans le domaine de l'énergie. Ce groupe, rassemblant les représentants des serristes mais également les producteurs d'énergie renouvelable au travers de la filière forêt bois, a ensuite proposé un plan d'action visant d'abord la maîtrise de la consommation. En effet, la réflexion sur des productions et des techniques moins consommatrices a véritablement constitué la base du travail des acteurs. Dans un second temps la réflexion s'est portée sur les investissements en matière de chauffage et les potentialités des filières de production d'énergie renouvelable dans la région.

Toute cette démarche a été concrétisée par la mise en place du présent guide. Il a été volontairement conçu comme un document pédagogique et évolutif à destination des techniciens mais surtout des exploitants. Il doit permettre d'accompagner et de nourrir la réflexion que chacun doit avoir autour de l'énergie.

Au-delà de ce document, la Région a souhaité mettre en place avec la profession un véritable programme d'accompagnement de cette démarche en partenariat avec la chambre régionale d'agriculture et en complément des actions menées par l'Etat. C'est pourquoi elle a décidé notamment de participer financièrement à la réalisation des diagnostics technico-économiques qui permettront aux professionnels de faire le point sur leurs pratiques et sur leurs capacités à financer des investissements dans le domaine énergétique.

Je souhaite aujourd'hui vous faire partager le résultat de ce travail en partenariat, pour qu'ensemble nous relevions le défi de l'Energie dans les serres.

Marie-Madeleine MIALOT
Vice Présidente de la Région Centre



1. La Maîtrise de l'Énergie

1.1 RÉDUIRE LES PERTES DE CHALEUR
SUR UNE CONSTRUCTION NEUVE

1.2 RÉDUIRE LES PERTES DE CHALEUR
SUR UNE CONSTRUCTION EXISTANTE

1.3 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX ISOLANTS

1.4 ISOLATION DES FONDATIONS ET DES PAROIS

1.5 ISOLATION DU TOIT

1.6 AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES ÉQUIPEMENTS
DE PRODUCTION DE CHALEUR

1.7 AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES ÉQUIPEMENTS
DE DISTRIBUTION DE CHALEUR

1.8 MODIFICATION DES PRATIQUES LIÉES AUX CULTURES

1.9 ÉQUIPEMENTS INCONTOURNABLES

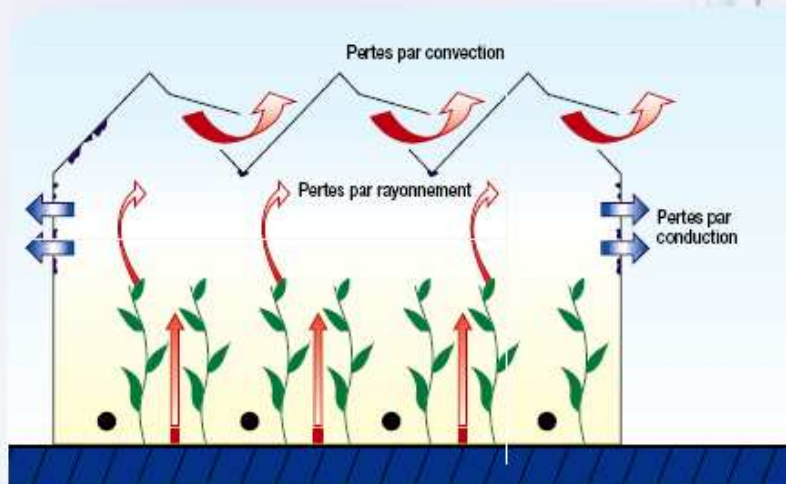
2. Le Choix Énergétique

1. La Maîtrise de l'Énergie

3

Les pertes de chaleur au niveau de la serre sont de trois ordres :

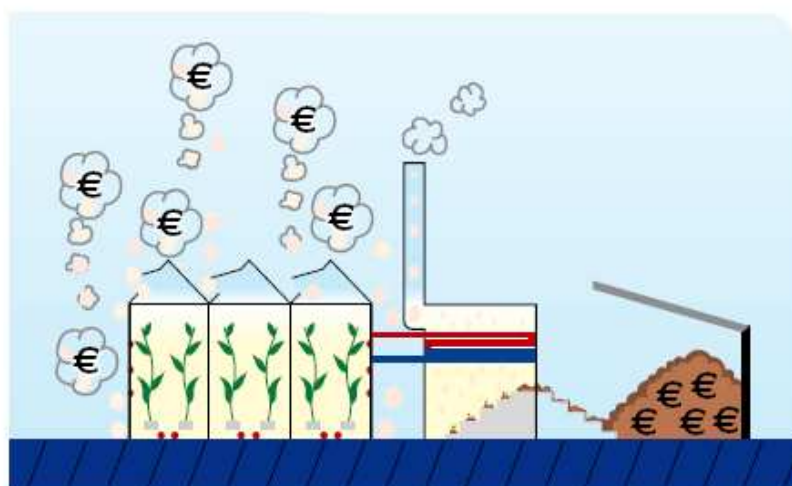
- Les pertes par **conduction**, pertes d'énergie à travers le matériel de couverture, et, dans une moindre mesure, par les montants.
- Les pertes par **convection**, pertes dues aux mouvements d'air dans la serre du fait de trous, fissures et ouvertures dans la couverture de celle-ci.
- Les pertes par **rayonnement**, moins importantes que les précédentes et résultant de la dissipation des infrarouges longs du sol et des plantes à travers le matériel de couverture de la serre.



La **maîtrise globale de l'énergie** dans le cadre de productions précoces s'avère, au regard de ces pertes, **indispensable** pour limiter les coûts énergétiques et environnementaux (déjà conséquents en raison de la nature même des productions mises en œuvre). Celle-ci est rendue possible par la mise en œuvre d'actions spécifiques concernant aussi bien les productions que l'outil de production.

On distingue ainsi quatre actions à mettre en œuvre et qui vont être ici détaillées :

- La **réduction des pertes de chaleur au niveau de la serre**,
- L'**amélioration de l'efficacité des outils de production de chaleur**,
- La **modification des pratiques culturales et regroupement de productions**,
- La réduction des coûts par le **recours à des sources d'énergies alternatives**.



Les trois premières actions sont prioritaires.

Il n'est pas pertinent d'avoir recours aux énergies alternatives si l'infrastructure globale est une passoire à calories.

Il importe de profiter de prix d'énergies vertes plus intéressants sur une structure déjà parfaitement efficace énergiquement parlant, sous peine de voir s'envoler ses économies potentielles par les interstices de ses serres.

1.1 RÉDUIRE LES PERTES DE CHALEUR SUR UNE CONSTRUCTION NEUVE

4

Pour que la nouvelle construction soit la moins "énergivore" possible, un certain nombre d'éléments clefs doivent être travaillés :

■ **L'orientation de la construction** : une orientation **Est-Ouest** permet une meilleure transmission de lumière en hiver et une moins bonne en été. La photosynthèse est ainsi optimisée en hiver et les pertes dues au rayonnement réduites en été.

■ **Le regroupement des unités de serres** : si plusieurs serres sont à construire, favoriser leur **regroupement** permet de réduire les **pertes par les parois latérales**.

■ **Le choix du matériel de recouvrement** : à chaque type de matériel correspond un **coefficient de transfert de chaleur U** ($W.m^{-2}.K^{-1}$). **Plus grande est la valeur de**

celui-ci, plus importantes sont les pertes. Une couverture en polycarbonate double paroi permet ainsi une économie d'énergie de 25% par rapport au verre simple.

Ce coefficient de transfert de chaleur n'est cependant pas le seul paramètre à prendre en compte dans le choix du matériel de couverture de la serre. En effet, leurs propriétés anti-condensation, leur transmissivité, leur résistance physique aux chocs et à l'action des produits de traitement, de même que leur faculté à retenir à l'extérieur les ultra-violets sont autant de paramètres clefs à prendre en considération.

Quelques valeurs de coefficients de transfert sont données dans le tableau suivant :

Matériel de couverture	Coefficient U ou K ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
PVC bi orienté cristal / PVC bi orienté diffusant	6,4-7,6
Verre horticole	5,5-6,6
Polyester armé (résine thermodurcissable + fibre de verre)	5,2-7,2
Verre à couche	3,7-5,4
PC double paroi	3,5-4,5
PMMA (Polyméthacrylate) double paroi / PMMA simple paroi	3,0-3,8
Verre isolant	2,8-3,2

source : CTIFL 2000

■ Lors de la construction, il faudra veiller à ce que les **fondations** soient correctement **isolées**.

■ La mise en place **d'équipements visant l'économie d'énergie** comme les **écrans thermiques** doit être automatique, la **hauteur de la structure** doit permettre leur mise en place.

■ Les **conduites de chauffage primaires** doivent toutes être isolées et/ou enterrées.

■ Un **récupérateur de chaleur sur fumées** doit être installé dans le cadre de chauffage par combustion.

1.2 RÉDUIRE LES PERTES DE CHALEUR SUR UNE CONSTRUCTION EXISTANTE

5

La diminution des infiltrations, l'optimisation du gain solaire et l'isolation sont les méthodes les plus efficaces, économiques et faciles à mettre en œuvre.

■ La **diminution des infiltrations** consiste à **remplacer toutes les vitres cassées, colmater tous les trous dans les parois et le toit, vérifier l'état des jointures et refaire les joints** si nécessaire (**4 à 40 % d'économie d'énergie**) afin d'éviter toute perte de chaleur et mouvements d'air excessif.

Au niveau des **ouvertures** (portes), il s'agit de veiller à ce qu'elles soient **bien hermétiques et bien fermées en hiver**.



■ L'**optimisation du gain solaire**, surtout en hiver découle d'une meilleure pénétration de la lumière, une énergie gratuite! Il faut pour se faire s'assurer de la propreté des vitres et polyéthylènes et utiliser sur les parois intérieures isolées des matériaux réfléchissant la lumière (toiles blanches).

Les radiations photosynthétiques ainsi redirigées vers les plantes permettent d'optimiser la productivité en hiver. Le sol peut également être recouvert de toiles blanches, mais on limite ainsi le stockage de chaleur au niveau du sol de la serre, chaleur normalement redistribuée à l'air la nuit.

■ L'**isolation** peut se faire à différents niveaux et prendre différents aspects. Il peut s'agir de plastiques bulle, d'isolants en polystyrène au niveau des fondations et pans de murs apparents, de films plastiques ou toiles tissées avec ou sans aluminium, à l'intérieur du toit ou des parois latérales.



1.3 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX ISOLANTS

6

Les matériaux isolants utilisés doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- avoir un fort pouvoir isolant,
- être positionnés de façon à intercepter le minimum de lumière,
- être souples, résistants aux enroulements et déroulements successifs (pour les écrans thermiques), et aux chocs mécaniques,
- être résistants aux écarts de températures,
- être résistants à l'humidité,
- limiter le développement des moisissures,
- être résistants aux produits chimiques,
- être résistants aux ultraviolets,
- être peu inflammables,
- avoir une longue durée de vie,
- être bon marché.

 <p>Non européen distribué Adresse étiquette du fabricant 2 adresses d'usage de l'isolant d'apposition marquée CE N° certificat de conformité CE N° de cette norme produit Identité du produit Organisme notifié n° XXXXX code de désignation</p>		<p>Euroclasse</p> <p>A2 S1d0</p>		<p>R m² K/W</p> <p>1,35</p>	<p>λ W/m.K</p> <p>0,038</p>	<p>épaisseur mm</p> <p>50</p>	
		<p>m²/café</p> <p>3,60</p>	<p>pièces par café</p> <p>3</p>	<p>longueur mm</p> <p>1200</p>	<p>largeur mm</p> <p>1000</p>		
<p>NOM PRODUIT XXXXXXXX N° contrôle + usine</p>							
 <p>ACERMI 02/096/YYY/93 XXXXXXXXXX</p>		<p>In option : profil d'usage ISOLE certifié</p>					
<p>AT CSTN N° XX/YY-ZZZZ Nom ou marque commerciale</p>							

Pour une garantie de performance et de qualité, choisissez des produits certifiés ACERMI.

Cette certification des isolants complète le marquage CE et est obligatoire depuis mars 2003.

Toutes les caractéristiques déclarées sont certifiées.

A minima on retrouve ainsi la résistance thermique (R ou U) et conductivité thermique (λ), le comportement de l'isolant à l'eau et son comportement mécanique.

Les qualités retenues pour les matériaux utilisés sont :

- Leur capacité à retenir les rayonnements infrarouges émis par le sol, les plantes et l'extérieur,
- Leur capacité soit à laisser passer soit à réfléchir la lumière,
- Leur capacité à ne pas provoquer de mouvements de convection entre les parties situées au dessus et en dessous de l'écran.

L'isolant va réduire une partie de l'éclairage naturel, il faut donc en évaluer préalablement les impacts et l'économie d'énergie sans nuire aux cultures présentes et futures.

1.4 ISOLATION DES FONDATIONS ET DES PAROIS

7

■ L'isolation doit se faire sur le **périmètre extérieur des serres au niveau des fondations**, là où la chaleur se perd dans le sol. Ainsi, sur 60 cm de profondeur, creusez et mettez un isolant protégé contre les chocs mécaniques, **entre 3 et 6% d'économies peuvent ainsi être réalisés**. Les matériaux recommandés sont : le **polystyrène extrudé** et le **polyuréthane**. Par contre, la laine minérale et polystyrène expansé sont à proscrire.

■ **Hauteur des isolants** sur les parois : celle-ci est fonction de l'orientation des serres pour garantir une luminosité maximale et de la présence ou non de tablettes. **Des économies de 5 à 10%** sont possibles. En présence de tablettes, l'isolant ne doit pas dépasser celles-ci de plus de 30 cm.

L'isolation des parois se fait également par usage des retombées des écrans ou par la mise en place de films plastiques sur celles-ci pendant les périodes froides, films intérieurs ou extérieurs pouvant être enlevés en



Orientation	Hauteur d'isolation
Nord-Sud	Côté Nord : Jusque la gouttière Côtés Est et Ouest : jusque 1,20 m de haut
Est-Ouest	Côté Nord : Jusque 1,20 m de haut Côtés Est et Ouest : jusque 1,20 m de haut

été. L'action de ces films (type BULL'SERRE) est surtout importante sur la façade exposée au vent et sur la façade nord, l'action du vent accentuant nettement les pertes thermiques.

On a ainsi montré que des économies d'énergies non négligeables pouvaient être réalisées :

EFFICACITÉ - +	Modes d'isolation	Réductions maximales estimées des consommations d'énergies (%)
	Isolation des fondations	3-6
	Film intérieur : sur les parois	5-10
	Isolation totale des murs	5-10
	Film intérieur : sur le toit et les parois	35

Dans la pratique et dans nos climats, les économies d'énergie réalisées par l'usage d'écrans thermiques au niveau des parois sont de l'ordre de 3 à 8%.



■ L'isolation peut se faire par des adaptations sur la serre elle-même mais également par des adaptations sur son environnement proche. Les **haies brise-vent**, longtemps utilisées puis tombées en désuétude car faisant barrière à l'entrée de lumière dans la serre, présentent

un intérêt énergétique non négligeable. En effet, le vent a pour effet d'augmenter les pertes par conduction et convection de la serre, ainsi, réduire de 1m/s la vitesse de celui-ci génère des **économies de chauffage de l'ordre de 5 à 10%**.

1.5 ISOLATION DU TOIT

8

La majorité des pertes de chaleur d'une serre se fait par le toit qui présente la plus grande surface d'échange thermique avec l'extérieur. Pour limiter celles-ci, différents types d'écrans thermiques existent pour un investissement moyen de 6 à 7 €/m².

Les principaux types d'écrans thermiques sont :



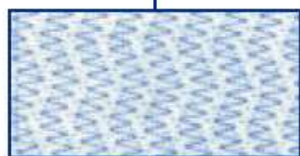
■ Les **films plastiques** en polyéthylène, E.V.A (polyéthylène vinyle acétate) ou polyester.

Ils ont une bonne efficacité du point de vue énergétique. Mais ils présentent deux inconvénients majeurs : leur faible durabilité et leur transmission élevée dans l'infrarouge engendrant des problèmes de condensation. Ils sont cependant **très intéressants dans les cas où la mise en place d'écrans fixes est la seule solution**.



■ Les **films métallisés**.

Il s'agit de films plastiques enduits d'aluminium sur une ou deux faces. Ils limitent les échanges radiatifs entre les plantes et la paroi, présentent une **performance énergétique élevée** et des problèmes de condensation moindres qu'avec les films plastiques. Cependant, ils ont une **faible résistance mécanique**, la couche d'aluminium a tendance à se détériorer sous l'effet de l'humidité et leur prix de revient est élevé.



■ Les **toiles tissées en acrylique ou polyester**.

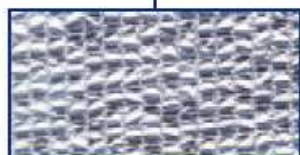
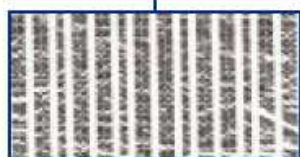
Ces produits peuvent être blancs ou colorés, à structure plus ou moins ferme, ce qui influence directement les pertes d'énergie par convection. Elles sont **peu efficaces contre les pertes par rayonnement**. Dans le cas de matériaux très perméables, l'investissement peut-être justifié si la toile est utilisée de jour comme écran d'ombrage.



■ Les toiles d'assemblage de **bandelettes de polyester ou polyéthylène avec ou sans alternance de bandelettes en aluminium**.

Ces dernières, de plus en plus utilisées, ont une action réfléchissante vis-à-vis de la lumière et de la chaleur.

Le nombre variable de bandelettes d'aluminium permet d'obtenir un gradient d'ombrage. La qualité réfléchissante de l'aluminium permet de rejeter le rayonnement solaire vers l'extérieur sans piéger dans la serre des infrarouges longs qui pourraient contribuer à augmenter la température de la serre. Il s'agit à l'heure actuelle du **meilleur compromis entre ombrage et écran thermique**.



EFFICACITÉ

+

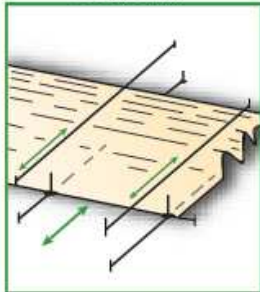
Différents systèmes de traction d'écrans existent :

+

FRÉQUENCE D'UTILISATION

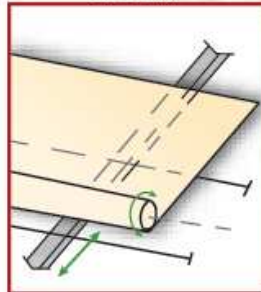
-

COULISSANT

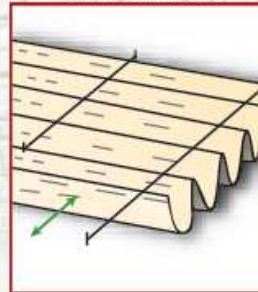


MOINS COÛTEUX
ET PLUS SIMPLE D'USAGE

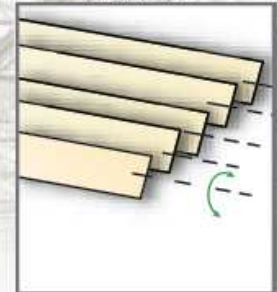
ROULANT



EN ACCORDÉON



À LAMELLES



INTERCEPTANT LE MOINS DE LUMIÈRE !!!

© Wageningen Press

9



■ Utilisés de nuit pour les économies d'énergie et de jour pour ombrage, les écrans devront combiner une bonne transmission lumineuse avec un bon degré d'isolation et des propriétés anti-condensation. **Utilisés en dehors de la période optimale**, ils engendrent de **faibles économies d'énergie et des pertes de rendements**.

Des études du CTIFL ont montré des **possibilités d'économie d'énergie sur concombre hors sol** pouvant aller jusque **32%** sans affectation du rendement et jusque **27%** sur **tomate hors sol**. Elles ont également montrées qu'une **utilisation intempestive** de ceux-ci (+de 58% de temps d'utilisation en tomate et + de 78% en concombre) entraînait des **baisses de rendements**.

L'**amélioration de l'isolation** des abris va de plus inévitablement se traduire par des **taux d'hygrométrie plus élevés** et donc **des risques accrus de développement de maladies et des problèmes de culture**. La mise en œuvre de systèmes de déshumidification peu demandeurs en énergie est à envisager.

■ **Pour les anciennes constructions** ne disposant pas de hauteur suffisante pour l'installation d'écrans mobiles, il ne faut pas négliger la possibilité de **mettre en place des écrans fixes**. Ceux-ci, en film plastique transparent (pour limiter les pertes de lumière et les investissements) peuvent être mis en place des mois de Décembre à Mars, percés puis déchirés et enfin complètement enlevés avec l'avancement de la saison et le réchauffement des températures de nuit.

Pour ces constructions qui sont souvent très peu étanches, les **gains d'énergie ainsi réalisés ne sont pas négligeables**, même si ces écrans auront tendances à augmenter le taux d'humidité dans la serre et à réduire l'entrée de lumière.



Ainsi au global, les économies d'énergie moyennes réalisées par l'usage d'écrans thermiques sous toiture et sur parois sont de l'ordre de 10 à 25% sur l'ensemble de la période de culture.

1.6 AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION DE CHALEUR

10

L'optimisation des équipements de production de chaleur passe par la mise en œuvre de petits aménagements et par un suivi régulier :



■ Favoriser la mise en place de **chaudières centralisées** qui tourneront à **plein régime** et des **réseaux enterrés de conduites principales**.

■ **Choix du brûleur** : Un brûleur à vitesse variable, bien que plus coûteux qu'un brûleur classique, permet d'optimiser la puissance en fonction des besoins en serre, et représente une économie potentielle de 3%. Dans tous les cas il est important de régler la combustion avec un minimum d'excès d'air et peu d'imbrûlés.

■ **Inspecter et entretenir régulièrement le système de chauffage**. Vérifier les rendements de chaudière, étalonner et vérifier le fonctionnement des sondes et thermostats, vérifier l'étanchéité des vannes. (Suivi obligatoire une fois par an par un professionnel).

■ **Vérification du rendement chaudière**. 1% de rendement en moins engendre pour une même puissance utile en serre une augmentation de la consommation d'énergie primaire.

■ **Vérification des sondes à oxygène et oxygène-mètre**. Ceux-ci permettent de réguler la teneur en oxygène dans le foyer et améliorent ainsi la combustion. Outre la limitation des pertes énergétiques de l'ordre de 2%, elles permettent également d'éviter les émissions de monoxyde de carbone assurant ainsi la santé du personnel et la sécurité du matériel.

■ **Installer un récupérateur de chaleur sur fumées**. La chaleur ainsi récupérée sur les produits de combustion permet non seulement de baisser la température de sortie des fumées, mais également d'augmenter le rendement de la chaudière jusque près de 115% du Pouvoir Calorifique Inférieur pour des chaudières traditionnelles à combustibles gazeux. Des économies d'énergie de 10 à 20% seraient observées selon le CTIFL.

1.7 AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES ÉQUIPEMENTS DE DISTRIBUTION DE CHALEUR

11

La distribution de chaleur dans la serre peut également être optimisée de façon à diminuer les consommations d'énergies.

■ **Limiter les longueurs de conduites aériennes.**

■ **S'assurer de la bonne isolation des conduites** avec du matériel performant (préférer des isolations en aluminium, laine de verre plâtrée, éviter les isolants se dégradant facilement et sensibles à l'humidité comme le carton).

■ **Préférer un chauffage à proximité des plantes,** tubes de végétation en cultures maraîchères, chauffage au sol ou sur tablette pour le chauffage des racines en cultures horticoles. Une température plus importante au niveau des racines permet de réduire la température ambiante de la serre de 5°C ou plus et offre une meilleure croissance pour un bon nombre de plantes.

■ **Chauffage par eau chaude :** lorsque les tuyaux de chauffage sont situés en bardage, isoler les parois situées derrière les conduites afin que la chaleur produite ne soit pas directement perdue vers l'extérieur. Pour cela utiliser un isolant recouvert d'une feuille d'aluminium qui renverra la chaleur vers l'intérieur de la serre.



■ Afin de limiter les pertes des conduites d'eau chaudes situées au sol, utiliser un matériel de revêtement au sol réfléchissant les infrarouges émis par les conduites et la lumière.

■ **Chauffage par aérothermes, ou générateurs d'air chaud :** s'assurer de l'homogénéité de la distribution de chaleur dans la serre. Pour cela : utiliser des brasseurs d'air et/ou une gaine de distribution d'air micro perforée avec espacement progressif des trous à mi-hauteur de la serre.

■ **Nettoyer les équipements de distribution de chaleur** (conduites d'eau chaude et/ou ventilateurs) afin qu'aucune saleté ne vienne perturber l'émission de chaleur.



1.8 MODIFICATION DES PRATIQUES LIÉES AUX CULTURES

12

Choix des variétés et espèces cultivées

■ Planification des productions par le choix de variétés à cycle court et à faibles besoins en température.

Il faut aujourd'hui considérer la température comme un facteur agronomique d'importance, au même titre que les besoins en eau, engrais... Les producteurs ont ainsi deux choix : celui de variétés à cycles courts et celui de variétés à faibles besoins en température. Les premières peuvent

être plantées plus tardivement, nécessitant ainsi moins de jours de chauffage, en faisant usage de températures plus chaudes et de plus de lumière. Les secondes, pouvant être cultivées à de plus faibles températures, amènent à des réductions de consommation d'énergie. Un calcul économique s'impose néanmoins, au regard de la demande et de la précocité souhaitée des productions.

Gestion des températures

■ **Eviter de baisser les températures de consigne lors des stades critiques de développement** (germination, initiation florale, développement des fleurs), baisser la température en fin de cycle de production, une fois la plante développée et prête à la vente, ce qui permettra de la conserver plus longtemps. A chaque plante correspondent des températures optimales, n'hésitez pas à les demander à votre conseiller de production.

■ **Favoriser l'intégration des températures**, méthode consistant à autoriser des baisses de températures de nuit, selon les températures du jour et les prévisions météorologiques pour le lendemain, dans le but d'obtenir sur une période donnée (au moins 24h) la température moyenne souhaitée. Des logiciels de pilotage du climat calculent les meilleures stratégies d'intégration en prenant en compte les prévisions météorologiques. On a ainsi un écart de température jour-nuit variable pour une température moyenne constante, ce qui n'affecte pas la croissance de la plante

et permet des économies d'énergie. De nombreux travaux menés aux Pays Bas, en Angleterre et en France montrent que **l'économie potentielle est de 5 à 10 % sur l'ensemble de la culture** et peut atteindre 40% certaines semaines d'hiver. Toutes les variétés ne s'adaptent pas à ce système qui rend les plantes plus génératives.



■ **Ne pas baisser les consignes de nuit indépendamment des consignes de jour** à moins de pratiquer l'intégration des températures assistée par ordinateur. Ceci occasionne un allongement des plantes. Baisser les consignes jour ET nuit, cela rallongera le cycle de production, mais n'affectera pas la qualité des plantes.

Utilisation de l'espace

■ **Eviter de cultiver vos plantes au sol**, ceci est valable dans tous les cas, mais surtout pour les sols non chauffés. Les sols non chauffés sont plus froids que l'air de la serre et la demande énergétique est alors plus importante pour chauffer les racines des plantes au sol par rapport aux plantes qui en sont séparées. De plus, des racines plus chaudes sont moins sujettes aux infections.



■ **Regrouper les plantes en fonction de leur besoin en température**, ce qui vous permettra d'avoir des compartiments chauffés et d'autres moins au lieu de les avoir tous identiques. Les dépenses énergétiques et la qualité des plantes qui s'accommoderont mieux de consignes qui leur sont plus spécifiques, seront ainsi améliorées. Pour ce faire, consultez votre conseiller en production.

■ **Gérer l'espace de culture** : lorsque les plantes sont petites, regroupez les toutes ensemble ce qui permettra peut-être de garder certains compartiments vides et de ne les occuper que lorsqu'il faudra les espacer.

1.9 EQUIPEMENTS INCONTOURNABLES

13

■ L'utilisation d'un ordinateur climatique devient plus qu'indispensable pour gérer au mieux tous les paramètres climatiques et les maintenir aux alentours de leurs consignes respectives. Il s'agit d'un outil interactif qui permet de visualiser à tout moment le positionnement des vannes, les températures, les débits des réseaux de distribution, l'énergie absorbée par les serres, l'énergie consommée sous forme de combustible, le rendement de la chaufferie... Toutes ces données permettent de réaliser un suivi des dépenses et d'intervenir en cas de dérives des consommations.



Il a été démontré que faire travailler ensemble, par le biais de l'ordinateur la chaufferie et les serres, permet :

- une aide à la conduite de la production,
- un gain de temps,
- des économies d'énergie,
- une meilleure fiabilité des installations,
- une durée de vie accrue des équipements.

■ La mise en place de **récupérateurs de chaleur sur les fumées** en sortie de chaudières permet d'améliorer le rendement global de l'installation et de réaliser des économies d'énergies de 10 à 20%.

■ L'**entraînement par crémaillère des ouvrants et leur gestion automatisée**, réglée par l'ordinateur climatique, permet d'assurer une précision et une homogénéité indispensables, surtout les mois d'hiver.

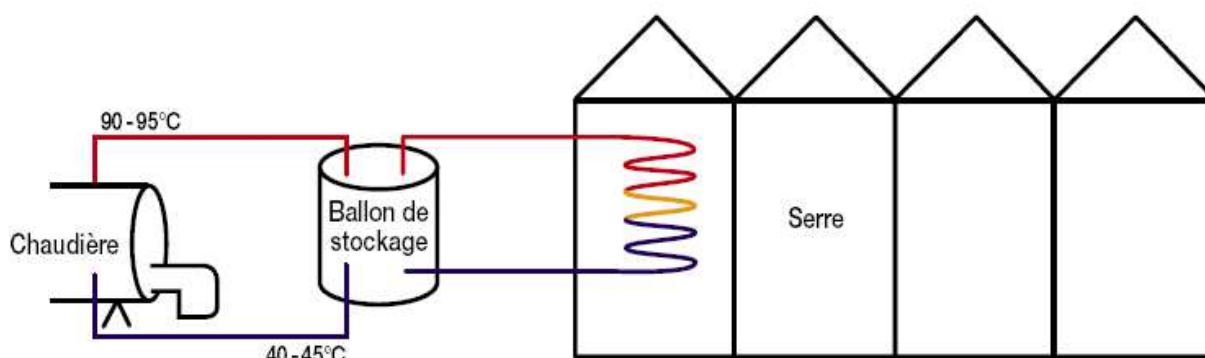


Une chute de température trop rapide sur les plantes lors de l'ouverture affecte en effet la qualité de la production.

■ La mise en place d'**écrans thermiques** peut faire économiser en moyenne jusque 25% d'énergie.

■ La mise en place d'un **stockage d'eau chaude ou système d'open buffer** permet d'éviter les pics de production de chaleur et donc de lisser la consommation en énergie.

Ce système permet de découpler totalement la production de chaleur de sa distribution dans la serre. Le brûleur fonctionne à régime constant, ce qui optimise le rendement de combustion, maximise la production de CO₂ en phase avec les besoins des plantes et permet en plus d'éviter les pics de production de chaleur, amenant une **économie potentielle de 2 à 5 %** et une meilleure gestion de l'eau chaude (CTIFL - 21 Septembre 2006). On estime qu'il faut un ballon de stockage de 200 m³/ha en serre maraîchère et de 130 m³/ha en serre horticole (source : rapport Mauguin - Juin 2006), néanmoins le dimensionnement d'une telle installation reste à évaluer au cas par cas.



Faites le point

14

La maîtrise énergétique se fait aussi bien au niveau des productions que sur les serres et les équipements de production et distribution de chaleur. Plongé au cœur du problème, il n'est pas facile de mettre le doigt sur ce qui à la lecture de ce guide peut nous sembler évident. Pour vous aider, voici un questionnaire. Rapide à remplir, vous y trouverez les éléments clés à prendre en considération pour relever le défi de l'énergie dans vos serres. Remplissez-le préférentiellement par unité de serre, vous aurez ainsi une vue plus précise de votre entreprise et des points à améliorer. Vous pourrez ensuite songer aux possibilités de mise en œuvre d'énergies alternatives.

LES INDISPENSABLES 1

OUI NON

■ La gestion des cultures

Le choix des variétés est défini selon leur besoin en température	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les cycles de cultures sont adaptés pour limiter les besoins en chauffage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les cultures sont regroupées selon leur besoin en température	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les cultures sont regroupées dans l'espace pour limiter les surfaces à chauffer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

■ La serre

L'enveloppe de la serre ne comporte pas d'entrée d'air autre que les fenêtres et portes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les fenêtres et portes sont hermétiques (présence de joints)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La façade nord est isolée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La serre est équipée d'écrans thermiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LES INDISPENSABLES 2

OUI NON

■ La chaufferie

- Les conduites principales en sortie de chaudière sont isolées
- Le système de chauffage est inspecté et entretenu régulièrement
- Un récupérateur de chaleur sur les fumées a été mis en place

■ Un ordinateur climatique central contrôle

- Le démarrage des chaudières
- L'ouverture des ouvrants
- Le déclenchement des écrans thermiques et d'ombrage

LES PLUS

- Un brise-vent permet de limiter les pertes par convection
- Les matériaux d'isolation intérieurs et le sol réfléchissent la lumière
- L'intégration des températures est mise en pratique
- Le réseau de distribution de chaleur est au plus proche des plantes
- Un stockage d'eau chaude a été installé
- Les plantes en pots ne se trouvent pas directement sur sol non chauffé

TOUS LES INCONTOURNABLES SONT EN PLACE ?
VOUS POUVEZ ENVISAGER UN CHANGEMENT D'ÉNERGIE...

2. Le Choix Energétique

16

Si les conditions précédentes sont satisfaites et que les frais énergétiques restent trop importants, différentes alternatives se présentent.

Les énergies fossiles

Le fuel et le gaz avec des chaudières à condensation et la cogénération

Les énergies nouvelles

La géothermie et les pompes à chaleur

Le stockage thermique en aquifère

Le bois

La biomasse d'origine agricole (céréales et paille)

Le biogaz

Les énergies éoliennes et solaires

MAIS, LAQUELLE CHOISIR ?

Pour chacune d'entre elles il faut s'interroger sur :

- La nature du procédé mis en œuvre,
- La proximité de la ressource et la garantie d'approvisionnement,
- Le prix du kWh et les prévisions d'évolution,
- Le montant des investissements, les possibilités d'aides financières et la durée de retour sur investissements,
- L'existence d'exemples réussis ou non en serriculture.
- Les contraintes physiques qu'elle peut présenter :
 - La nécessité d'une aire de stockage de grande dimension
 - Les facilités d'accès pour le déchargement
 - La possibilité de raccordement au système existant
 - La nature et l'évacuation des déchets
 - Les possibilités d'automatisation
 - Les contraintes d'entretien et maintenance plus importantes et régulières dans le cas de chaudières à biomasse
 - Les contraintes en terme de toxicité et corrosivité des échappements
 - La possibilité de récupération de CO₂
 - ...

Les fiches qui suivent vous apporteront quelques éléments de réponse, mais chaque entreprise est un cas particulier qu'il convient d'analyser dans le contexte qui lui est propre.

2.1 LES ÉNERGIES FOSSILES

Fi

Les énergies fossiles les plus utilisées aujourd'hui pour le chauffage des serres sont :
le gaz naturel et le fuel.

■ Prix du kWh PCI utile (€ HT) à titre indicatif

	Prix (€/kWh)
Gaz naturel	0,026 (tarif Tel Nuit chez un maraîcher, GDF, Mai 2006)
Propane	0,044 (tarif négocié chez un horticulteur, Total Gaz, 2006)
Fuel	0,053 (moyenne nationale annuelle, Août 2006)

■ Principe de fonctionnement

La chaleur produite par la combustion de la ressource primaire (gaz ou fuel) est transmise à l'eau du circuit de chauffage. Soit les fumées chaudes circulent autour de tubes contenant l'eau, soit l'eau circule autour de tubes de fumées. Les températures des fumées sont très élevées.

■ Investissement à prévoir à titre indicatif (Données 2006)

Puissance thermique	Prix (€ HT) installation classique raccordée
1 MW	17 000 - 39 000
3 MW	50 000 - 117 000
4 MW	68 000 - 155 000

■ Installation classique gaz naturel ou propane

Avantages	Inconvénients
Pas de stockage	Augmentation du prix du combustible
Bonne fiabilité	Mise en œuvre seulement si raccordement existant ou stockage en cuve
Très bon rendement	
Propre	
Enrichissement CO ₂ possible	
Des exemples réussis	

■ Installation classique fuel

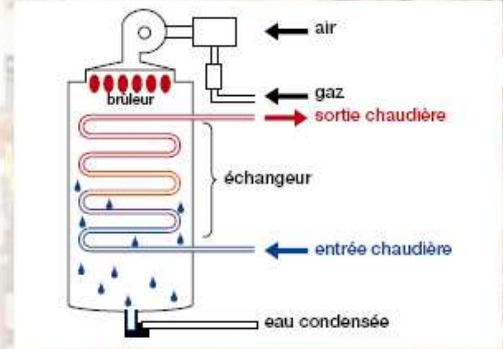
Avantages	Inconvénients
Bon rendement	Augmentation du prix du combustible
Bonne fiabilité	Stockage nécessaire
Propre	Pas d'enrichissement CO ₂ possible
Des exemples réussis	Dégagement de soufre

Du fait de l'augmentation du prix des énergies, des améliorations ont été apportées aux systèmes classiques afin d'améliorer les rendements de combustion et donc de réduire les besoins en ressource primaire pour un même niveau de chauffe. C'est ainsi qu'ont été développées la chaudière à condensation et la cogénération.

CHAUDIÈRE À CONDENSATION

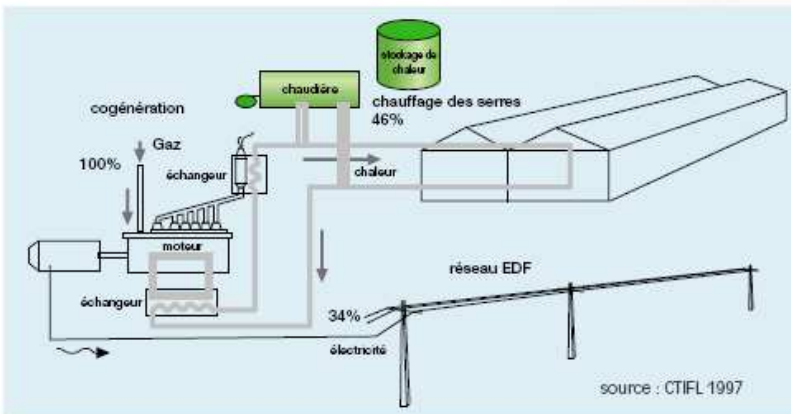
Elle diffère d'une chaudière traditionnelle par la récupération de la chaleur latente contenue dans les gaz de combustion à l'aide d'un échangeur thermique.

La température des fumées sortant de la cheminée n'est plus alors que d'une cinquantaine de degrés Celsius, le gain de rendement par rapport à une installation classique est de l'ordre de 10 à 15% sur PCS.



Avantages	Inconvénients
Bonne fiabilité	Augmentation du prix du combustible
Enrichissement CO ₂ possible	
Des exemples réussis	

COGÉNÉRATION



La cogénération consiste à produire en même temps sur la même installation de l'énergie thermique et de l'énergie mécanique. L'énergie mécanique est convertie en électricité par un alternateur (moteur ou turbine), alors que l'énergie thermique est utilisée pour le chauffage. Le gaz est la ressource primaire la plus utilisée pour la cogénération, en raison de ses caractéristiques intrinsèques (absence de dioxyde de soufre, utilisation à haute

température, rendement de combustion supérieur aux autres combustibles), mais d'autres ressources comme la géothermie ou la biomasse sont aussi utilisables.

La cogénération avec moteur à gaz est la plus adaptée à la cogénération pour les serres. Aujourd'hui le tarif moyen de rachat par EDF est de 0,1045 €/kWh (Septembre 2006, installation de 2004 d'une puissance de 1800 kW thermiques).

■ Investissement à prévoir à titre indicatif (Données 2006)

Puissance thermique	Prix (€ HT) installation cogénération raccordée
1 MW	1 050 000 à 1 500 000
3 MW	1 260 000 à 2 800 000
4 MW	> 1 900 000

Avantages	Inconvénients
Production électricité+chaleur	Investissement important
Bon rendement	Augmentation du prix du combustible
Bonne fiabilité	Stockage tampon nécessaire
Des exemples réussis	
Enrichissement CO ₂ possible	

2.2 LA GÉOTHERMIE ET LES POMPES À CHALEUR

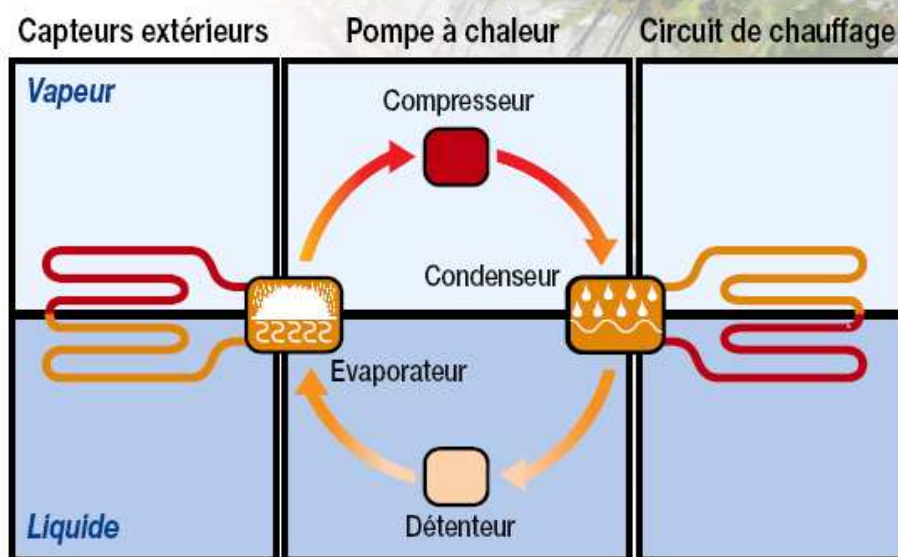
F2

■ **Prix du kWh utile** (€ HT) à titre indicatif et sujet à variations selon les fournisseurs, le type d'installation et son coefficient de performance (COP)¹: 1/3 à 1/4 du prix du kWh électrique. Soit entre 0,0139 et 0,0255 €/kWh selon le contrat tarifaire souscrit.(2006)

■ Principe de fonctionnement

La géothermie très basse énergie est définie par l'exploitation d'une ressource présentant une température inférieure à 30°C, qui ne permet pas, dans la plupart des cas, une utilisation directe de la chaleur par simple échange.

Elle nécessite donc la mise en œuvre de **pompes à chaleur** qui prélèvent cette énergie à basse température pour l'augmenter à une température suffisante pour le chauffage.



Cette opération requiert un peu d'énergie électrique et l'utilisation d'un fluide frigorigène dont le changement d'état (vapeur ou liquide) permet de transférer les calories captées dans le sous-sol vers les espaces à chauffer. Ainsi, une pompe à chaleur qui assure 100% des besoins de chauffage consomme seulement 30% d'énergie électrique, les 70% restants étant puisés dans le milieu naturel.

La géothermie très basse énergie concerne l'exploitation de deux types de ressources : l'énergie naturellement présente dans le **sous-sol** à quelques dizaines – voire des centaines – de mètres et dans les **aquifères** qui s'y trouvent.

En France, la température moyenne au niveau du sol est en général de 10 à 14°C et au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le sous-sol, celle-ci augmente en moyenne de 4°C tous les 100 m (gradient géothermal).

La chaleur emmagasinée dans le sol est accessible en tout point du territoire. Les techniques de capture de cette énergie sont adaptées en fonction des besoins thermiques et des types de terrains rencontrés.

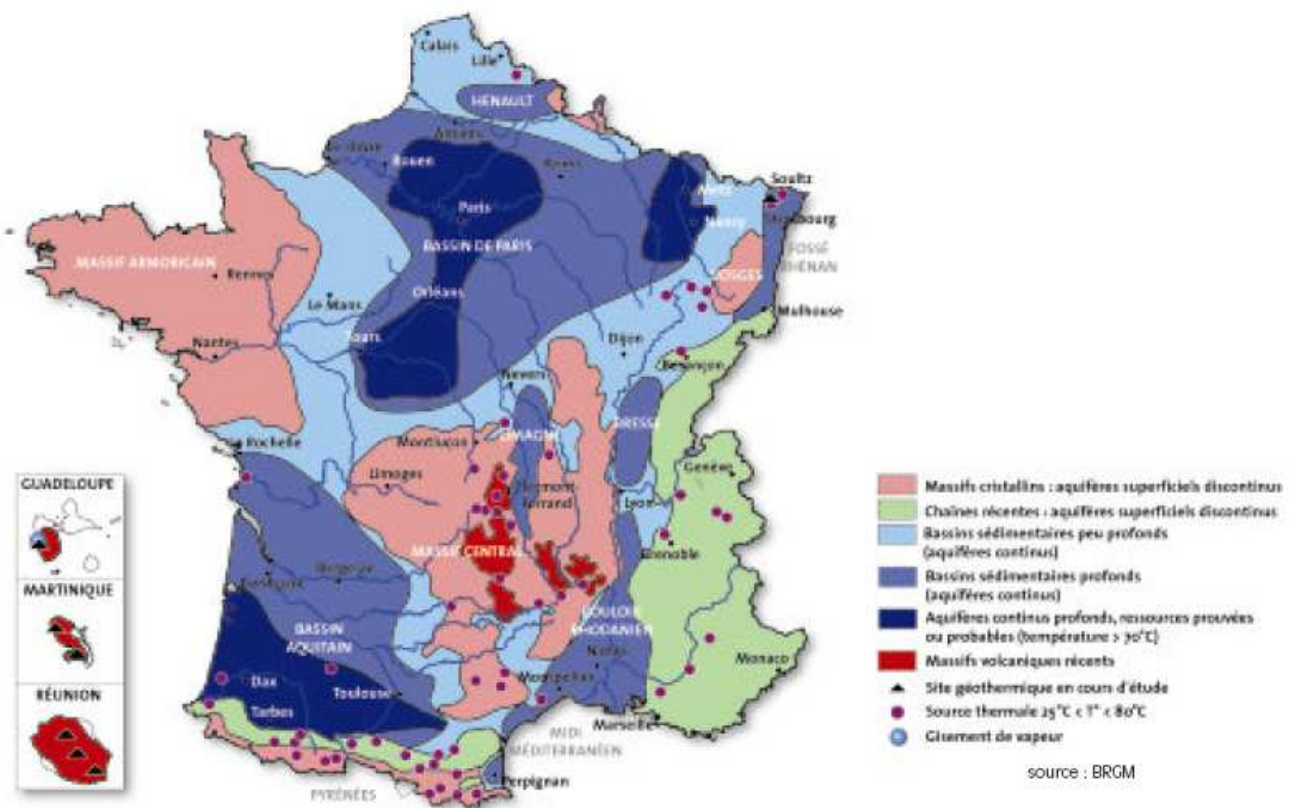
Les aquifères superficiels sont largement répandus sur l'ensemble de la région Centre. Il s'agit soit de nappes alluviales qui accompagnent les cours d'eau, soit d'aquifères présents à différentes profondeurs dans les bassins sédimentaires.

1. COP : rapport entre énergie récupérée de la ressource et énergie primaire utilisée pour le pompage.

La région Centre connaît un fort potentiel de développement des pompes à chaleur géothermiques. Un atlas géo-référencé, présentant la disponibilité de la ressource aquifère, de ses caractéristiques (profondeur, débit, température...) sera disponible à compter du début de l'année 2007.

Ce dernier permettra de valider ou non la faisabilité d'avoir recours à une pompe à chaleur géothermique pour la couverture de ses besoins. Cette information sur la faisabilité ne vient néanmoins pas remplacer l'étude préalable à sa mise en place.

Les ressources géothermiques en France



■ Investissement à prévoir à titre indicatif (Données 2006)

L'investissement comprend une partie forage et une partie installation de la pompe proprement dite.

- Pour un forage vertical, il faut compter : de 100 à 200 € HT par mètre linéaire foré (prix variant avec la nature du sol).
- Pour l'installation et mise en fonctionnement de la pompe, avec une eau à 55-60°C en entrée de circuit et une pompe de puissance maximale 36 KW avec un COP de 4,8, il faut compter environ 16 000 € .

En général, on installe la même puissance en pompe que celle de la chaudière à remplacer, ce qui multiplie le nombre de pompes et donc le nombre de forages puisqu'à chaque pompe correspond un forage.

Avantages	Inconvénients
Ecologique	Investissement lourd et coûteux
Pas de rejets	Pas de production de CO ₂ à réinjecter
Pas de chaufferie	
Pas de stockage	
Des exemples réussis (Lamazère, Gers)	

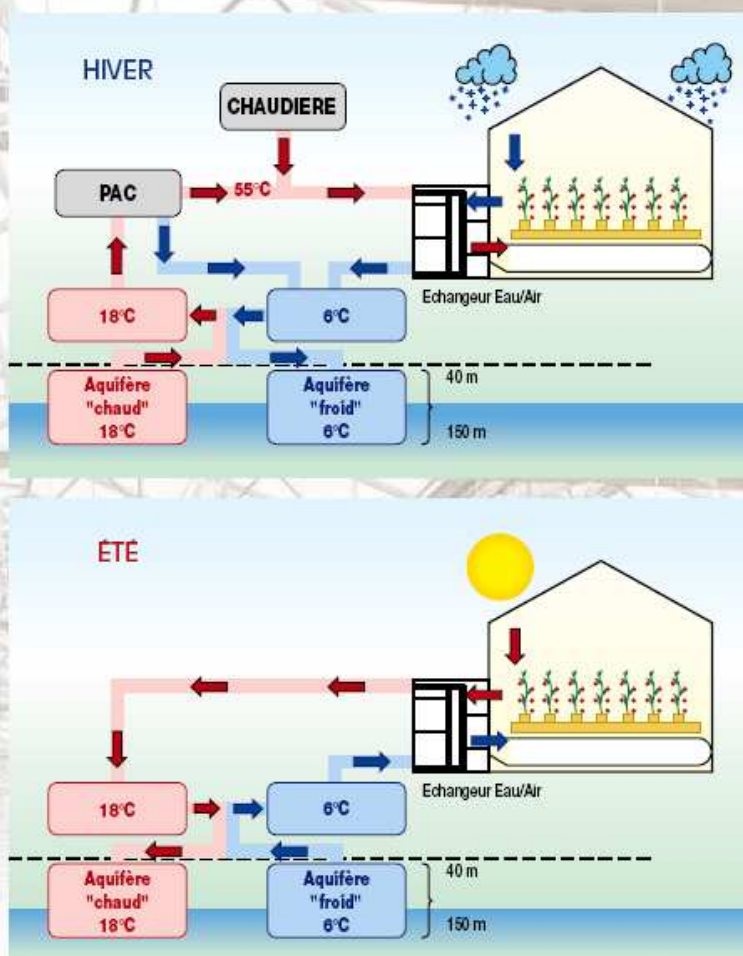
2.3 STOCKAGE THERMIQUE EN AQUIFÈRE - LA SERRE FERMÉE

F3

Le principe de la serre fermée peut sembler simple, il s'agit de collecter et stocker de la chaleur ou du froid pour une utilisation ultérieure selon les besoins. La serre, fermée tout au long de l'année collecte en été la chaleur solaire qui va tiédir de l'eau froide venant de l'aquifère et circulant dans la serre. Cette eau tiède stockée dans l'aquifère à une profondeur différente sera utilisée en hiver pour chauffer la serre.

Les intérêts majeurs d'un tel système sont :

- les **économies d'eau** avec la récupération de la condensation (des études ont montré des possibilités d'économie de 75% de l'eau d'arrosage),
- la **réduction du nombre d'insectes et de maladie**, la serre étant fermée, ce qui permet également de réduire l'utilisation de pesticides,
- un **climat plus stable** dans la serre qui limite le stress des plantes,
- une **maîtrise du cycle de CO₂** permettant d'obtenir des concentrations plus élevées qui améliorent le rendement,
- la possibilité de chauffer une serre de surface équivalente.



source : CTIFL

■ Investissement à prévoir à titre indicatif (Données 2006)

Pour une serre de 1 ha chauffant une serre conventionnelle de 0,8 ha : 1 470 000 €

(Source : ESETA, pour une installation Fiwihex). 2006

Avantages	Inconvénients
Ecologique	Investissement lourd et coûteux
Pas de rejets	Dépendance vis à vis des caractéristiques de l'aquifère
Amélioration des rendements	Essais encore expérimentaux en France
Faible pression phytosanitaire	Pas de production de CO ₂ à réinjecter
Possibilité de chauffer une surface équivalente	Surface de stockage nécessaire
Des exemples réussis en Europe	

A l'heure actuelle, plus d'une dizaine de serres fermées fonctionnent en Europe, majoritairement aux Pays Bas. Les premiers prototypes expérimentaux vont voir le jour en 2007 en France.

2.4 LE BOIS

F4

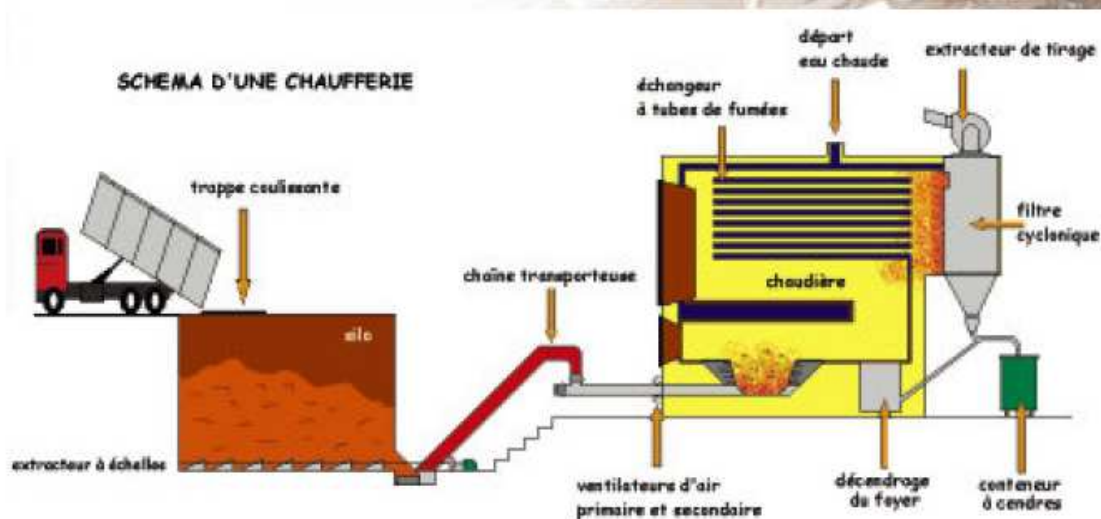
■ **Prix du kWh utile (€ HT)** à titre indicatif, très variable selon le fournisseur et la ressource : entre 0,013 € pour des écorces humides et 0,05 € pour des granulés en sacs ou plaquettes forestières. Cependant, une fois négociés, ces tarifs peuvent faire l'objet d'un prix d'achat assez stable car pouvant être contractualisés sur plusieurs années.

■ **Investissement à prévoir** à titre indicatif (matériel, transport et manutention sur place inclus) (Données 2006)

Puissance thermique	Prix (€ HT) équipement total ²	Dont part chaudière uniquement
1 MW	150 000 - 450 000	70 000 - 200 000
3 MW	350 000 - 650 000	100 000 - 350 000
4 MW	550 000 - 850 000	200 000 - 450 000

2. L'équipement total comprend : la chaudière, l'alimentation mécanique, un filtre, un brûleur, l'extraction automatique des cendres, un silo de stockage, une armoire électrique, des raccordements hydrauliques, électriques, fumée, une cheminée, l'installation et la mise en route. Ne sont pas pris en compte les frais pour l'aire de stockage, d'éventuels aménagements de voirie, l'aménagement des fondations de la chaufferie.

■ **Principe de fonctionnement**



Avantages	Inconvénients
Prix moyen du combustible	Hétérogénéité des prix du combustible
Facilité d'approvisionnement selon la zone	Investissements importants
Contractualisation possible	Approvisionnement fonction de la zone
Ecologique	Possible besoin d'investissement dans une déchiqueteuse ou broyeur
Réutilisation des déchets	Pas de production de CO ₂ à réinjecter
Technologie éprouvée	Surface de stockage nécessaire
Nombreux exemples en serres	Rendement chaudière moyen 80%

2.5 LA BIOMASSE AGRICOLE

F5

■ Prix du kWh utile (€ HT) à titre indicatif et sujet à variations

	Prix (€/kWh utile)	
Blé grain	0,027	0,030
Orgette	0,021	0,024
Triticale	0,024	
Seigle	0,024	0,027
Tourteau colza	0,026	
Colza graine	0,037	0,040
Tournesol graine	0,050	0,054
Myscanthus	0,020	
Paille	0,0047	0,0156



source : CA45, Mai 2006

■ Investissement à prévoir à titre indicatif (Données 2006)

Montants similaires aux chaudières à bois (matériel, transport et manutention sur place inclus), auxquels il faut rajouter des adaptations spécifiques à ces combustibles (défibrage de la paille, régulation spécifique de la combustion, grilles mobiles pour éviter les mâchefers, filtration spécifique des fumées, entretien plus fréquent du foyer ...).

■ Principe de fonctionnement : similaire au bois.

Avantages	Inconvénients
Prix moyen du combustible	Hétérogénéité des prix du combustible
Facilité d'approvisionnement selon la zone	Investissements importants
Ecologique	Approvisionnement fonction de la zone
Réutilisation des déchets	Pas de production de CO ₂ à réinjecter
Des exemples réussis	Investissements spécifiques (déchiqueteuse)
	Filtration des fumées
	Essais en cours de développement

Aujourd'hui néanmoins, l'utilisation de biomasse d'origine agricole soulève encore de nombreuses interrogations aussi bien techniques qu'environnementales :

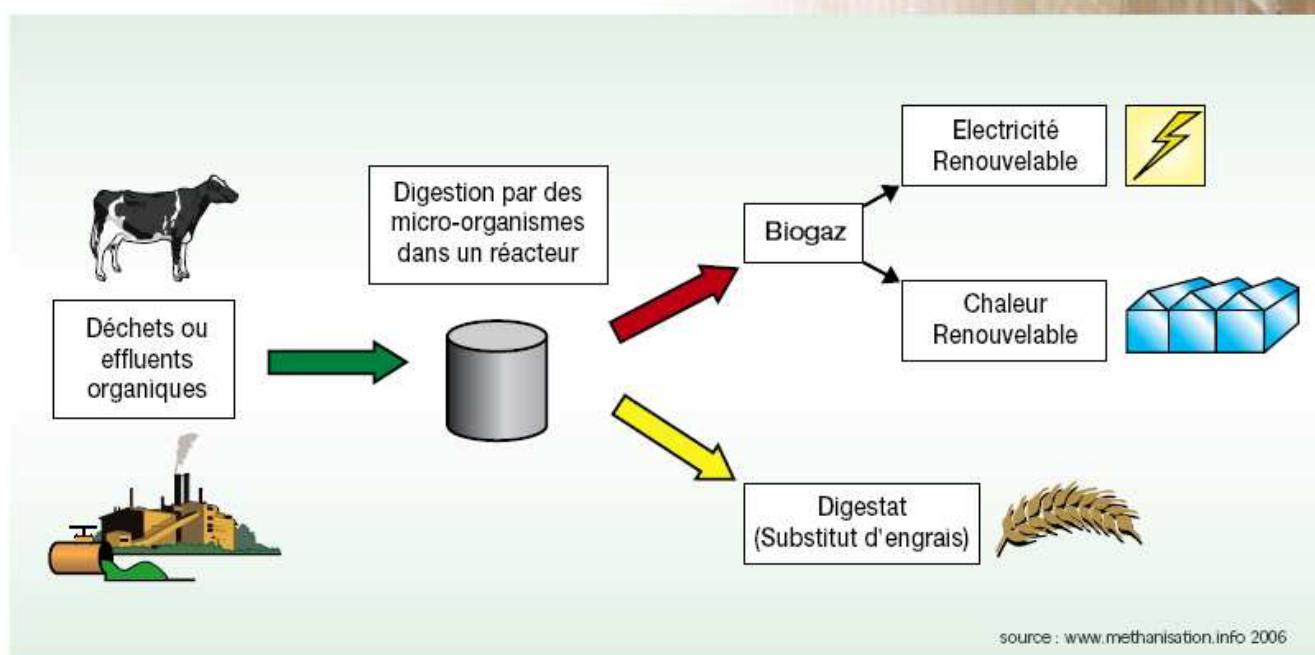
- la formation de mâchefers dans les foyers,
- la composition des rejets de combustion de nature corrosive,
- le bilan énergétique global (depuis la production – intrants compris – à sa combustion),
- le caractère invasif de certaines espèces, menaces de la biodiversité.

Les études et expérimentations en cours et à venir apporteront des réponses à ces questions et permettront, le moment venu, le développement de cette filière qui apparaît prometteuse.

2.6 LE BIOGAZ

F6

Le **biogaz** est produit par la méthanisation : digestion anaérobie de la matière organique. Composé de méthane en majorité (50 à 70%) et de gaz carbonique, il possède un fort potentiel énergétique. Il **peut se valoriser en serre** en tant que **combustible simple dans une chaudière** au gaz naturel après adaptation du brûleur ou **en cogénération** pour la production de chaleur et électricité revendue entre 11 et 14 cts d'euros/kWh pour les puissances inférieures à 150 kW (J.O. - 26 Juillet 2006).



Des essais au stade expérimental concluant montrent la faisabilité de chauffer les serres avec du gaz provenant de la méthanisation de produits verts. Cependant, même si la faisabilité technique est avérée, dans la pratique, il faut se trouver à proximité d'un site de méthanisation (souvent des exploitations d'élevage bovin) pour que cela soit rendu possible ou investir soi-même dans un site de méthanisation.

Le **problème majeur** que présente une telle installation est celui de l'**alimentation du digesteur en matières organiques**. Les principales sources de matières organiques sont : les déjections animales, la fraction organique des ordures ménagères, les effluents agro-alimentaires, les boues de station d'épuration, les sous produits agricoles...

La difficulté pour un serriste, à moins d'être agriculteur ou éleveur, sera de garantir l'approvisionnement. Il faudrait 35 à 40 ha de déchets verts issus de cultures de tomates (feuilles et fanes) pour chauffer un hectare de serre.

Il s'agit donc d'une alternative à étudier au cas par cas en fonction de l'environnement de l'exploitation.

2.7 L'ÉNERGIE SOLAIRE - L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

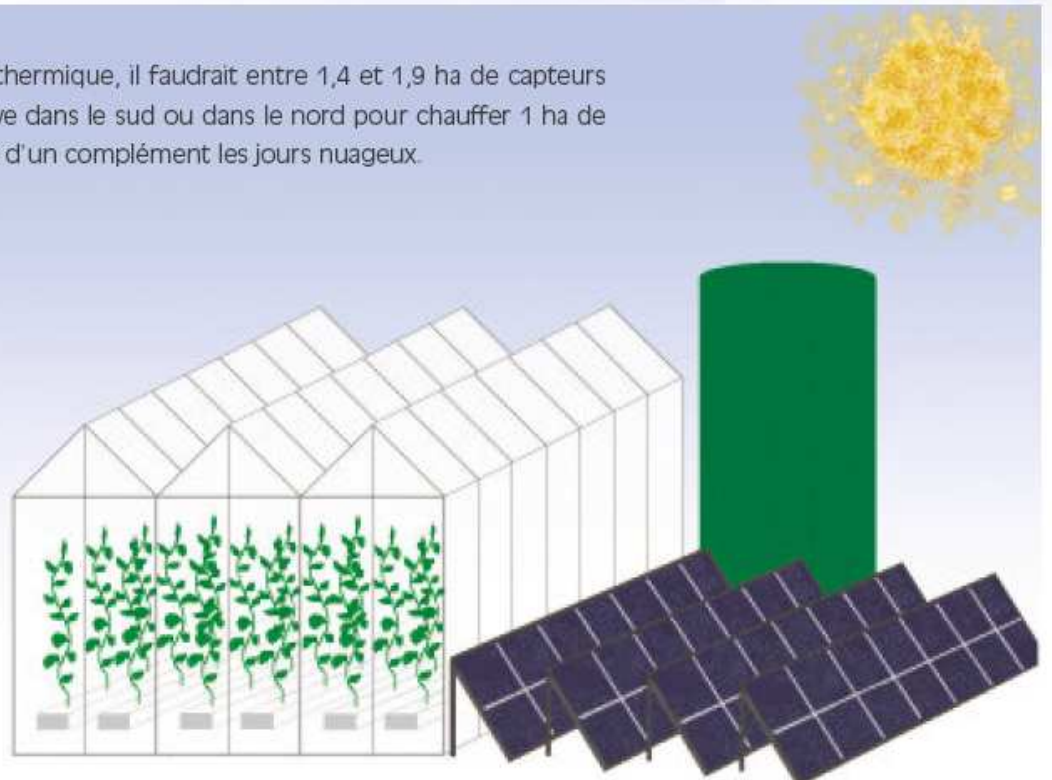
F7



Les énergies éoliennes et solaires ne sont aujourd'hui pas utilisées pour chauffer les serres. Dans le cadre de la diminution de la facture énergétique des exploitations, elles peuvent être aujourd'hui mises en œuvre pour **produire de l'électricité verte revendue à EDF** à un tarif plus intéressant ce qui permet de diminuer l'impact de la facture d'électricité sur l'ensemble des charges représentées par l'énergie.

Elles sont cependant **très dépendantes des gisements éoliens et du rayonnement solaire sur la zone.**

Dans le cas du solaire thermique, il faudrait entre 1,4 et 1,9 ha de capteurs selon que l'on se trouve dans le sud ou dans le nord pour chauffer 1 ha de serre, avec la nécessité d'un complément les jours nuageux.





Conseil régional du Centre

9, rue Saint-Pierre-Lentin
45041 Orléans Cedex 1

Tél : 02 38 70 30 30
Fax : 02 38 70 31 18

www.regioncentre.fr

Direction de l'AgrEF

Tél : 02 38 70 31 82
Fax : 02 38 70 32 97



Dans le Centre, c'est vous le centre