



Economies d'énergie en cultures maraîchères

Pistes actuelles et expérimentations en cours



Eric Brajeul, Ariane Grisey, Serge Le Quillec, Raphaël Tisiot (Ctifl)



Conduites économes en énergie



Expérimentées au Ctifl

- **Ecran thermique** : technologie de base, avec une utilisation majoritairement de nuit
- **Conduite en température** : augmentation du confinement de jour, pour compenser les baisses de température de nuit
 - **Importance du choix variétal**
 - **Pas d'intérêt de diminuer trop fortement la température de nuit**
 - **Intérêt de prendre en compte les prévisions météorologiques**
 - **Nécessité de maintenir la température moyenne sur 24 heures**



PROJET PLANTINOV'SER

Projet sur le centre Ctif de Carquefou soutenu par le Conseil Régional des Pays de la Loire et l'ADEME, labellisé par Végépolys

OBJECTIFS DU PROJET :

- Mettre au point des conduites de serres économes en énergie pour optimiser l'outil existant,
- Rechercher du matériel végétal adapté,
- Valider sur sites pilotes professionnels les équipements et les stratégies qui auront démontré un intérêt technico-économique pendant la phase d'expérimentation.





PROJET PLANTINOV'SER

➤ 2 axes de recherche étudiés

- **Chauffer la plante plutôt que l'air : Relocalisation des tuyaux de chauffage BT au plus près des plantes**
- **Gérer spécifiquement la température et l'hygrométrie : Utilisation de déshumidificateurs thermodynamiques**



Relocalisation des réseaux de chauffage

➤ **En culture de concombre**

1. Système de chauffage classique

(1 tube aérien + 1 tube de végétation par rang)

2. Système de chauffage relocalisé

(4 tubes de végétation par rang + 1 tube aérien peu utilisé)

3. Système de chauffage partiellement relocalisé

(2 tubes de végétation par rang + 1 tube aérien moins utilisé)

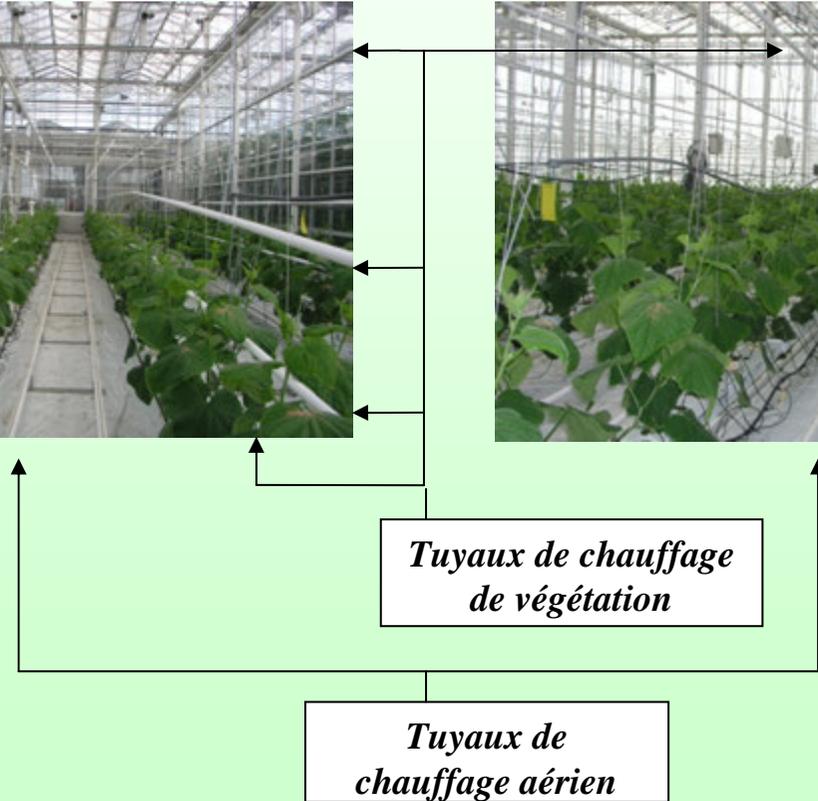


Relocalisation des réseaux de chauffage

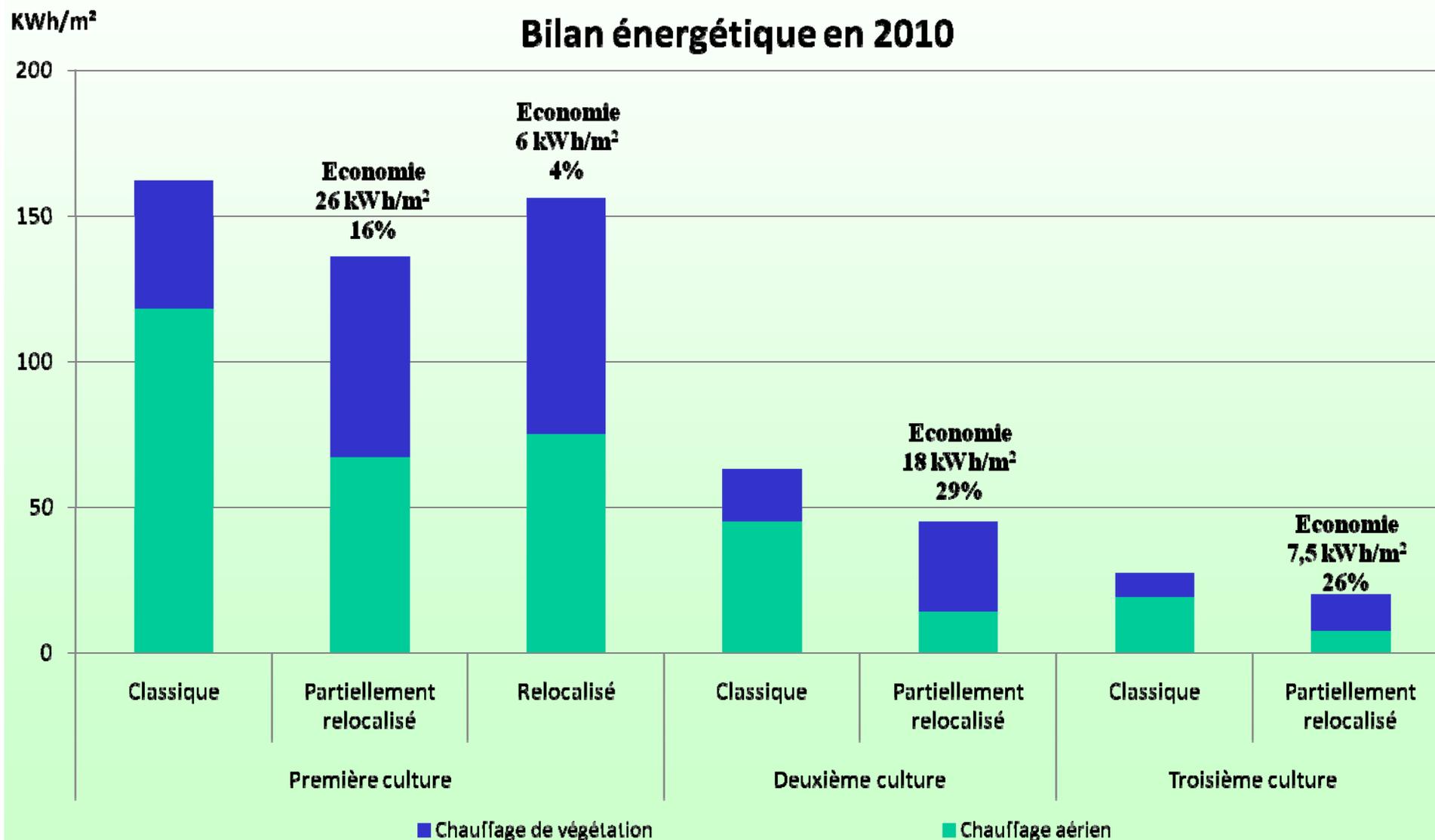
Chauffage relocalisé



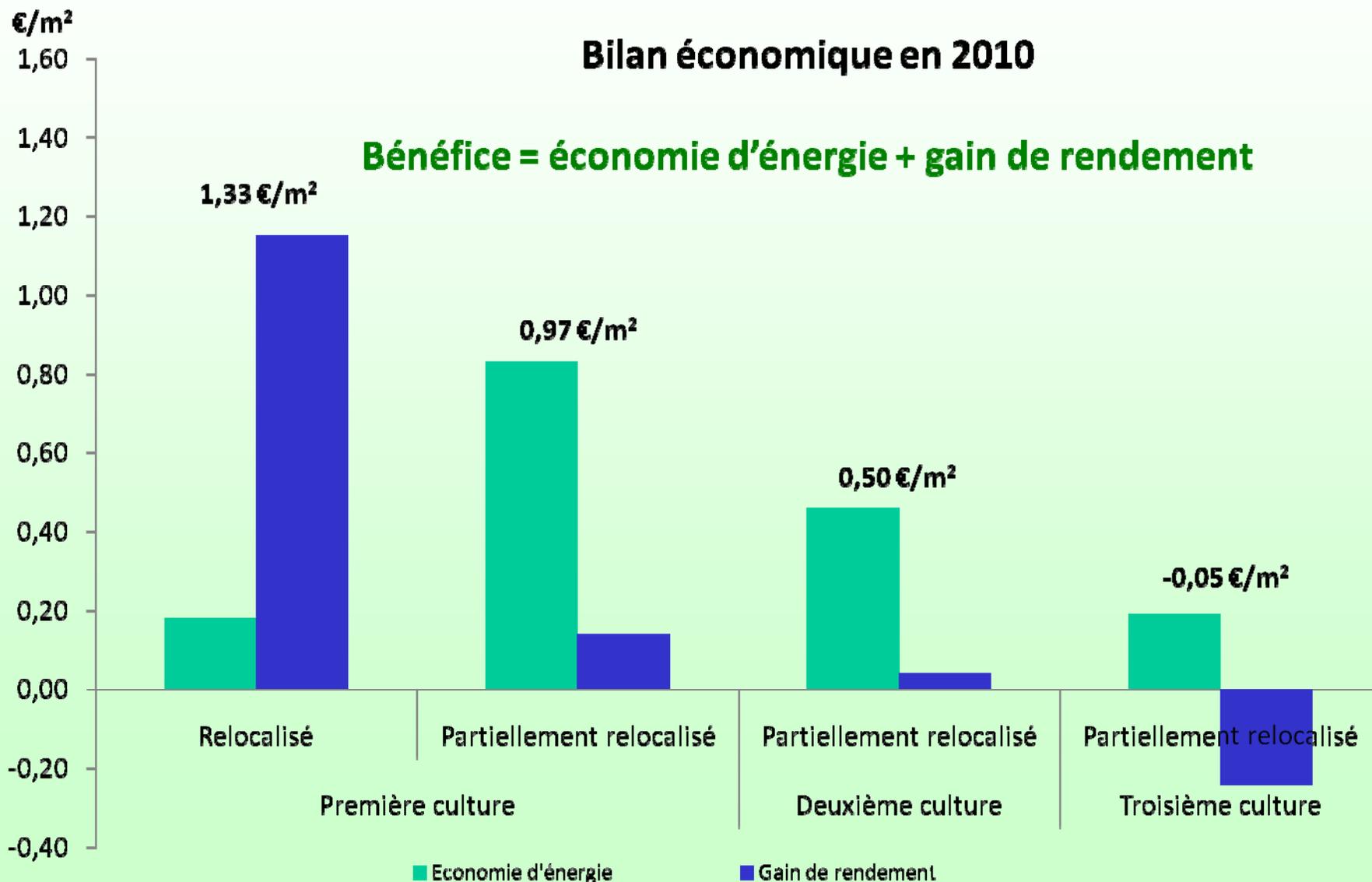
Chauffage classique



Relocalisation des réseaux de chauffage



Relocalisation des réseaux de chauffage



Relocalisation des réseaux de chauffage

➤ **Chauffage relocalisé : impact globalement positif sur la culture, notamment au niveau sanitaire,**



→ **Relocalisation totale (4 tuyaux de végétation par rang) : amélioration de la performance technique en 1^{ère} culture,**

→ **Relocalisation partielle (2 tuyaux de végétation par rang) : optimum énergétique et économique sur l'ensemble des 3 cultures,**

➔ **Investigations physiologiques / capteurs plante et évaluation des conditions d'intégration technico-économique de la relocalisation / déshumidification thermodynamique.**



Déshumidification thermodynamique

- **En culture de tomate** : Intérêt d'un déshumidificateur industriel sur la maîtrise du climat, les économies d'énergie, les résultats agronomiques et la maîtrise sanitaire vis-à-vis du Botrytis de tige ?
- 1. **Chauffage gaz** (conduite avec intégration température sur 24 heures et déshumidification classique par chauffage + aération)
- 2. **Stratégie chauffage gaz** (intégration température sur 24 heures) **et/ou déshumidification thermodynamique** :
 - **Période avec combinaison des 2 systèmes** (hiver/automne)
→ limiter les longues phases de relance énergivores,
 - **Période avec arrêt chauffage gaz** (printemps/été) **et conduite avec déshumidificateur** (2 batteries 39 W/m²).
- Maintien de températures moyennes sur 24 h identiques dans les 2 modalités** (descente à température de nuit moins basse avec déshumidificateur).

Ctifl



Caractéristiques du déshumidificateur thermodynamique avec 2 compresseurs (VULCANIC)

Puissances absorbées

Compresseur : 1,9 kW / compresseur

Ventilateur : 2,9 kW

Puissance absorbée 1 étage : 16 W/m²

Puissance absorbée 2 étages : 22,3 W/m²

Puissance de déshumidification

**Pour chaque compresseur :
eau condensée de 3,5 kg/h à
20 °C et 80 % HR**

Puissance calorifique

Pour 1 étage : 24 W/m²

Pour 2 étages : 39 W/m²

Puissance de ventilation

**2,4 renouvellements d'air
par heure**





Déshumidification thermodynamique

Pendant la 2^{ème} période (arrêt chauffage gaz) du 20/05/2010 au 05/09/2010 :

- Fonctionnement moyen de 2h50 par jour et quantité d'eau condensée de 0,083 l/m²/jour,
- En absence de chauffage : températures moyennes sur 24 h légèrement inférieures de 0,4 °C, mais diminution du gradient vertical de température,
- Impact du fonctionnement du déshumidificateur sur l'hygrométrie très faible,
- Nécessité de piloter le déshumidificateur non pas sur le niveau de déficit hydrique, mais sur le niveau de température.



Déshumidification thermodynamique

- **Aucun impact de la déshumidification sur les plantes** (croissance, stade de floraison, charge en fruits, nombre de fruits récoltés, équilibre végétatif/génératif, vigueur de la plante, stade de récolte).

	Poids Total Commercialisable (kg/m²)	Poids Moyen Commercialisable (g)
Témoin	49,8	124
Avec déshumidificateur	49,0	120

- **Pas de différence significative au niveau des résultats agronomiques entre les 2 conduites sur toute la période d'observation.**



Déshumidification thermodynamique

	GAZ		ELECTRICITE		COUT PERIODE €/m ²
	KWh/m ²	Coût €/m ²	KWh/m ²	Coût €/m ²	
Témoin	342,0	10,2	0,0	0,0	10,2
Avec déshumidificateur	263,0	8,2	10,8	0,4	8,6

Gaz : Tel Nuit zone 1 ; Electricité : tarif jaune EJP

- Pendant la phase d'arrêt du chauffage gaz : économie réalisée avec le déshumidificateur = 1,56 €/m².
- Sur la période d'observation : économie = 1,58 €/m², hors abonnement électrique.



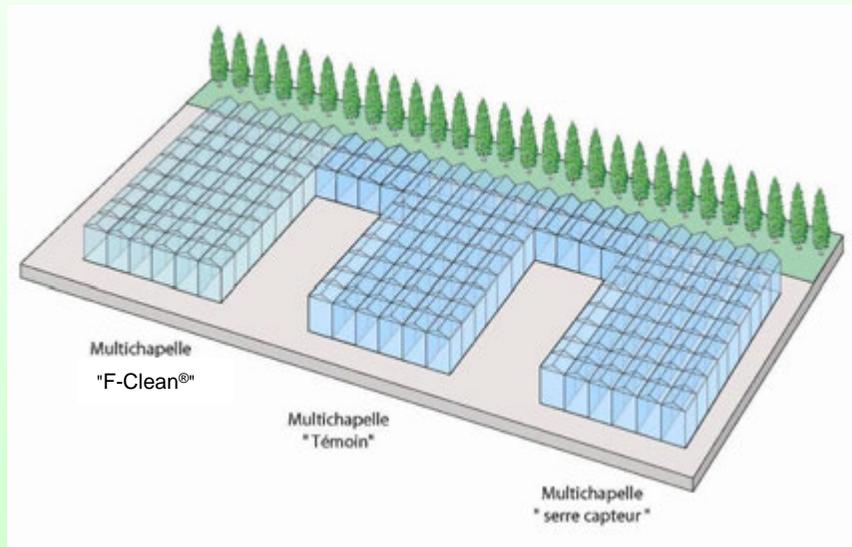
Déshumidification thermodynamique

- Arrêt du chauffage gaz possible du 19 mai au 14 septembre sans pénaliser les résultats agronomiques et la maîtrise sanitaire d'une culture de tomate hors sol (puissance calorifique de 39 W/m² et coût d'électricité de 16 cts €/m² hors abonnement).
- Efficacité énergétique améliorée de 19% par rapport à une conduite témoin, mais économie insuffisante (1,58 €/m²) pour pouvoir amortir raisonnablement le coût d'investissement d'une telle installation.
- Nécessité d'obtenir un gain de rendement, notamment par l'effet accélération de la maturation pendant la période de combinaison chauffage et déshumidificateur.



PROJET SERRE CAPTEUR D'ENERGIE

- **Serre expérimentale du centre Ctif de Balandran financée par le Fond Interministériel, l'ADEME, le Conseil Régional Languedoc Roussillon et FranceAgriMer (budget 1,9 M€ financé à 63 %), projet labellisé par le PEIFL.**



- **Première plantation réalisée en décembre 2009.**



PROJET SERRE CAPTEUR D'ENERGIE



➤ Axes étudiés

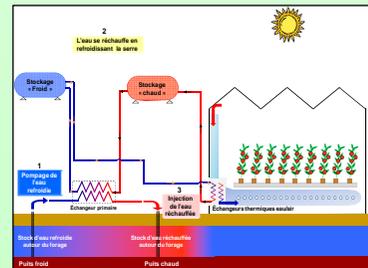
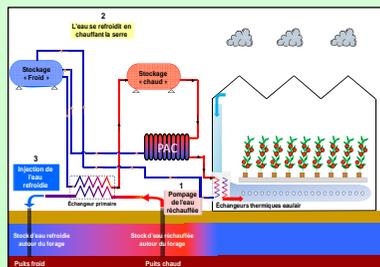
→ Double écran thermique en toiture

→ Test de la couverture plastique F-Clean®

→ Déshumidificateurs thermodynamiques

→ Serre semi fermée : chauffage avec pompe à chaleur eau/eau, refroidissement avec échangeurs thermiques

→ Stockage de l'énergie thermique en aquifère





Serre F-Clean[®]



Déshumidificateurs industriels dans une serre très étanche

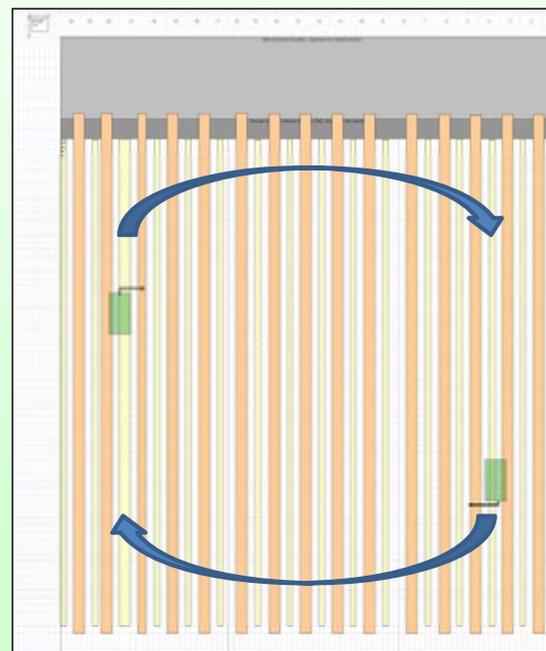
➤ **Positionnement dans la serre :**

Dans le cadre du Projet
« Serre Capteur d'Énergie »

Groupes de marque Giordano, installés sans gaine sous les gouttières.



Positionnement dans la serre



-  rails
-  gouttières
-  groupes de deshumidification
-  circulation d'air sous les gouttières



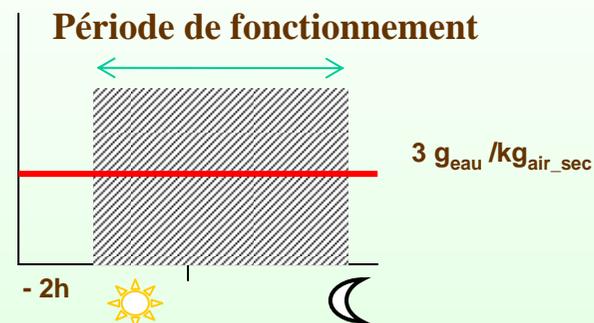
Déshumidificateurs industriels dans une serre très étanche

Dans le cadre du Projet
« Serre Capteur d'Énergie »

Descriptif du fonctionnement : Fonctionnement des groupes de déshumidification (1,3 kWe par machine, 1600 m³/h) sur la période de 2 heures avant l'aube au coucher du soleil.

Consigne de déficit hydrique : 3 g_{eau}/kg_{air} sec.

Utilisation du double réseau forcas en complément pour déshumidifier.



Démarrage des 2 groupes le 17 mars 2010.

Durée moyenne de fonctionnement dans une journée (heures)

4

Quantité moyenne d'eau condensée (litres par heure)

7

Durée totale de fonctionnement (17/03/2010-24/09/2010) (heures)

635
dont 64 % de mars à juin

Remarque : un seul groupe en fonctionnement du 4 février au 17 mars 2010



Déshumidificateurs industriels dans une serre très étanche

Dans le cadre du Projet
« Serre Capteur d'Énergie »

➤ Tarification :

Gaz : Tel Nuit zone 1

Electricité : tarif vert

➤ Consommation d'énergie : Valeurs au 29 septembre 2010

Consommation d'énergie	Serre F-Clean®	Serre Témoin
Gaz naturel (kWh/m ²)	140	203
Electricité groupes de déshumidification (kWh/m ²)	2,2	-
Total cumulé (kWh/m²)	142,2	203

➤ Calcul économique : Valeurs au 29 septembre 2010

	Serre F-Clean®	Serre Témoin
Coût gaz naturel (€/m ²)	4,75	6,89
Coût électricité (€/m ²)	0,09	-
Coût total (€/m²)	4,84	6,89

**Economie
de 30 %*
soit 2 €/m²**

* due à l'étanchéité de la serre et aux groupes de déshumidification

Déshumidificateurs industriels dans une serre très étanche

Dans le cadre du Projet
 « Serre Capteur d'Énergie »

➤ Développement de la culture :

- Serre F-Clean® : vitesse de floraison un peu plus rapide sur la période hivernale
- Charge en fruits supérieure sur la période hivernale
- Pas d'observations particulières au niveau de l'hétérogénéité des plantes
- Pas de problèmes phytosanitaires avec le botrytis et l'oïdium

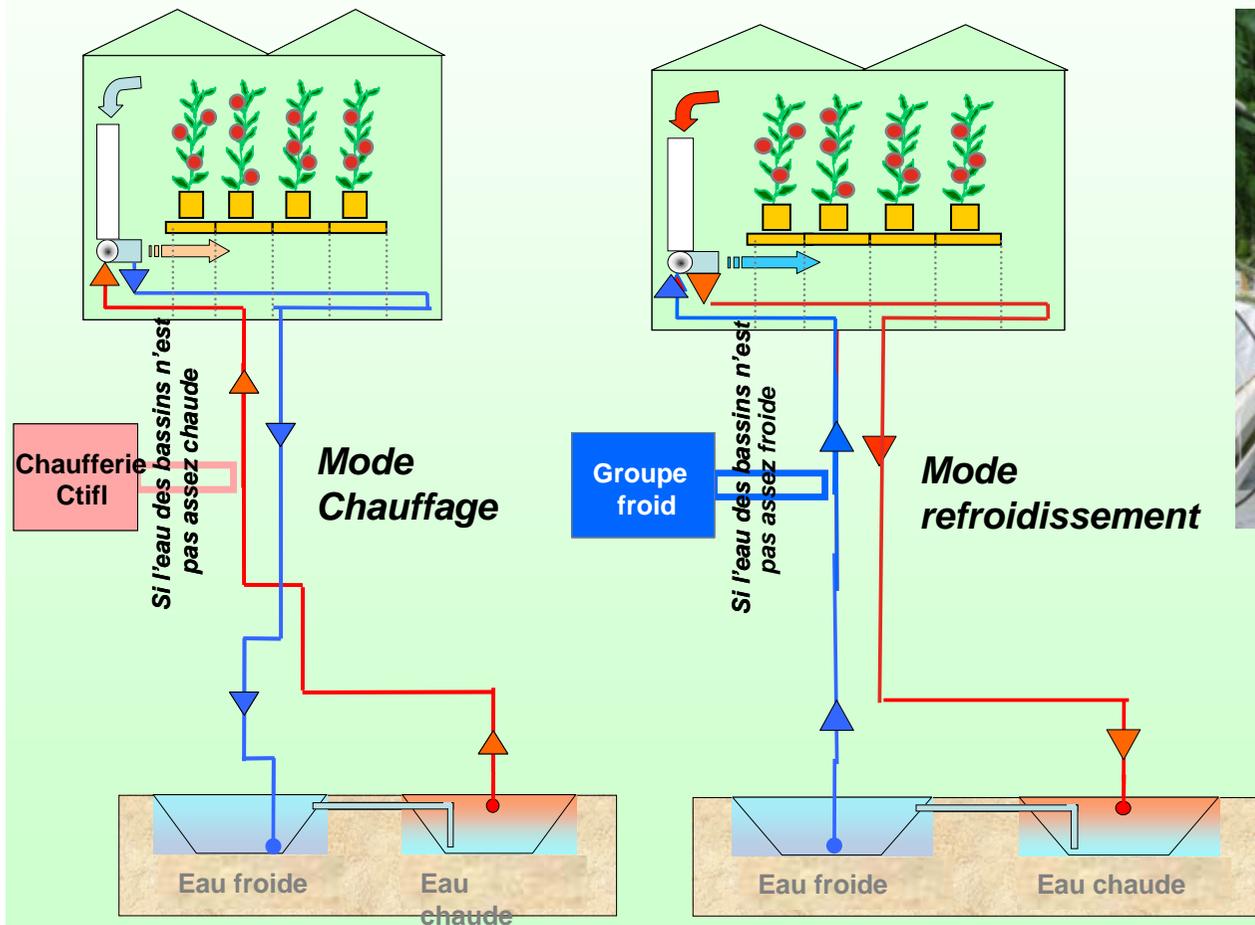
➤ Rendement :



Valeurs au 24 septembre 2010

	Serre F-Clean®	Serre Témoin
Rendement grappe (kg/m ²)	42,6	41,3
Poids moyen (g)	150	145

Essai d'échangeurs thermiques



5 échangeurs

Débit max d'eau = 10 m³/h

Pmax (laboratoire) = 350 W/m²

Taux de brassage = 10 vol/h

Stockage d'eau = 2 x 250 m³



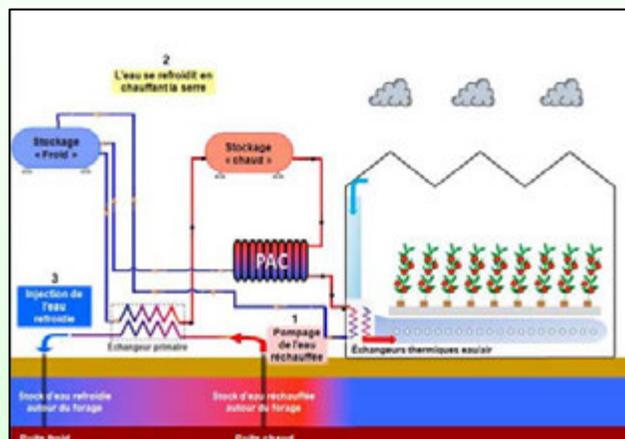
Essai d'échangeurs thermiques

➤ Synthèse des résultats 2007/2008 et 2008/2009

- **Augmentation du rendement de 25 %** : maintien de la serre fermée, optimisation de l'injection de CO₂, meilleure gestion du climat sur la période estivale (44 kg/m² en 2009)
- **Economie d'eau de 25 %**
- **Quantité d'eau récupérée par condensation : 35 % du volume total apporté**
- **Economie d'énergie de 20 %**
- **Réduction des gaz à effet de serre de 60 %**

➤ Descriptif du fonctionnement :

Fig 1 : Schéma simplifié d'utilisation en hiver



Alimentation du double tube forcas et des centrales de traitement d'air par la PAC eau/eau pour chauffer la serre capteur d'énergie. Le réseau haute température (HT) a été utilisé pour contribuer à la déshumidification.

➤ Caractéristiques des équipements :

• 14 centrales de traitement d'air (CTA) de marque Wesper :

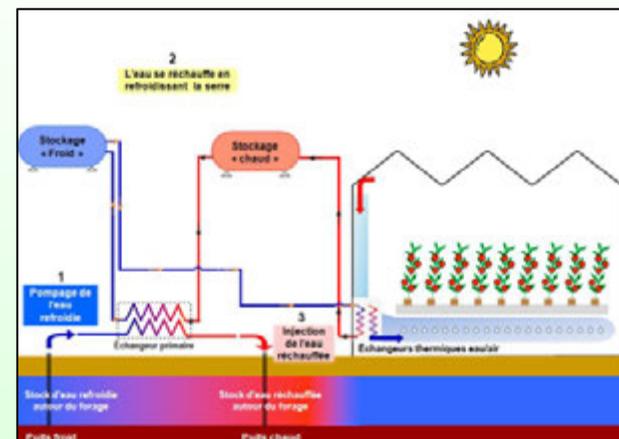
$P_{\text{froid}} = 426 \text{ W/m}^2$, $P_{\text{chaud}} = 182 \text{ W/m}^2$

Renouvellement d'air maximal = 5,4 vol/h (débit unitaire d'une CTA : 2400 m³/h).

• 14 gaines textiles double diffusion de diamètre 350 mm.



Fig 2 : Schéma simplifié d'utilisation en été



Refroidissement à partir de la semaine 21 (début juin).

• PAC eau/eau, de marque Trane :
P chaud 287 kW, P froid 237 kW,
P absorbée 50 kW.

• Ballons de stockage 30 m³ chacun.

• 2 forages réversibles : débit 50 m³/h.

• Pilotage ISII Hoogendoorn.



Serre semi-fermée

Dans le cadre du Projet
« Serre Capteur d'Énergie »





Serre semi-fermée

Dans le cadre du Projet
« Serre Capteur d'Énergie »

- **Premiers résultats de la serre semi-fermée comparables aux tests préliminaires :**
 - **Economie d'énergie,**
 - **Réduction des volumes d'eau apportés et récupération de l'évapo-transpiration des plantes,**
 - **Augmentation de la vigueur, de la charge des plantes et des résultats agronomiques.**

- **Etude du stockage thermique en aquifère par le BRGM.**

- **Optimum de fonctionnement du refroidissement en serre semi-fermée trouvé en cours de période estivale.**

- **Optimisation de la déshumidification avec les doubles batteries, notamment de nuit.**

- **Evaluation du free cooling dans les conditions du Sud-Est.**



Conclusion

- **Différents projets menés par le Ctifl en relation avec ses partenaires :**
 - **Vers des systèmes moins exigeants en température : projet Plantinov'ser,**
 - **Vers un outil de production plus autonome en énergie et une réduction de la consommation énergétique des serres : projet « serre capteur d'énergie ».**

- **Démarche ciblée sur la durabilité des serres dans le concept de production légumière intégrée.**

- **Des résultats techniques prometteurs ... qui nécessitent une évaluation technico-économique.**

- **Une adaptation possible aux outils existants ... une nécessaire préfiguration des futurs outils ?**