

ALTERNATIVES AU GAZ
POUR LE CHAUFFAGE DES SERRES

INP-ENSAT : module de pré-spécialisation Cultures protégées et sous serre, année 2006
Suzanne le Cadre, Hélène Ebelin, Nicolas Fernandez, Pascal Garin, Marie Morel, Pierre
Notabili,

TABLE DES MATIERES

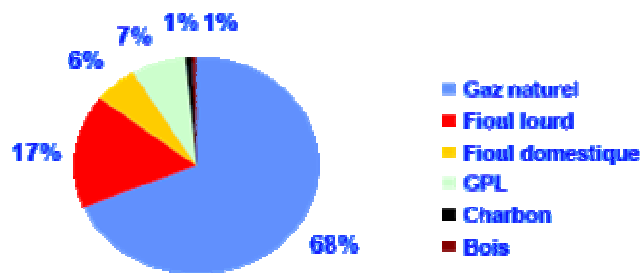
| | |
|--|----|
| Introduction | 2 |
| La situation actuelle : énergétique et financière | 3 |
| Adaptations des serres pour économiser l'énergie | 7 |
| Les écrans thermiques : | 7 |
| Le chauffage localisé : | 7 |
| Gestion du climat assisté par ordinateur : | 8 |
| Changer de source d'énergie | 9 |
| La cogénération | 9 |
| Principe | 9 |
| Investissement | 10 |
| L'Europe veut doubler ses installations en cogénération d'ici 2010 | 10 |
| Le chauffage par le bois, les céréales ou la paille | 11 |
| Principe : | 11 |
| Investissement | 13 |
| En conclusion : | 14 |
| Biocarburants | 14 |
| Géothermie | 15 |
| Pompe à Chaleur | 16 |
| Solaire thermique | 16 |
| Utilisation des rejets thermiques industriels | 17 |
| Synthèse | 17 |

Introduction

La culture sous serre a pour finalité de cultiver des plantes en créant des conditions climatiques plus favorables que le climat local.

En culture sous serre, la température est un des paramètres les plus importants de la gestion du climat, et aussi l'un des plus difficiles à gérer. Sa gestion répond à une nécessité économique et écologique. Les températures optimales diffèrent d'une culture à l'autre et selon le stade de la culture. La température influence la photosynthèse, la respiration. Elle intervient dans la vitesse de croissance, le bourgeonnement. La différence de température entre le jour et la nuit constitue également un facteur essentiel.

Aujourd'hui, le chauffage des serres est essentiellement assuré par des combustibles fossiles : fuel et gaz.



Source : conférence

« Environnement » du SIFEL, 15 mars 2006, L'énergie en serre : état des lieux et solutions pour réduire la facture énergétique, Ariane Grisey, CTIFL.

L'envolée des cours du pétrole - prix du baril multiplié par 3 depuis 2003 - et l'imminence du Peak Oil - prévu entre 2010 et 2020 selon les estimations - pousse à chercher d'autres solutions. En effet, même si des pénuries ne sont pas probables, le prix de ces énergies est appelé à augmenter. De nombreux experts de l'ASPO - *Association for the Study of Peak Oil and Gas* - prédisent un baril à 100 dollars en 2008.

La prédominance des énergies fossiles dans le chauffage des serres incite à approfondir la question. Et ceci est d'autant plus vrai que le chauffage est le deuxième poste de dépenses après la main d'œuvre, soit 20 à 35 % des coûts de production. Nous nous intéresserons donc à l'importance du coût engendré par le chauffage. Coût qui ne cesse de croître dans la mesure où le prix de toutes les énergies fossiles utilisées jusqu'alors pour chauffer les serres ne cesse de croître.

Nous étudierons ensuite l'efficacité du chauffage et les économies d'énergies possibles. Puis, nous verrons quelles sources sont envisageables à court et moyen terme. Enfin, nous proposerons une synthèse pour le chauffage des serres.

La situation actuelle : énergétique et financière

Aujourd'hui, tous les experts s'accordent à dire que le prix du baril de pétrole ne cessera d'augmenter à l'avenir. La courbe suivante nous indique l'évolution du prix du baril jusqu'à aujourd'hui :



Cours du pétrole brut

En définitive, à long terme, le prix du baril de pétrole ne va cesser d'augmenter. Cela pose la question des choix énergétiques, déjà faits et à faire. De plus en plus, les horticulteurs et maraîchers souhaiteraient s'orienter vers les énergies renouvelables. Cela permettrait donc effectivement, d'acquérir une indépendance nécessaire vis-à-vis de combustibles fossiles dont le prix est durablement en hausse mais aussi de limiter les émissions de gaz à effet de serre très polluants.

En effet, on estimait en 1985 « la consommation totale des serres à 800 000 TEP - Tonnes Equivalents Pétrole - par an pour 18 000 exploitations au total, soit à peu près le quart de la consommation énergétique de l'agriculture » (source : La thermique des serres, Yves Cormary, Christian Nicolas, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, n° 58, éditions Eyrolles).

Comme l'illustrent les deux graphiques suivants, l'énergie consacrée au chauffage des serres représente une part très importante des charges d'exploitation. Elle correspond en effet au deuxième poste de dépenses pour les serres maraîchères et horticoles.

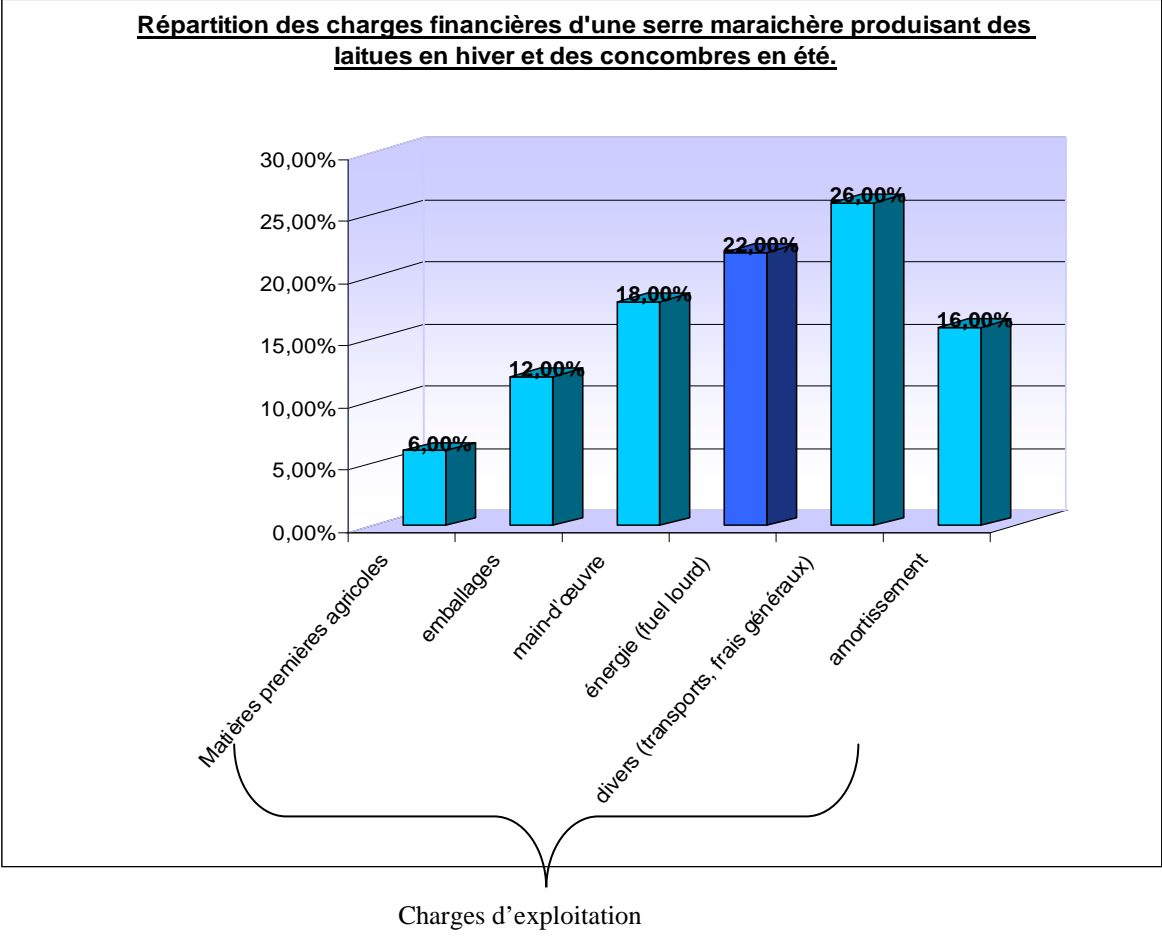


Figure 1 (source : La thermique des serres, Yves Cormary, Christian Nicolas, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, n° 58, éditions Eyrolles).

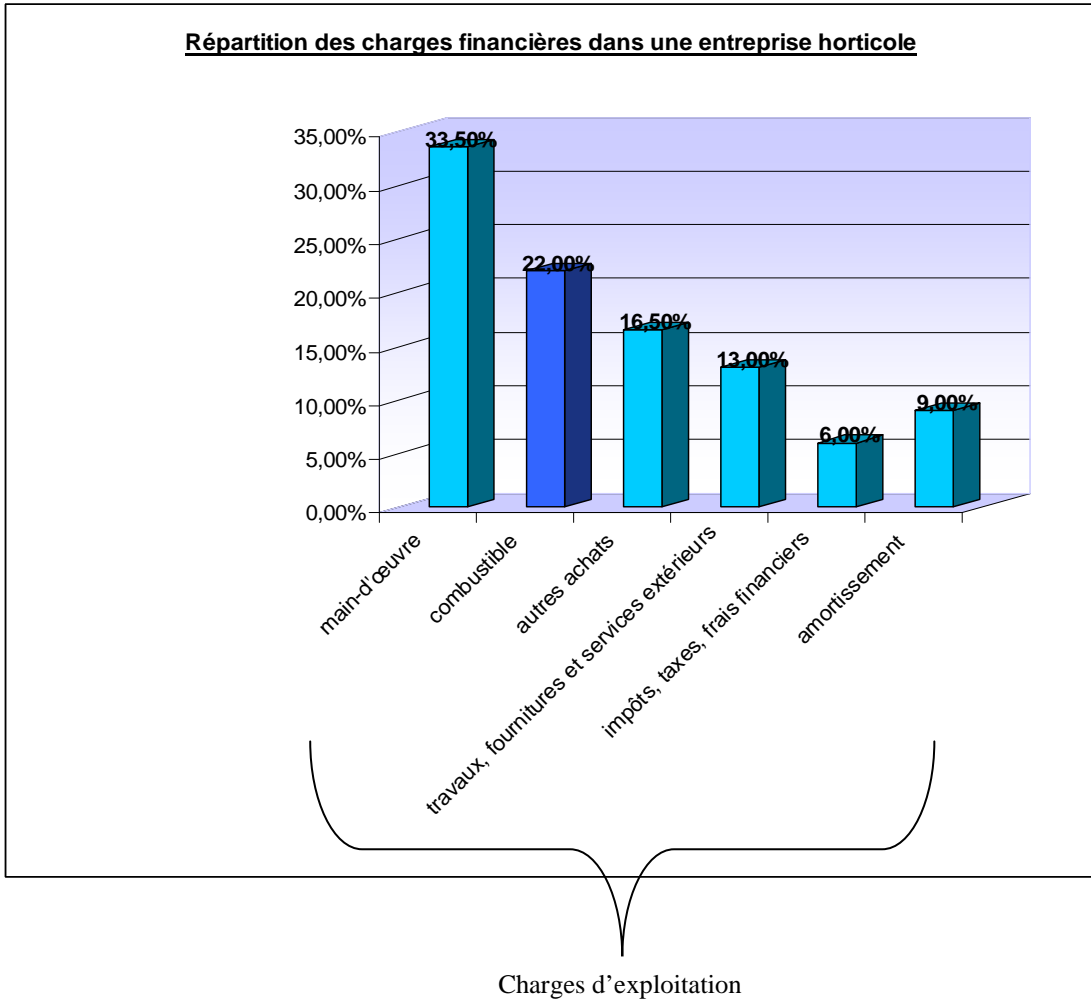


Figure 2 (source : *La thermique des serres*, Yves Cormary, Christian Nicolas, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, n° 58, éditions Eyrolles).

Par conséquent, les producteurs maraîchers et horticoles surveillent de plus en plus près ce poste, essayant de le diminuer autant que possible. En effet, c'est en essayant de diminuer au maximum leurs charges opérationnelles que les producteurs peuvent rester compétitifs.

Par ailleurs, ces préoccupations énergétiques sont plus que jamais d'actualité avec une augmentation constante des prix du fioul et du gaz, comme le montre bien le graphique suivant :

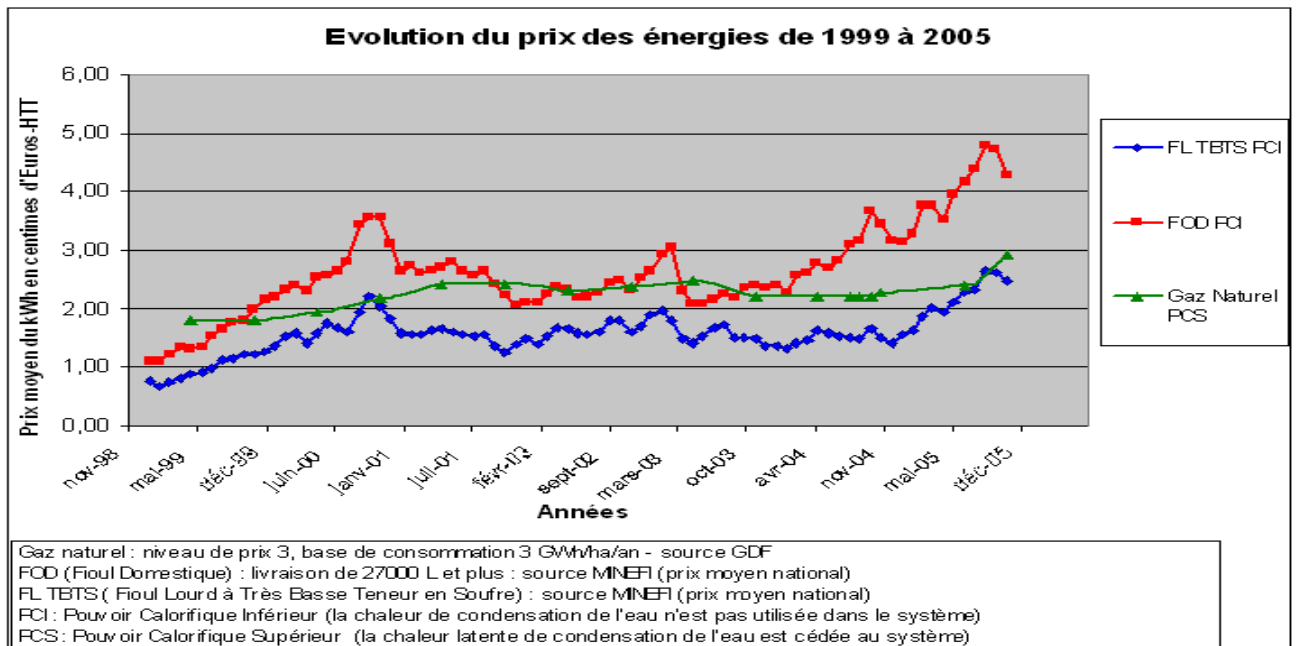


Figure 3 (Source : www. fruits-et-legumes_net)

Quant aux exploitations qui disposent d'un groupe électrogène pour pallier aux pannes et qui achètent leur électricité à EDF, la situation est la même, à savoir que le prix de l'énergie ne cesse d'augmenter :

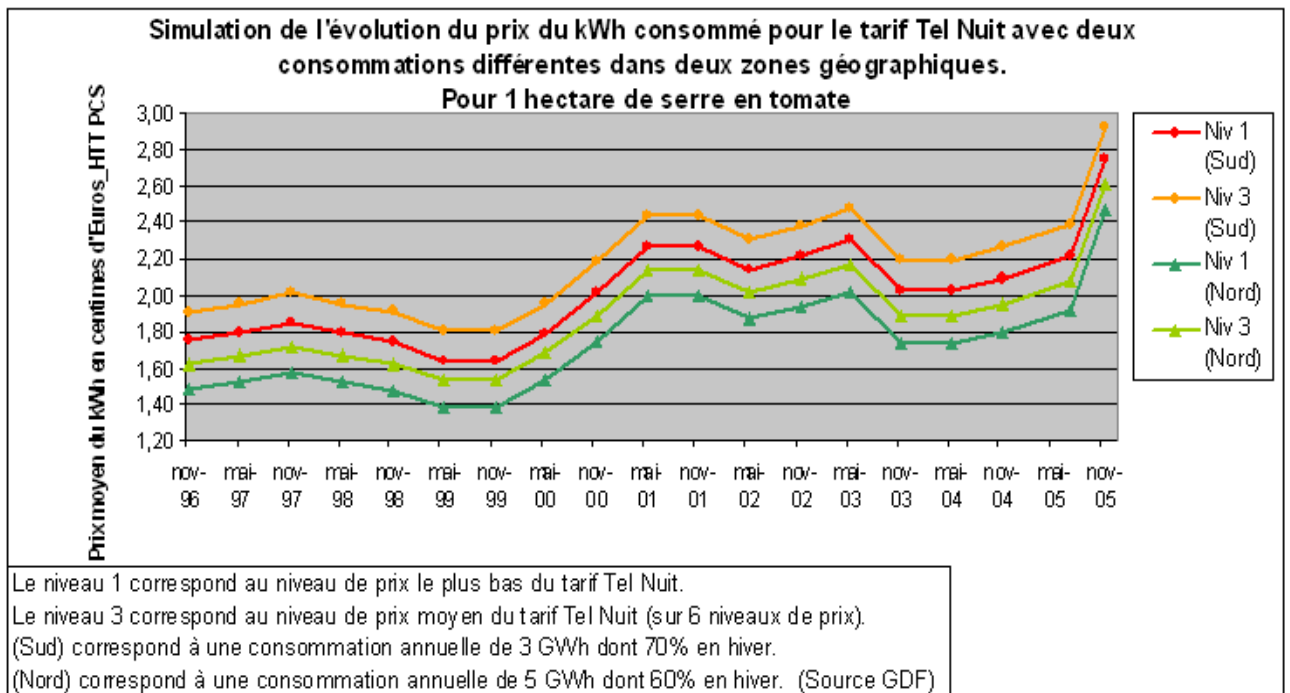


Figure 4 (Source : www. fruits-et-legumes_net)

Adaptations des serres pour économiser l'énergie

Les économies d'énergie sont aujourd'hui au cœur des préoccupations des serristes. Mais pour les producteurs dont les chaudières ne sont pas en fin de vie, il est difficilement concevable de changer toute une installation de chauffage dans un simple souci d'économie d'énergie, l'investissement en serait bien trop important. Il existe ainsi des alternatives permettant d'utiliser les installations existantes tout en réduisant les pertes et en régulant la consommation d'énergie.

Les écrans thermiques :

Les écrans thermiques sont des toiles tissées de bandes de polyester et de bandes d'aluminium. Cet assemblage des deux matières confère à cette trame les fonctions d'ombrage et d'isolation. La toile est portée sur toute la surface de la serre, l'ouverture et la fermeture étant régulée automatiquement à l'aide de sondes de température.

Ces écrans sont d'une grande efficacité pour la régulation de la température dans les serres, été comme hiver. L'été, ils permettent d'atténuer, par ombrage, l'élévation trop rapide de la température lors d'un fort ensoleillement. La nuit et l'hiver, ils permettent de conserver la chaleur à l'intérieur de la serre afin d'éviter une chute brutale des températures.

Leur mise en place nécessite cependant une surface libre importante dans la partie supérieure de la serre pour y attacher les armatures et les filins de guidage de la toile. La pose est souvent complexe voire impossible lorsque les serres sont trop anciennes ou mal adaptées.



Ecrans thermiques déployés en serre verre

Selon les conditions climatiques, la littérature mentionne des économies d'énergie liées à l'utilisation d'écrans thermiques variant de 20 à 45% et ce sans pénaliser le rendement.

Le chauffage localisé :

Lorsque les conditions climatiques le permettent, il est possible d'installer un dispositif de chauffage localisé, basse ou haute température. Cette technique permet de diminuer la puissance thermique installée tout en augmentant la précocité et le rendement.

Ce procédé consiste à faire circuler de l'eau chaude à température inférieure à 50°C pour la basse température et supérieure à 50°C pour la haute température, dans des tuyaux de plastique souples ou d'acier situés localement près des parties nécessitant les plus de chaleur - racines, fruits...

Pour un bon fonctionnement du système, il faut veiller à conserver une température homogène au sein des plantes en alternant les tuyaux d'eau entrante et sortante.

Le chauffage localisé réduit les charges liées au chauffage de 20 à 30%. Il est facile d'installation même pour des serres anciennes.



Chauffage localisé par tuyau annelés souples sur culture de poivron

Le fait de localiser les apports thermiques au niveau du substrat provoque un assèchement de celui-ci et génère beaucoup de vapeur d'eau. Il est donc nécessaire de maîtriser le climat et d'arroser en conséquence.

Ces deux procédés sont certainement les plus répandus du fait de leur grande efficacité en termes d'économie d'énergie et de régulation de la température. De plus, leur installation sur des structures déjà en place est largement réalisable.

Gestion du climat assisté par ordinateur :

Pour améliorer et faciliter la gestion des conditions climatiques de la serre, le système de régulation assisté par ordinateur est l'outil indispensable des serres modernes. Son installation est possible sur serre existante si la serre le permet. Ce système fonctionne à l'aide de capteurs répartis dans la serre et donnant en temps réel un état de la température, de l'hygrométrie et de l'ensoleillement dans la serre. Ces informations sont traitées par un logiciel de production, configuré selon les besoins de la culture en place. Lorsque les écarts sont trop importants entre les conditions requises et les conditions réelles, le système permet l'ouverture et la fermeture des ouvrants, des écrans thermiques, la mise en marche des brumisateurs afin de retrouver des conditions acceptables sinon idéales. La réactivité du système régissant l'ouverture et la fermeture des installations limite efficacement les pertes en énergie, ce qui est difficilement réalisable en système manuel classique.

Cette gestion, qui présente de nombreux avantages, nécessite cependant de bien maîtriser le logiciel ainsi que le système d'installation.

Voici présentés les moyens le plus efficaces et réalisables de faire des économies d'énergie sur des structures en place équipées d'un système de chauffage à l'énergie fossile. A ces mesures peut s'ajouter la récupération de la chaleur des fumées des chaudières, ce qui augmente leur rendement. De plus, les fumées, moins chaudes, sont alors plus facilement exploitables pour enrichir l'atmosphère en CO₂. Cependant, ces améliorations ne constituent pas une solution pertinente au problème actuel de l'épuisement des gisements de ces énergies. Elles en atténuent la consommation. Aussi, pour les entreprises qui veulent bâtir de nouvelles serres ou qui souhaitent changer de chaudière, il existe aujourd'hui des systèmes qui permettent l'utilisation d'énergies renouvelables.

Changer de source d'énergie

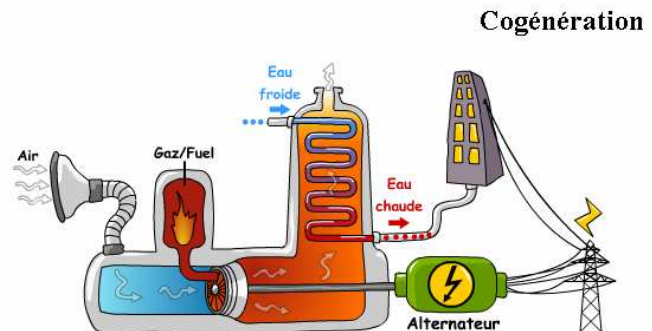
La cogénération

« Produire plus de légumes - tomates et concombre principalement - tout en réduisant les coûts de chauffage et vendre de l'électricité » représentait à la fin des années 90 un facteur de compétitivité intéressant de nombreux producteurs, d'autant plus que les pouvoirs publics montraient une réelle volonté de développer cette technique. De ce fait, l'installation de cogénération en serres a été réalisée jusqu'au mois de janvier 2000. Ensuite, le flou réglementaire qui a suivi concernant le rachat de l'électricité a provoqué un ralentissement des installations. Toutefois en 2002, 140 ha de serres maraîchères et 30 ha de serres ornementales étaient chauffées par le procédé de cogénération.

Aujourd'hui, la cogénération n'est pas une solution traditionnelle de fourniture de chaleur en serre et la part de l'électricité produite en cogénération est encore très faible en France - environ 4%, contre 8% sur l'ensemble de l'Europe. Toutefois, cette solution semble intéresser de plus en plus de producteurs, qui tentent au maximum de réduire les frais, afin de rester compétitif.

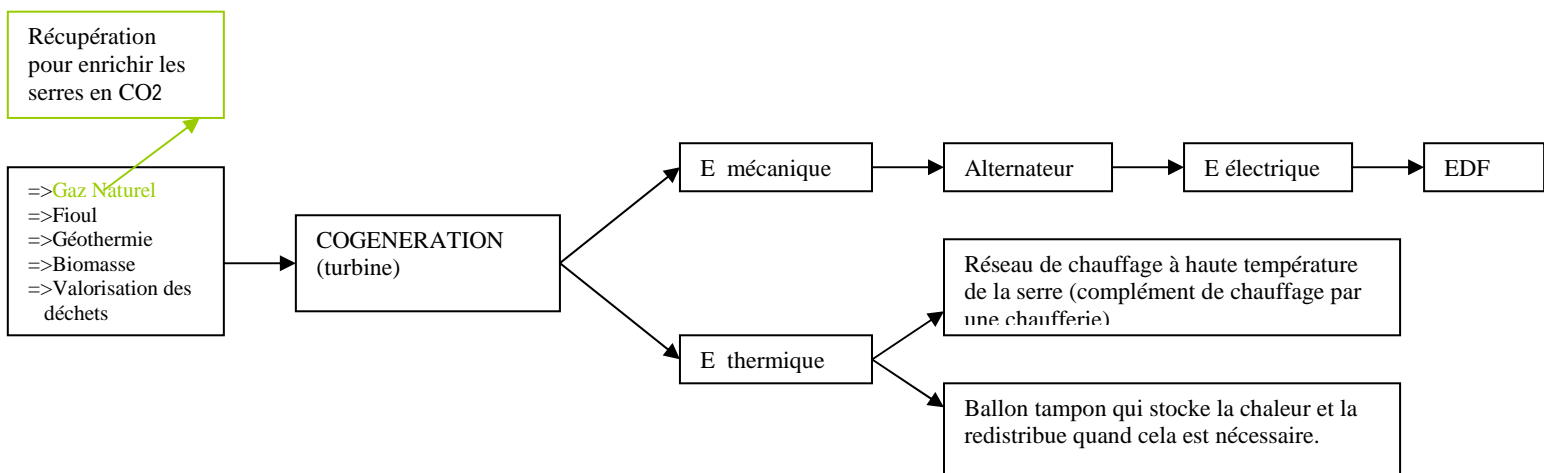
Principe

La cogénération consiste à produire en même temps et dans la même installation de l'énergie thermique – chaleur - et de l'énergie mécanique. L'énergie thermique est utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude à l'aide d'un échangeur. L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique grâce à un alternateur. Elle est ensuite revendue à EDF ou consommée par l'installation. L'énergie utilisée pour faire fonctionner des installations de cogénération peut être le gaz naturel, le fioul ou toute forme d'énergie locale - géothermie, biomasse - ou liée à la valorisation des déchets - incinération des ordures ménagères... Cette source d'énergie fait fonctionner une turbine ou un moteur.



<http://www.fnh.org/naturoscope/Energie/Cogeneration/Cogen1.htm>

BILAN DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME DE COGÉNÉRATION.



Les avantages

- Les rendements sont très bons. Les centrales de cogénération électricité-chaaleur peuvent atteindre un rendement énergétique de l'ordre de 90%. À titre d'exemple, le rendement d'une grande centrale de production fonctionnant au combustible nucléaire, au fioul ou au charbon ne dépasse guère les 40%.
- La cogénération, utilisée à la place des centrales au fioul ou au charbon, évite une partie de l'émission des polluants dans l'atmosphère et permet de limiter les émissions de gaz à effet de serre.
- La cogénération permet une production décentralisée d'énergie qui peut éviter des lignes électriques supplémentaires.

Les limites

- La contrainte majeure de la cogénération est d'avoir un ou plusieurs consommateurs pour la chaleur ou la vapeur produite proche de la centrale, car le transport est impossible.

Les gaz d'échappement des moteurs à gaz peuvent être récupérés pour enrichir les serres en CO₂ après élimination de gaz toxiques comme les NO_x, C₂H₄ et CO. Dans ce cas, un nouvel investissement dans des catalyseurs et filtres est nécessaire.

Investissement

Un système de cogénération implique un investissement financier important qui ne peut être rentable qu'à condition d'avoir eu une réflexion sur l'ensemble de la structure de l'exploitation. En effet, ce système doit permettre de diminuer le coût de chauffage.

Une étude réalisée par Gaz de France - Expertgaz montre qu'aujourd'hui, la cogénération peut trouver un intérêt économique à partir d'unités de serre de 2.5 ha, alors qu'en 1998, les experts considéraient que ce n'était envisageable qu'à partir de 5 ha. « La capacité du volume de stockage d'eau chaude et l'hydraulique restent des éléments déterminants lors de la conception d'une cogénération dans les serres », nous révèle Thierry Beaussé, ingénieur à Gaz de France - Expertgaz. Les progrès réalisés dans la récupération du CO₂ associé à un dimensionnement de la centrale de cogénération et l'adéquation de la production thermique au réseau de distribution de la serre font de la cogénération un des outils les plus performants en termes de rendement énergétique.

Le coût des installations de cogénération peut varier de 700 à 1000 € le kWh, sachant qu'en moyenne, les producteurs ont des installations de l'ordre de 400 kWh par m². Cela correspond à un investissement de 280 000 € à 400 000 € par ha. Des aides existent par l'intermédiaire de l'Ademe pour des aides au diagnostic et l'ONIFLHOR, à hauteur de 20-25%, pour un investissement plafonné à près de 900 000 €.

Le temps de retour d'un tel investissement est de l'ordre de 6 ans sans récupération du CO₂ et de 3-4 ans avec récupération du CO₂.

L'Europe veut doubler ses installations en cogénération d'ici 2010

Il est évident que le développement de la cogénération pour le chauffage des serres dépend fortement de la volonté des pouvoirs publics. L'Europe a pour objectif de passer de 8% à 18% de production d'électricité par cogénération d'ici 2010. Pour réussir à atteindre cet objectif, il est évident que l'Europe a un rôle important à jouer. Le potentiel de développement est en attente de nouvelles réglementations favorables au développement de cette source d'énergie.

Le chauffage par le bois, les céréales ou la paille

Actuellement, le bois est une énergie très peu répandue en horticulture. L'utilisation de chaudières spécifiques, le volume de stockage et les problèmes liés au transport du combustible ont longtemps freiné son développement. Ces contraintes se résolvant peu à peu, le bois pourrait constituer dans les prochaines années une alternative intéressante aux énergies fossiles. Le combustible bois peut se trouver sous plusieurs formes :

- rondins, branchages issus de travaux d'entretien forestiers et bocagers ;
- sciures, écorces, copeaux et autres sous-produit de l'industrie du bois ;
- bois de récupération « propre » - ni peint, ni traité, principalement des palettes.
- granulés



Depuis le 26 mars 2001, l'Union européenne autorise les agriculteurs à cultiver sur jachère des céréales et oléagineux pour chauffer leur exploitation et pour y produire des biocombustibles ou de l'énergie telle que l'électricité. Il est vrai que cette méthode permettrait de valoriser les terres céréalières laissées en jachères à des fins non-alimentaires. Par ailleurs, une autre option, que l'on peut considérer comme éthiquement acceptable, est l'utilisation de grains de mauvaise qualité ou devenus impropres à la consommation.

Principe :

Nous allons présenter la chaudière à bois, la chaudière aux céréales ou paille n'étant qu'une chaudière à bois légèrement modifiée. Il existe deux familles de chaudières, celles à bois sec et celles à bois humide.

- Chaudière à bois sec - humidité relative < 30%

Le bois déchiqueté sec est stocké dans un silo en acier ou en béton. Il est ensuite convoyé par une vis sans fin vers la trémie et introduit dans le foyer par une vis ou un poussoir hydraulique.

- Chaudière à foyer humide - humidité relative < 60%

Les écorces et déchets broyés humides sont stockés dans un silo rectangulaire à fond mobile pour faciliter leur extraction - pales rotatives ou racleur hydraulique. Ils sont ensuite convoyés vers la trémie par un transporteur à chaînes ou bandes, et introduits dans le foyer où ils sont pré-séchés. Des grilles commandées assurent l'avancée du bois selon la demande.

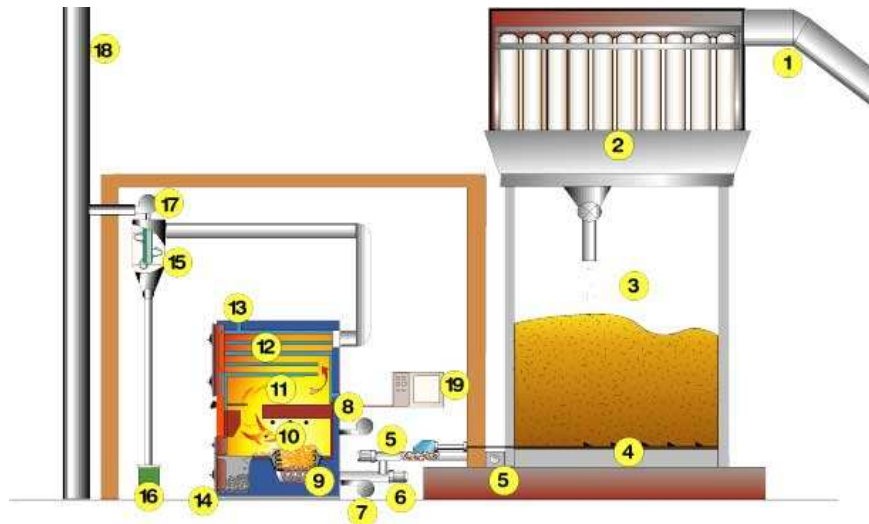


Schéma de principe général de l'installation

- | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1. Aspiration des copeaux | 8. Ventilateur d'air secondaire | 15. Cyclone |
| 2. Filtres à manches | 9. Foyer | 16. Conteneur à poussières |
| 3. Silo d'alimentation | 10. Chambre de combustion | 17. Extracteur de fumées |
| 4. Extracteur hydraulique | 11. Chambre de post-combustion | 18. Cheminée |
| 5. Vis de transfert | 12. Échangeur de chaleur | 19. Armoire de régulation |
| 6. Vis d'alimentation | 13. Départ réseau de chaleur | |
| 7. Ventilateur d'air primaire | 14. Porte de décendrage | |

Les avantages (céréales, paille, bois)

- C'est une source d'énergie renouvelable, et les ressources sont très diverses : scierie, déchets exploitation forestière, taille des haies et bosquets, plantes broyées. Céréales, paille
- évite une partie de l'émission des polluants dans l'atmosphère et permet de limiter les émissions de gaz à effet de serre
- les céréales sont moins chères que le bois et produites localement. Les appareils sont faciles à installer : l'absence de suie évite de construire un conduit de fumée, un trou dans le toit suffit pour l'arrivée d'air. les céréales ne sont pas encombrants à stocker ; les vieux congélateurs font l'affaire et constituent un barrage à l'invasion éventuelle de souris. D'après l'ADEME, ils pourraient servir à lutter contre l'effet de serre grâce à leur faible relargage de CO₂ lors de leur combustion.

Les limites

- Avant sa transformation, le bois doit être séché. Cette étape implique un fonctionnement intensif des chaudières : 24h/24, 28 jours/mois, 11 mois/an. Selon l'installation, leur puissance oscille entre 100 et 2000 kW. De plus, le bois est lourd et pas toujours aisé à manipuler. Ensuite, s'il est trop humide ou « sale », sa combustion peut entraîner la formation de gaz polluants.
- Pour les pailles : formation de mâchefer et oxydation des conduits en inox. la croûte d'amidon produite par les céréales est certes moins importante en quantité que les cendres de bois, mais il est cependant nécessaire de retirer ces plaques une à deux fois par jour, selon l'importance de la chauffe.
- Le coût de conversion (remplacement de la chaudière...)

L'intérêt environnemental de la substitution par les céréales semble résider dans leur contribution à la lutte contre l'effet de serre. D'après l'ADEME - Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, la carburation du bioéthanol issu d'1 ha de blé

génère 2,5 t de gaz carbonique (CO₂) de moins que celle d'un volume de produit pétrolier équivalent.

La combustion de la paille de 1 ha de blé permet, quant à elle, d'économiser 3,8 t de CO₂. En combinant les deux voies, l'économie peut monter à 6,3 t. Enfin, dans le cas d'une combustion de la plante entière à des fins de chauffage, l'économie s'élèverait à 12 t. Tous ces chiffres sont en " net " : le CO₂ généré par la fabrication des engrais et des autres intrants, par la culture du blé, par la collecte, le transport et la transformation – éthanol - de la récolte est pris en compte.

Le bois a, quant à lui, un effet négligeable sur l'effet de serre, sous réserve de disposer d'une ressource locale pour limiter son transport.

Investissement

L'aspect économique est l'argument le plus convaincant dans le contexte actuel pour ces modes de chauffage. Avec l'évolution du prix du baril, l'utilisation du bois est devenue intéressante. Selon le ministère de l'industrie, les prix du kWh en mars 2006 atteignait 10,57 ct€ pour l'électricité, 6,628 ct€ en moyenne pour le fioul, 4,04 ct€ pour le gaz naturel et 3,23 ct€ pour la bûche. Depuis 1999, l'ADEME a lancé le « programme bois-énergie » avec comme objectif la rationalisation et la modernisation du chauffage au bois en France. L'agence accompagne ainsi les professionnels dans le développement d'une filière de qualité tant pour les appareils mis à la vente avec le label « Flamme verte » que pour le combustible avec la marque « NF bois de chauffage ».

- Les appareils « Flamme verte », dont le rendement minimum est de 65 %, représentent aujourd'hui 80 % des ventes en France. Le rendement devrait évoluer vers 70 % d'ici 2007

- La marque « NF Bois de chauffage » apporte, quant à elle, la garantie pour le consommateur d'un bois de qualité - faible humidité, propreté,... Aujourd'hui, il existe au moins un point de vente de bois certifié dans 75 % des départements.

A Lescherolles, en Seine-et-Marne, une commune de 450 habitants située à 80 km à l'Est de Paris chauffe des bâtiments communaux avec des céréales. Les agriculteurs de cette petite commune viennent de mettre en route une chaudière pilote, qui, à partir de céréales déclassées suite à de nouvelles normes européennes sur les mycotoxines - toxines issues de l'activité des champignons qui se développent sur les plantes, chauffe l'école et la mairie de leur village.

Cette chaufferie de 80 kW nécessite la mise en place d'un circuit d'approvisionnement en céréales. Avec environ 17 tonnes de céréales à 120 €/T - soit la production de 2 à 3 hectares, cette installation remplacera l'usage de 6 800 litres de fuel à 0.45 €/L. L'économie ainsi réalisée sera de 1 020 €.

Cette source d'énergie est renouvelable et locale car produite sur la commune. De plus, pour cultiver 1 ha de céréales, il faut entre 400 et 450 litres d'équivalent fuel, répartis entre les machines - soit 80 à 100 litres de fuel - et pour la fertilisation - 350 litres d'équivalent fuel. Dans 1 ha cultivé, 80 quintaux de graines sont produits, soit l'équivalent minimum de 3 200 litres de fuel par hectare et donc un ratio entrée/sortie de 7 à 8.

On trouve :

- des poêles à céréales à partir de 3 300 €
- des brûleurs pour remplacer un brûleur à fuel à partir de 2 300 €
- des chaudières domestiques à partir de 4 500 €

En conclusion :

Actuellement, le chauffage au bois est surtout présent en maison individuelle : à 97%. On constate qu'il est très utilisé dans les zones périurbaines mais qu'il est loin d'être complètement délaissé en ville. L'ADEME accompagne également le développement de la filière par la promotion du bois-énergie auprès des particuliers avec:

- des actions de sensibilisation et d'information : campagne « Faisons vite. Ça chauffe ! », documentations, visite de sites...

- le développement de conseils de proximité apporté par le réseau des Espaces INFO ENERGIE

Cependant, on prévoit une forte augmentation des prix du bois-énergie dans les années à venir. L'utilisation des pailles, céréales ou déchets de culture apparaîtraient alors comme les plus économiques sur le long terme.

Biocarburants

Les Huiles Végétales Pures – HVP - ont sensiblement le même pouvoir calorifique que le fuel - 95 à 97%. Elles sont produites par pressage de récoltes, majoritairement colza et tournesol. Ces énergies sont renouvelables dans la mesure où elles sont issues d'une agriculture écologique. Leur combustion plus complète limite les émissions de produits toxiques, et le carbone émis par leur combustion a été capté dans l'atmosphère lors du cycle de la plante.

Leur intérêt n'est pas qu'écologique : l'huile végétale coûte environ 0,60 € en l'achetant directement aux agriculteurs. En cas de hausse du fuel lourd, les HVP pourraient devenir compétitives économiquement. Les chaudières fuel acceptent parfaitement ce combustible - à l'origine, les moteurs diesel sont conçus pour fonctionner à l'huile... Au pire, sur les chaudières récentes, il faudra adapter le brûleur.

Le problème de la solution 'huile végétale' réside dans le volume nécessaire. Il faudrait environ 320.000 litres d'HVP pour chauffer une serre d'un hectare de tomate en culture longue... Sachant qu'un hectare de tournesol produit 800 litres, il faudrait 400 ha pour chauffer un hectare ! L'approvisionnement semble donc poser problème... L'offre en fuel étant plus vaste, le volume de carburant nécessaire pourrait devenir un problème en adoptant les HVP en totalité.

On peut par contre envisager d'employer des HVP en mélange avec du fuel.

En outre, les biodiesels ou diester sont d'autres biocarburants, dont l'intérêt écologique est moins évident. D'autant que leur production est contrôlée par les groupes pétroliers et qu'actuellement, tous ces carburants sont incorporés au gasoil et ne peuvent être achetés purs. Ils ne paraissent pas aujourd'hui être un moyen de dépenser moins.

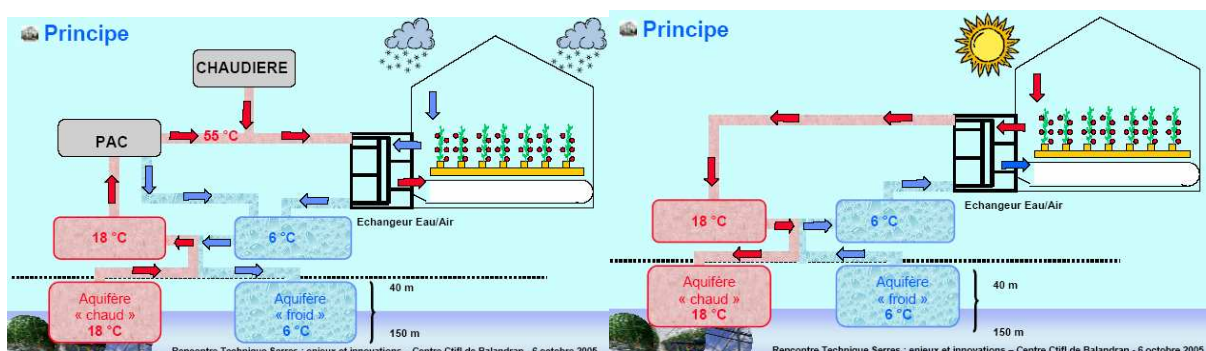
Les biocarburants ne paraissent pas être la solution miracle au problème énergétique auquel sont confrontés les agriculteurs. Cependant, ils ne sont pas dénués d'intérêt et pourraient s'affirmer comme solution partielle.

Géothermie

Il s'agit d'exploiter des poches d'eau situées dans les couches profondes du sous-sol, vers 1000 à 2000 m de profondeur. L'eau contenue dans ces poches est assez chaude – 50 à 70 °C – mais sa salinité est telle que l'on ne peut la rejeter en surface. Un forage géothermique comprend donc deux puits, l'un pour pomper l'eau profonde, l'autre pour la réinjecter. Il faut en outre un échangeur de en surface car on ne peut utiliser directement l'eau, toujours en raison de sa forte salinité et de la corrosion des circuits.

Des essais ont été réalisés entre 1981 et 1887 à Melleray - 45. Si l'eau est trop saline, il faut utiliser des pompes résistant à la corrosion et prévoir le risque de colmatage des puits. Le procédé ne peut s'amortir que sur une assez grande quantité d'énergie utilisée, soit par de grosses « grappes » de serres - 10 à 15 ha semble être la dimension optimale, soit en association avec une cité d'habitation se chauffant à la géothermie. Pour un site pas trop profond – 1500 m, coût du puits 3,7 millions d'€ - et pour 15 ha maraîchers, la période d'amortissement est de l'ordre de 8 ans (source : Cultures maraîchères et énergies nouvelles, aperçu des technologies, rentabilité économique des procédés nouveaux, CTIFL, 1982). Compte tenu du fort investissement de départ, les applications sont réservées à des usages de chaleur de longue durée annuelle. La réalisation des forages fait appel à des techniques coûteuses : il faut compter 0,9 à 1,5 millions d'€ par puits, qu'il soit de soutirage ou de réinjection. De plus, si l'emplacement probable de ces réserves d'eau chaude est bien connu, le débit et la température de l'eau ne sont pas connus par avance, d'où un risque financier. Le développement est encore modeste à l'échelle de la consommation énergétique pour le chauffage des habitations - 130 000 équivalents logements. Les études en cours sur le site alsacien de Soultz ouvriront sans doute des perspectives en matière de géothermie profonde.

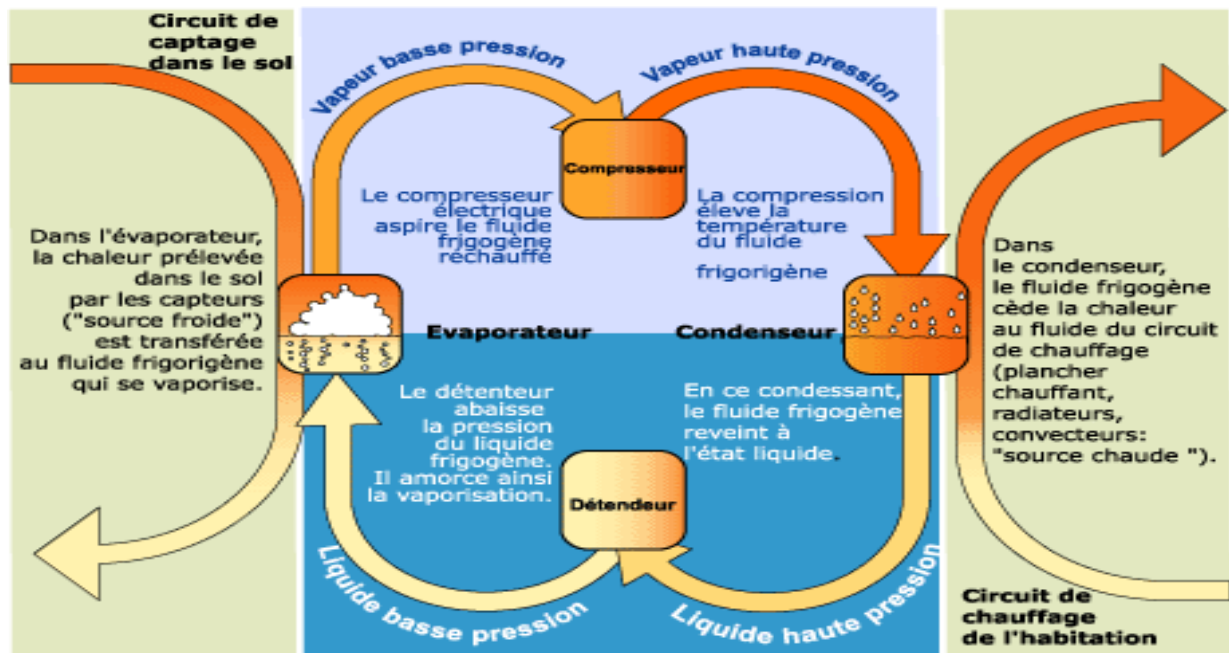
Le concept de serre fermée intéresse les serristes hollandais. Il nécessite deux aquifères - artificiels ou non, l'un « froid » - 6°C, l'autre « chaud » - 18°C, sans communication, ainsi qu'une chaudière. En hiver, l'eau chaude est pompée et réchauffée, puis réinjectée dans la réserve d'eau froide. Inversement l'été, l'eau froide refroidit la serre puis est réinjectée dans l'aquifère chaud. Les thermopompes peuvent aller chercher jusqu'à 4 fois l'énergie nécessaire à leur fonctionnement. La chaudière enrichit le milieu en CO₂ à hauteur de 1500 ppm. L'économie d'énergie s'élève à 35 %, le gain de rendement atteint 20 % : ainsi le retour sur investissement est prévu sur 7 ans (source : conférence « Environnement » du SIFEL, 15 mars 2006, L'énergie en serre : état des lieux et solutions pour réduire la facture énergétique, Ariane Grisey, CTIFL).



Ces solutions nécessitent un regroupement des serristes, non seulement pour supporter les investissements, mais aussi pour gérer le problème foncier relatif à la législation du sous-sol. En effet, l'Etat en est propriétaire en France.

Pompe à Chaleur

Fonctionnant selon le même principe qu'un réfrigérateur, elle consiste à exploiter la réserve de calories que constitue le sol, ou bien un aquifère, ou même l'air ambiant. Elle réchauffe l'intérieur de la serre tout en « refroidissant » la source de chaleur extérieure. Pour 1 kWh électrique consommé, une pompe à chaleur produit en moyenne 2 à 7 kWh de chaleur selon les modèles : c'est donc une forme de chauffage électrique. Elle représente un investissement élevé qu'il est nécessaire de rentabiliser en l'utilisant le plus longtemps possible au cours de l'année et à la puissance la plus élevée possible. Dans le cas du tarif EJP - Effacement Jours de Pointe - d'EDF, le prix du kWh est élevé 22 jours par an - variables entre le 1er novembre et le 31 mars, pendant les pics de consommation hivernale. Il faut alors recourir à une énergie classique.



Solaire thermique

De plus en plus utilisé pour le chauffage de l'eau des habitats, le solaire thermique ne fait pas l'objet du même engouement pour le chauffage des serres. Son principal défaut est la nécessité d'une autre solution, une autre voie de chauffage, car le solaire thermique ne fonctionne qu'avec de l'ensoleillement. Or, il va de soi que cet ensoleillement est nettement limité en hiver, lorsque les besoins sont les plus élevés.

Ainsi, ce type de chauffage ne peut être utilisé comme appoint à un autre chauffage. Toutefois, cette méthode peut être intéressante car le solaire thermique permet de chauffer avec de l'énergie « gratuite » et non polluante pour l'environnement. Un tel système n'aura qu'un vrai développement par l'appui des pouvoirs publics car il semble avéré qu'une exploitation ne va pas investir dans un moyen de chauffage qui ne permet pas de chauffer régulièrement.

Utilisation des rejets thermiques industriels

En France, en Allemagne ainsi qu'aux Etats-Unis, l'utilisation des eaux tièdes de rejet des centrales ou de l'industrie a déjà fait l'objet de plusieurs essais et projets de chauffage de serres et même de chauffage du sol en plein champ. Près de 88 % de la production d'électricité d'EDF en France est d'origine nucléaire. Réparti sur l'ensemble du territoire national, le parc nucléaire d'EDF compte 34 réacteurs de 900 mégawatts, 20 réacteurs de 1300 mégawatts et 4 réacteurs de 1450 mégawatts.

Avec $4,27.10^9$ kWh produits par an, les centrales nucléaires produisent environ le double d'énergie en pertes sous forme de chaleur, soit $8,54.10^9$ kWh. En effet, d'après les premiers et seconds principes de la thermodynamique, le rendement d'une machine thermique ne peut excéder 33 %, maximum atteint avec l'EPR. La consommation moyenne des serres enquêtées en 2002 s'élève à 262 kWh par m². En particulier, dans le Sud-ouest - Aquitaine et Midi-Pyrénées, les serres chauffées à air pulsé consomment entre 200 et 400 kWh par m² (source : Infos-Ctifl, n° 194, septembre 2003). On dénombre 1600 ha de serres chauffées en France, d'où environ $4,192.10^9$ kWh nécessaires.

On voit donc que l'industrie nucléaire représente un gisement considérable de chaleur, qui, s'il est mobilisable, pourrait être mis à profit pour les serres. Cela suppose de pouvoir implanter les serres à proximité des centrales, pour minimiser les pertes. En pratique, toute l'eau chaude ne peut pas être mobilisée pour chauffer les serres. Les expériences déjà conduites concernent uniquement les centrales à circuit fermé, nécessitant des tours de réfrigération. Un circuit de purge permet de limiter la concentration en sel dans le réseau et constitue le rejet normal : c'est une source de chaleur. En 1985, il était prévu un débit de purge de 1 m³ par seconde pour deux tranches de centrale – 1800 MW - pour les usages agricoles. Compte tenu d'un débit nécessaire de 7 à 10 litres par m² et par heure dans les serres, on peut équiper 30 à 40 ha de serres pour ces deux tranches. Cela ne peut donc concerner qu'une petite partie du parc de serres.

De plus, après la purge des tours de réfrigération, la température de l'eau de rejet varie en fonction de la température humide de l'air extérieur et selon la puissance que délivre la centrale. Malgré l'utilisation de centrales en pleine puissance l'hiver, l'eau de rejet est d'autant plus froide qu'il fait froid, d'où la nécessité d'un chauffage d'appoint (source : La thermique des serres, Yves Cormary, Christian Nicolas, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, n° 58, éditions Eyrolles).

A titre d'exemple, prenons l'usine de séparation isotopique Eurodif du Tricastin, ou bien des usines pétrochimiques, dont les rejets atteignent 50 à 80 °C. Il est possible de réaliser une économie pétrolière de 90 à 100 %. L'équilibre financier doit être facilement atteint en moins de 10 ans. (source : Cultures maraîchères et énergies nouvelles, aperçu des technologies, rentabilité économique des procédés nouveaux, CTIFL, 1982).

Synthèse

Changer de source d'énergie intervient après avoir réalisé un audit énergétique et des économies d'énergies, pour connaître précisément les besoins thermiques réels de la serre. Ecrans thermiques mobiles, chauffage localisé, régulation du climat par ordinateur, intégration et consigne de température : de nombreux moyens existent pour limiter les pertes de chaleur, avant de changer d'énergie.

La plupart des énergies citées ne peuvent pas fournir de chaleur en permanence. Dans tous les cas, il est obligatoire d'installer un chauffage de secours, prenant le relais de l'énergie défaillante pour sauvegarder la culture dans les serres. De plus, certains systèmes présentent une inertie de mise en œuvre, alors que les serristes demandent des élévations rapides de température. C'est le cas même en été, le matin, pour déshumidifier les plantes, ouvrants ouverts. Il semble donc indispensable de garder une chaudière au gaz. Cet appoint pourra éventuellement fonctionner au biogaz, qui est un équivalent du gaz naturel. Dans la région, le site de Montech peut déjà produire 5.106 m³ de biogaz par an, ce qui correspond au tiers de sa capacité.

| | | | | |
|-------------------------------|---------|--|-----------------------|---------------------------------|
| Chauffage par des eaux tièdes | BASE | Pompe à chaleur, géothermie, solaire, rejet, ... | Investissement élevé | Faibles coûts de fonctionnement |
| | APPOINT | Fuel, gaz | Investissement modéré | Coûts de fonctionnement élevés |

Mettre en œuvre une énergie nouvelle suppose souvent de se rapprocher d'autres serristes pour partager les investissements et réduire les contraintes. Par exemple, l'approvisionnement en bois nécessite une logistique assez lourde – gestion des flux, stockage, séchage : mieux vaut s'associer. En termes de flexibilité, une chaudière brûlant indifféremment copeaux de bois, granulés de bois et grains de blé pourrait être envisagée. Il faut également privilégier les sources d'énergies les plus facilement mobilisables localement. En effet, le bilan énergétique du bois énergie peut être moins favorable avec le transport. Ces solutions, décentralisées, intéressent de plus en plus la profession.