



**ASTREDHOR
PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE
APPLIQUEE ET D'ETUDES 2012**

**ETUDE DE CONDUITES CLIMATIQUES ECONOMES
EN ENERGIE EN PRODUCTION DE FLEURS
COUPEES ET DE PLANTES EN POTS SOUS ABRIS**

**DIMINUTION DES TEMPERATURES DE CHAUFFAGE ET
UTILISATION DE DESHUMIDIFICATEURS
THERMODYNAMIQUES**

Compte rendu de l'action

CATE
Station Expérimentale
Vézendoquet
29250 ST POL DE LEON

AREXHOR Grand Est
28, rue du Chêne
88700 ROVILLE AUX CHENES

GIE PFSO
71 rue Edouard Bourlaux
BP 81
33883 VILLENAVE D'ORNON Cedex

SCRADH
727, Avenue Alfred Decugis
83 400 HYERES

ASTREDHOR
44, rue d'Alésia
75682 PARIS

PROJET D'ACTION : SITUATION

Début de l'action : 2011

Durée prévue : 3 ans

TITRE :

ETUDE DE CONDUITES CLIMATIQUES ECONOMES EN ENERGIE EN PRODUCTION DE FLEURS COUPEES ET DE PLANTES EN POTS SOUS ABRIS - DIMINUTION DES TEMPERATURES DE CHAUFFAGE ET UTILISATION DE DESHUMIDIFICATEURS THERMODYNAMIQUES.

Titre abrégé :

ETUDE DE CONDUITES CLIMATIQUES ECONOMES EN ENERGIE EN FLEURS COUPEES ET PLANTES EN POTS SOUS ABRIS

MOTS CLES : production sous serre, économie d'énergie, déshumidification, intégration des températures, chauffage.

Chef de projet :

Laurent MARY

CATE

Station expérimentale de Vézendoquet

29250 SAINT POL DE LEON

Tel : 02.98.69.22.80

Fax : 02.98.69.09.94

Laurent.mary@astredhor.fr

PARTENAIRES qui travaillent directement avec le chef de projet :

AREXHOR GRAND EST

Marie Anne JOUSSEMET

28, rue du Chêne

88700 ROVILLE AUX CHENES

Tél. : 03 29 65 18 55

Fax : 03 29 65 00 10

Courriel : **arexhor@astredhor.fr**

jeanmarc.deogratias@astredhor.fr

GIE Plantes et Fleurs du Sud Ouest

Jean Marc DEOGRATIAS

71 rue Edouard Bourloux

BP 81

33883 VILLENAVE D'ORNON Cedex

Tel : 05.56.75.10.91

Fax : 05.56.89.43.69

Courriel :

SCRADH

Laurent RONCO

727 avenue Alfred Decugis

83 400 HYERES

Tél.: 04 94 12 34 24

Fax : 04 94 12 34 20

Courriel : **Laurent.RONCO@astredhor.fr**

LIEUX DE REALISATION :

Volet fleurs coupées :

CATE

Station expérimentale de Vézendoquet
29250 SAINT POL DE LEON

SCRADH

727 avenue Alfred Decugis
83 400 HYERES

Volet plantes en pot :

AREXHOR GRAND EST

28, rue du Chêne
88700 ROVILLE AUX CHENES

GIE Plantes et Fleurs du Sud Ouest

71 rue Edouard Bourloux
BP 81
33883 VILLENAVE D'ORNON Cedex

EXPERTS CONNUS SUR LE SUJET :

Gérard CHASSERIAUX

AGROCAMPUS OUEST Centre d'Angers

Institut National d'Horticulture et de Paysage
2 rue André Le Nôtre
49045 Angers cedex 01
tél. : +33 (0)2 41 22 54 54
fax: +33 (0)2 41 22 55 99
gerard.chasseriaux@inh.fr

Thierry BOULLARD

INRA –URIH

400 Route des Chappes - BP 167
06903 SOPHIA-ANTIPOLIS
Tel : 33(0)4 92 38 66 50
Télécopie : 33(0)4 92 38 66 77
thierry.boullard@sophia.inra.fr

Philippe MOREL

INRA Centre d'Angers-Nantes

UMR SAGAH

42 rue Georges Morel
B.P. 60057
F 49071 BEAUCOUZE cedex
Tél:33 (0)2 41 22 56 48 Fax:33 (0)2 41 22 56 35
Philippe.Morel@angers.inra.fr

DESCRIPTION DE L'ACTION

I. OBJECTIFS

I. 1. Enjeux :

Contextes :

Les hausses successives du coût de l'énergie mettent à mal la compétitivité des structures de production horticole en France, ce qui pourrait être lourd de conséquences pour les économies régionales et se traduire par des pertes de chiffre d'affaires, des disparitions d'entreprises horticoles, d'emplois et une moins bonne occupation des territoires.

En effet, le coût du chauffage des serres est très dépendant des prix des énergies fossiles (fioul lourd et domestique, gaz naturel essentiellement).

Depuis 1997, où il se situait à 20 \$ le baril, le prix du pétrole Brent a été multiplié par 5 pour atteindre 100 \$ le baril en octobre 2011, après avoir dépassé les 120 \$ le baril en 2008. Même si les taux de change peuvent atténuer une partie de ces évolutions, l'impact sur les entreprises de production est énorme et pour de nombreux producteurs de fleurs coupées et de plantes en pots, l'énergie est devenue un facteur limitant de production. En France en 2005, les abris chauffés représentaient 1300 Ha sur les 2500 Ha d'abris destinés à des productions horticoles (Ademe, 2007).

Pour les productions de serre chaude, le chauffage est donc devenu un poste de charge très important, souvent équivalent voire supérieur à celui de la main-d'œuvre et des amortissements.

La non maîtrise de ce coût se traduit déjà par un recul important des productions chauffées.

De plus, le report sur des productions plus tardives ne satisfait pas la demande des marchés pour qui l'offre française devient insuffisante en période hivernale (septembre à mars). Ces évolutions viennent en outre déstabiliser les ventes au printemps par des apports massifs et trop groupés.

La gestion optimale de l'énergie est donc devenue un enjeu majeur pour le maintien d'exploitations performantes et pour le fonctionnement des marchés horticoles qui doivent disposer de produits de qualité suffisamment abondants durant des périodes les plus longues possibles, y compris sur la période hivernale.

Les évolutions du prix de l'énergie qui continuent à être observées motivent la recherche et la mise en œuvre d'innovation de façon à améliorer la performance énergétique des productions horticoles sous serre.

Mais, en France, 80 % des exploitations horticoles disposaient en 2005 d'une surface d'abris inférieure à 5000 m² (ADEME, 2007). Cette structure d'exploitation oriente en partie les axes de recherche et d'expérimentation à travailler. En effet, pour des exploitations disposant d'une telle surface, il apparaît difficile de pourvoir financer des investissements lourds liés par exemple au changement de la source d'énergie et du type de chaufferie.

Aussi, parmi les nombreuses pistes qu'il est possible d'explorer pour diminuer la dépendance énergétique des entreprises de production et réaliser des économies d'énergie, il nous semble que celle faisant appel à une modification des conduites climatiques des serres ou à des équipements dont les coûts sont modérées seront plus facilement transposables en production et généralisables à un nombre important d'entreprises. De ce fait, les pistes qui ont retenu notre attention sont plus particulièrement :

- des conduites climatiques faisant appel au principe de l'intégration des températures, à l'accroissement des écarts jours-nuits et du confinement des serres pour moins chauffer la nuit et mieux profiter des apports solaires gratuits dans la journée.
- des conduites faisant appel à la diminution des températures de chauffage, voire à la suppression du chauffage avec adaptation du calendrier de culture pour compenser la vitesse de croissance plus lente des plantes et le choix de cultivars plus tolérants aux basses températures. Ce type de conduite est plus particulièrement envisager pour les productions de plantes en pots ou de plantes à massif.

Or, il manque encore un certain nombre de référence, notamment en ce qui concerne les répercussions de ces techniques sur la qualité des produits et les calendriers de culture pour les développer dans les productions horticoles où les exigences des espèces végétales sont très variées.

Par ailleurs, les conduites économiques en chauffage visent souvent à accroître le confinement des abris pour profiter au maximum de l'effet de serre et donc, augmentent les risques d'hygrométrie excessive et donc les risques techniques pour la qualité des produits et les risques de problèmes sanitaires. De ce fait, ces techniques sont encore peu développer en horticulture ornementale.

- Aussi, une autre piste est celle d'étudier des conduites visant à découpler la gestion des températures de la gestion de l'hygrométrie. En effet, la lutte contre les excès d'hygrométrie par la technique traditionnelle associant le chauffage à l'aération est très énergivore. Jusqu'à présent, elle était jugé essentielle pour de nombreuses productions horticoles sensibles aux *Botrytis*. Or, l'apparition d'appareils de déshumidification adaptés à une utilisation en serre donne de nouvelles possibilités qui n'étaient pas développées jusqu'à présent.

D'ailleurs, des expérimentations réalisées de 2008 à 2010 à la station expérimentale du CATE en culture de tomate sous serre montrent l'intérêt très fort d'associer des conduites économes en énergie (température basse la nuit, grand écart jour/nuit, écran thermique) à la déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique (A. Guillou, 2008 et 2009) pour limiter les risques techniques liés au confinement et augmenter les économies d'énergie.

Les objectifs de ce projet sont donc d'évaluer la pertinence technique et économique de conduites climatiques très économes en énergie basées sur les principes de l'intégration

des températures et de la diminution des consignes de chauffage. Pour de telles conduites, les intérêts et les limites de la déshumidification par des déshumidificateurs thermodynamiques seront également évalués. Cette évaluation sera réalisée pour les systèmes de culture suivant :

- **en fleurs coupées sous serre, cette étude sera réalisée sur Rosier en hors-sol et sur des fleurs annuelles cultivées en pleine terre (Lisianthus, Giroflée d'hiver).**
- **en plantes en pots et à massif :**
 - o **Pour les plantes de serre chaude : Cyclamen, Poinsettia**
 - o **pour les production de printemps de plantes à massif , l'objectif est de remplacer le schéma de culture traditionnel à 10-12°C soit par une conduite où la température de chauffage est de 5° soit par une conduite sans chauffage, en adaptant la date de rempotage pour arriver à la même période au printemps et en sélectionnant les cultivars les plus résistants au froid.**

Ce travail a été initié dans le cadre des programmes régionaux d'ASTREDHOR depuis plusieurs années. Toutefois, les conduites à basse température posent des problèmes de gestion de l'hygrométrie. La déshumidification thermodynamique sera donc testée de façon à vérifier si elle permet de limiter les risques techniques.

Pour réaliser cette évaluation pour des productions de fleurs coupées et de plantes en pots et à massif dans différents systèmes de culture et pour des régions possédant des climats assez différents (continental, océanique, méditerranéen), ce programme est mis en place par 4 stations d'expérimentation de l'ASTREDHOR.

I. 2. Résultats attendus :

Les conduites économes en énergie en serre sont des conduites relativement risquées pour les producteurs car elles accroissent les problèmes liés aux excès d'hygrométrie. En travaillant sur le découplage de la gestion des températures et de celle de l'hygrométrie et sur l'utilisation des déshumidificateurs thermodynamiques, ces travaux visent à fiabiliser et simplifier ces conduites économes en énergie pour quelles se diffusent plus largement en production.

De plus, avec la mise en œuvre de conduites sous serre économes en énergie, on s'aperçoit qu'une partie importante de l'énergie qui reste utilisée sert à la déshumidification (par la technique traditionnelle du chauffage couplé à l'aération). Il s'agit donc d'exploiter ce gisement d'économie potentiel en précisant la façon dont les déshumidificateurs thermodynamiques peuvent être intégrés et utilisés dans différentes situations de production sous serre.

Les références techniques acquises sur les conduites économes en énergie et sur les techniques de déshumidification seront diffusées pour permettre aux producteurs des fleurs et de plantes en pots d'améliorer la performance énergétique de leurs entreprises et limiter leur dépendance aux énergies fossiles.

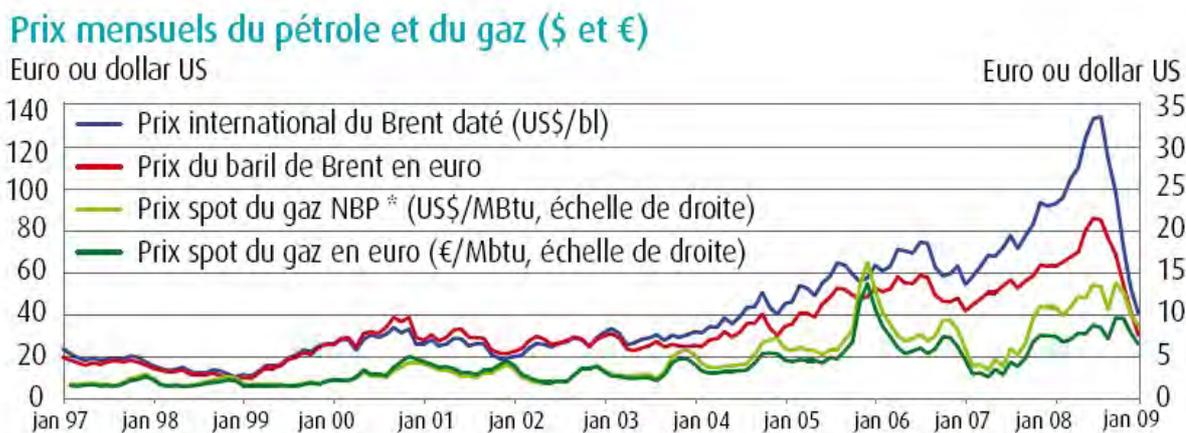
Parallèlement à cet enjeu économique, il ne faut pas oublier l'enjeu environnemental et le besoin pour la filière de disposer de techniques optimales permettant de réduire l'impact environnemental des pratiques.

II. SITUATION ACTUELLE DU SUJET DE RECHERCHE

I. 1. Synthèse bibliographique permettant de situer le projet :

Evolution du prix de l'énergie :

Le graphique suivant (source Commissariat Général au Développement Durable, 2009) présente les évolutions du prix du pétrole Brent et du gaz de 1997 à 2009 en dollars et en euros.



La filière horticole se caractérise par une forte dépendance vis-à-vis du prix des énergies fossiles. Bien que les besoins en chauffage soient très variables d'une entreprise à l'autre, la consommation moyenne annuelle était de 160 KWh d'énergie /m² d'abri chauffé (+ 8,5 KWh d'électricité /m² couvert) en 2004 (S. Wuillai, 2008). Pour certaines productions très chauffées comme la rose en fleurs coupées, la consommation d'énergie pouvait atteindre 450 kWh /m² /an dans le nord de la France. Pour les 1300 ha d'abris chauffés recensés en France en 2004, la consommation du secteur a donc été de 2 TWh (S. Wuillai, 2008).

Actions possibles pour maîtriser les consommations d'énergie en serre :

Le recensement des pistes pour limiter les coûts de chauffage et les consommations d'énergie en production sous abris a permis d'établir la liste relativement exhaustive suivante :

- a) négociation tarifaire de l'énergie.
- b) changement de la source d'énergie avec en particulier :
 - valorisation de la biomasse par combustion ou méthanisation.
 - pompe à chaleur.
 - cogénération.
 - exploitation de la chaleur provenant de sites industriels.
- c) au niveau de la chaufferie
 - optimiser le fonctionnement de la chaudière par le réglage de la combustion.
 - choix du type de brûleur (tout ou rien, tout ou peu, modulant).
 - entretien – nettoyage régulier de la chaudière.
 - limiter la température des fumées par l'utilisation d'un condenseur.
 - isolation en chaufferie.
 - optimisation de l'hydraulique de chauffage (type de vanne, type de circulateur, clapet, équilibrage réseau, diminution des débits de circulation, régulation des vannes, contrôle des positions d'arrêt des vannes motorisées, fonctionnement des circulateurs, résolution des fuites).

- compteur d'énergie
- stockage tampon et open buffer.
- pilotage à distance pour l'optimisation tarifaire.
- d) Au niveau de l'environnement de la serre :
 - brises vent.
- e) Au niveau des équipements dans la serre :
 - isolation des réseaux primaires.
 - entretien du vitrage.
 - installation d'écrans thermiques et optimisation de leur fonctionnement.
 - double écran.
 - émissions de la chaleur par des émetteurs à basse température.
 - chauffage localisé.
 - compartimentation de la serre.
 - diminution de la température dans les circuits de transport.
 - isolation des pieds droits et parois.
 - double protection temporaire.
 - ventilation d'homogénéisation.
 - régulation du climat par automate et ordinateur climatique.
- f) Au niveau de la gestion du climat :
 - choix des consignes de températures de chauffage et d'aération.
 - diminution des consignes de chauffage.
 - intégration des températures moyennes, accroissement des écarts jours / nuits et accroissements des écarts chauffage /aération.
 - choix des consignes concernant les tuyaux de chauffage.
 - choix des consignes concernant la gestion des ouvrants.
 - pilotage en fonction du rayonnement solaire.
 - pilotage en fonction de la température et du climat extérieur.
 - pilotage en fonction de la température des plantes (phytomonitring, physiomatique).
 - pilotage de la déshumidification.
 - résolution des consignes conflictuelles.
 - aide à la définition des consignes par l'utilisation des prévisions météorologiques.
 - aide à la définition des consignes de température par des modèles prévoyant la production potentielle.
 - pilotage à distance
 - enregistrement des données climatiques et énergétiques.

Nouvelles pistes :

- serre fermée ou semie-fermée.
- serre solaire.
- captation de l'énergie solaire et stockage dans le sol (puits canadien, hypocauste).
- captation de l'énergie solaire et stockage dans de l'eau à court terme (stockage tampon) ou à moyen terme (en aquifère).
- découplage de la gestion des températures et de la gestion de l'hygrométrie.
- nouveaux procédés de déshumidification.

Parmi les pistes citées précédemment, certaines ont fait l'objet de travaux de recherche et d'expérimentation en France et à l'étranger, notamment pour évaluer les conséquences qu'elles ont sur la qualité de la production, la productivité de la serre et son bilan énergétique. C'est notamment le cas des techniques basées sur l'intégration des températures, l'augmentation des écarts jour / nuit et la diminution des consignes de chauffage des serres.

Les techniques basées sur l'intégration des températures et l'accroissement des écarts jour / nuit :

Elles se fondent sur la capacité des plantes à tolérer des écarts de températures autour d'un optimum (De Koning, 1988 ; Korner et Challa, 2003). Lors de journées ensoleillées, la consigne d'aération est augmentée de façon à conserver dans la serre la chaleur gratuite provenant du soleil. Pour obtenir une

température moyenne par 24 heures identique à celle d'une conduite de référence, la consigne de chauffage est diminuée la nuit et on laisse la température de la serre descendre à un niveau plus bas que dans une conduite de référence où les écarts jour / nuit seront plus faibles. Un objectif de température moyenne par 24 heures est défini pour une durée de quelques jours à une semaine. Par jours ensoleillé, on cherchera à obtenir une température moyenne supérieure pour compenser des températures moyennes plus basses obtenues lors de journées peu ensoleillées.

Selon les espèces cultivées, les conditions climatiques locales et les choix techniques, les écarts jour /nuit et les périodes d'intégration retenus sont plus ou moins importants.

Différents travaux en culture de tomate ou de fleurs coupées ont montré l'intérêt de ces techniques pour réaliser des économies d'énergie allant de 5 à 25 % (P. Dambre, 2008 ; Gilli et Al., 2010 ; A. Guillou, 2006 & 2007, L. MARY, 2003). En région océanique, il a toutefois été observé que l'intégration des températures était délicate à réalisée pour la période allant d'octobre à février du fait du manque d'ensoleillement et des difficultés à gérer les excès d'hygrométrie consécutifs à un confinement plus important des serres.

Le SCRADH a également testé des conduites avec intégration des températures en région méditerranéenne en culture de rose, d'*Alstroemeria* et d'*Anthurium* pour la fleur coupée (Ronco, com. Pers.). La marge de progrès permise par cette technique valorisant de plus grandes amplitudes thermiques est connue et déjà appliquée sur rose et *Alstroemeria*. Toutefois dans cette région aussi, et en particulier en culture de rose, la déshumidification reste un facteur indispensable à maîtriser pour assurer la qualité sanitaire des cultures (risque *Botrytis*). Touchant directement à la qualité de la production, la déshumidification est toujours prioritaire sur les économies de chauffage. Ce constat est encore plus marqué avec des conduites économes en énergie, autorisant des phases de culture à plus basse température.

Ainsi, en cherchant à réaliser des économies sur le chauffage, le besoin d'optimiser la déshumidification a été rendu plus important. Actuellement, elle est réalisée en associant chauffage et aération, ce qui reste très coûteux. Il serait donc nécessaire d'envisager des méthodes plus performantes de déshumidification.

Sans rechercher une compensation absolue des températures moyennes /24 heures sur des périodes de quelques jours comme on le fait avec l'intégration des températures, des économies d'énergie en culture sous serre peuvent aussi être obtenues par une conduite du climat au cours de laquelle :

- on diminue les consignes de chauffage la nuit,
- on accentue les écarts de température de chauffage et d'aération entre le jour et la nuit,
- on augmente le confinement de la serre par journée ensoleillée pour conserver la chaleur gratuite provenant de l'ensoleillement,
- on augmente les écarts de température entre les consignes de chauffage et d'aération pour limiter les déperditions de chaleur.

Cependant, ce type de conduite accentue aussi fortement l'hygrométrie de la serre et risque d'accroître les problèmes sanitaires (*Botrytis*, *Oidium*) ou physiologiques, avec toutes les pertes de qualité que cela peut entraîner. De nombreuses espèces de fleurs coupées sont malheureusement sensibles à ce risque.

En plantes en pots et à massif :

En plantes en pots, l'intérêt de l'intégration des températures est très variable selon les espèces et les zones climatiques. Mais, pour les espèces adaptées à des températures modérées, un accroissement trop prononcé des écarts jours /nuits peut se traduire par un allongement plus important des plantes et la nécessité d'utiliser plus de régulateurs de croissance. La conduite climatique est alors à optimiser en fonction des espèces.

Si des économies d'énergie sont à réaliser pour les productions de plantes en pots de serre chaude, il apparaît également important pour les producteurs français de trouver des conduites plus économes en

énergie pour le secteur des plantes à massif. Traditionnellement, ces plantes sont cultivées à 10-12°C en hiver et au début du printemps (Deogratias et Riaudel, com. Pers.). Mais, dans le contexte énergétique actuel, de telles consignes entraînent des coûts de chauffage trop importants.

Les expérimentations mises en place depuis 2007 dans le réseau ASTREDHOR (M.A. Joussemet, com. Pers.) sur ce thème ont mis en évidence des économies possibles en modifiant les plannings de culture et les températures de consigne des serres. Selon les cultures, ces économies peuvent atteindre 30 à 40%. De même la modification des températures de consigne entre le jour et la nuit peut également apporter 20% d'économie d'énergie. Mais dans tous les cas la phase d'enracinement des productions consomme près des 3/4 de la dépense totale en énergie.

Ces observations laissent envisager qu'il est possible de renforcer les économies réalisées en accentuant encore l'écart entre les consignes de température du jour et de la nuit, les écarts entre le chauffage et l'aération, en diminuant la durée de la phase d'enracinement et en testant le seuil de résistance thermique d'une palette de végétaux de printemps (M.A. Joussemet, 2008).

Cette diminution des consignes de chauffage et le confinement des abris posent le problème de la maîtrise culturale. En effet, l'humidité sur les plantes est très importante et difficile à éliminer à ces niveaux de température. De nouvelles méthodes de déshumidification sont également à imaginer.

De nouvelles méthodes de déshumidification :

En production sous serre, le contrôle de l'hygrométrie a une importance aussi déterminante que celui des températures pour la réussite des cultures.

Si l'hygrométrie doit être suffisante pour permettre une croissance et un développement corrects des plantes dans la serre, des hygrométries trop élevées et la condensation qui en résulte sont fréquemment la cause de problèmes phytosanitaires ou de troubles physiologiques dont les conséquences peuvent être graves pour le producteur (diminution de la qualité des produits, pertes de rendement voire destruction de récoltes...).

L'expérience a montré ces dernières années que la mise en œuvre de conduites économes en énergie s'est traduit le plus souvent par des problèmes d'excès d'hygrométrie plus fréquents et préjudiciables pour les cultures.

Si un contrôle actif de l'hygrométrie de la serre est nécessaire pour une production optimale des cultures sous abri, il apparaît que la maximisation des économies d'énergie par la conduite climatique nécessite le recours à une gestion découplée des températures et de l'hygrométrie.

Quelques méthodes ont été proposées pour une gestion découplée des températures et de l'hygrométrie en serre :

- la déshumidification par une ventilation forcée à travers un échangeur double flux qui permet de récupérer la chaleur de l'air sortant et de la transmettre à l'air entrant (J.B. Campen et al., 2003 ; G. Chasseriaux, 2008). Ce dispositif qui est utilisé dans les bâtiments tertiaires commence à être utilisé dans des bâtiments d'élevage. La taille de l'échangeur et la capacité de ventilation sont à calculer en fonction de charges d'humidité à éliminer.
- la déshumidification par ventilation mécanique contrôlée (Campen J., 2006,2008, 2009, Vegter B., 2008) : à l'aide d'un ventilateur, de l'air froid et sec est introduit dans la serre et soufflé sous la culture. Avec cette méthode, la ventilation peut être pilotée et adaptée précisément à la quantité d'humidité à éliminer, alors qu'avec l'aération par les ouvrants ou l'entrebâillement des écrans thermiques, les flux d'air venant de l'extérieur sont peu maîtrisés. Toutefois, l'air froid introduit dans la serre doit être réchauffé et les ventilateurs consomment de l'électricité. L'économie d'énergie pourrait être de 10%, notamment grâce à une meilleure utilisation de l'écran thermique.

- la déshumidification par absorption/ adsorption. G. Chasseriaux (2008) décrit ces procédés. Bien que différents matériels hygroscopiques existent, pour J.B. Campen et al., 2003, certains sont toxiques et dangereux pour l'environnement de la serre. Chraïbi a. et al. (1995) ont expérimenté un système d'échangeur ruisselant de type cooling pad et ont montré qu'une solution hygroscopique de triéthylène glycol présentait des performances de déshumidification intéressantes sans être corrosives. A. Sartre (1996) cite des exemples d'utilisation des roues à déshumidification dans l'industrie agroalimentaire. Ce procédé a été expérimenté en Israël (G. Assaf, 2002).
- la déshumidification par condensation sur un tube froid ou sur un échangeur (J.B. Campen et al., 2002 & 2003). Avec ce procédé la chaleur extrait du tube ou de l'échangeur n'est pas récupéré pour chauffer la serre.
- la déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique. Ce procédé est décrit par G. Chasseriaux (2008) et a été expérimenté par lui-même dès 1987 dans une serre de rose. Ce type d'appareil est utilisé par exemple pour déshumidifier l'air des piscines. L'air à traiter traverse une batterie froide sur laquelle la vapeur d'eau se condense. Puis l'air refroidi est réchauffé par passage sur le condenseur du groupe froid de l'appareil avant sa réinjection dans la serre.

Ce procédé est expérimenté en culture de tomate sous serre à la station d'expérimentation du CATE depuis 2008 en association avec une conduite économe en énergie. Même s'il est dimensionné pour déshumidifier l'air de la serre aux heures où la transpiration des plants est relativement faible, c'est-à-dire pour la nuit et le lever du jour, cet appareil permet de limiter l'aération de la serre et d'utiliser plus intensivement l'écran thermique. Il en résulte une économie d'énergie de plus de 30 % (consommation électrique comprise) par rapport à la serre témoin conduite également de façon économe. Les problèmes de condensation la nuit et en début de journée sont très atténués.

Un premier essai en fleurs coupées a été tenté en 2009 au CATE sur une culture de *Lisianthus*. Cet essai a permis de montrer que l'utilisation d'une conduite climatique économe en énergie devenait possible sur cette espèce pourtant très sensible aux excès d'hygrométrie grâce à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique et aucun problème sanitaire n'a été observé. La diminution de la consommation d'énergie pour le chauffage a été supérieure à 30 %. Mais, le temps de fonctionnement de l'appareil n'a pas été suffisamment optimisé et la consommation électrique de l'appareil a été trop élevée.

Les premiers résultats du fonctionnement d'un déshumidificateur thermodynamique pour une culture d'Hydrangea sur un site de production en Pays de Loire (dans le cadre du projet PLANTINNOV SERRE) sont également très encourageants. La maîtrise des problèmes de condensation a été très bonne. Un bon état sanitaire de la culture et une bonne qualité des plantes ont été obtenus, et cela, malgré une puissance de déshumidification plus faible que pour les essais du CATE (dimensionnement de l'appareil par rapport à la transpiration nocturne des plantes). La puissance électrique installée est faible (4,5 W /m²). Sur ce site, la déshumidification thermodynamique demande 4 fois moins de puissance et est donc 4 fois moins énergivore que la déshumidification classique par chauffage et aération.

Ces expériences sont très encourageantes et montrent :

- une réelle efficacité de ces appareils pour limiter l'hygrométrie de la serre et les problèmes de condensation sur les plantes.
- un potentiel d'économie d'énergie élevé.

Mais, des réponses restent à acquérir sur un certain nombre de points :

- le dimensionnement de la capacité de déshumidification à installer dans une serre. Cet aspect est important car il détermine en partie le montant de l'investissement.

le dimensionnement de la capacité de ventilation à installer.
la configuration de l'aspiration de l'air à traiter et de la distribution de l'air traité dans la serre.
sur la durée et les périodes d'utilisation, sur le pilotage de l'appareil (seuil de démarrage, fonctionnement en continu sur une période ou par intermittence...)
sur l'adaptation de cet outil à différents systèmes de production et de culture en serre (fleurs coupées, plantes en pots, plantes à massif, production hors-sol, de pleine terre.....), à quel régime de température sont-ils adaptés ?

Choix d'une méthode d'étude :

Dans ce projet, il a été choisi de mettre en œuvre des comparaisons d'itinéraires techniques globaux, basés sur des conduites climatiques définies au préalable. On cherche en effet à préciser les répercussions économiques de conduites climatiques sur des cultures : consommations énergétiques, qualité des plantes, taux de plantes commercialisables, conséquences phytosanitaires, durée du cycle de culture... Il est vrai que ces répercussions seront évaluées dans le cadre des conditions météorologiques que les cultures subiront pendant les essais et auxquelles on ne peut se soustraire. C'est pour cette raison que les conduites climatiques définies sont testées au cours de plusieurs années d'expérimentation et dans plusieurs régions françaises. Ces répétitions interannuelles et interrégionales devraient permettre d'établir les risques afférant à ces itinéraires de culture.

Une autre possibilité serait de travailler en phytotron pour déterminer les seuils de tolérance de différentes espèces aux températures froides. En dehors de l'aspect des équipements nécessaire, une telle méthode d'étude pose un certain nombre de questions :

- non seulement quel niveau de température étudier mais aussi quel séquence climatique ? car les plantes au cours d'une culture ne subissent jamais des températures uniformes.
- Comment prendre en compte les interactions des températures basses avec les autres paramètres climatiques ?
- Comment prendre en compte la question de l'endurcissement et de l'adaptation au froid ?
- Il s'agit également de trouver des marqueurs d'état des végétaux par rapport à l'effet de températures basses.

Les réponses à ces questions nécessiteraient des moyens conséquents et n'apporteraient pas de réponses sur les répercussions économiques de conduites climatiques à basse température.

I. 2. Résultats acquis en 2011 :

En fleurs coupées, sur Lisianthus (CATE) :

L'expérimentation mise en place a été conduite sur une culture de Lisianthus menée à une température de chauffage basse (12°C), avec un très fort confinement de la serre et une déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique. La culture a été plantée à l'automne (semaine 43 de 2010) pour une récolte au printemps 2011. Une nouvelle gamme de variétés a été utilisée, la gamme Borealis qui est une gamme précoce et adaptée à des températures fraîches. En condition méditerranéenne, elle est plantée de la même façon, à l'automne pour une récolte précoce au printemps. En principe, selon les références existantes dans le nord de la France, il est nécessaire de planter en février- mars pour produire en mai-juin et de chauffer la serre à 18°C.

Même si une légère attaque de Pythium a perturbé le début de la culture, les résultats sont relativement intéressants. Un peu plus de chaleur au départ de la culture aurait été nécessaire pour favoriser l'enracinement et limiter cette attaque. Les plantes se sont développées lentement jusqu'au début du mois de mars. Ensuite, le développement a été plus normal. La récolte a débuté le 20 mai pour durer jusqu'à la fin du mois de juin. La qualité des fleurs produites a été globalement très bonne. Mais, le rendement a été pénalisé par l'attaque de Pythium du début de culture. Il a été récolté 44 fleurs commercialisées /m² de planche (pour 64 plantées avec 86 % des fleurs en extra). L'état sanitaire au

niveau de l'appareil aérien a été très bon grâce à la déshumidification et cela, malgré une conduite climatique très confinée jusqu'au mois d'avril.

Dans cet essai, la consommation d'énergie pour le chauffage de la serre a été de 81 KWh (gaz) /m² de serre et de 13 KWh d'électricité pour le fonctionnement du déshumidificateur. Si nous avons adopté le schéma de référence pour le calendrier de récolte obtenu dans cet essai, il aurait été nécessaire de planter mi-février et de chauffer la serre à 18°C. La consommation moyenne d'énergie pour le chauffage des serres dans ces conditions est de 116 KWh /m². L'écart entre les 2 conduites en terme de coût /m² est donc de 16 % en faveur de la conduite économique.

L'adaptation des conduites climatiques et des itinéraires semble pouvoir donner des marges de manœuvre pour limiter la consommation d'énergie en fleurs coupées. Les Déshumidificateurs thermodynamiques permettent de séparer la gestion de la température de la gestion de l'hygrométrie. On peut alors envisager de mettre en œuvre des conduites de serre économes en énergie en limitant les risques techniques liés à de forts confinements. Mais, l'optimisation économique de ces conduites et équipements reste à trouver.

En culture de rosier en hors-sol en condition méditerranéenne (SCRADH):

Dans le cadre de cultures de rosier en hors-sol (variétés Milva, Dukat et Sweet Avalanche) dont la gestion du chauffage a été effectué par intégration des températures au cours de l'automne 2010 et de l'hiver 2011 (moyenne: 17°C puis 15°-16° en hiver selon ensoleillement, minimum 10°C, maxi : 28°C), une comparaison a été effectuée entre 2 compartiments d'abri :

- 1 compartiment de référence : serre verre de 300 m². Conduite avec écran et protocole de déshumidification par aération et chauffage le matin.
- 1 compartiment équipé d'un déshumidificateur ETT Microhortidéshu en multichapelle DPG de 450 m².

Des références de consommation énergétiques ont été établies au cours des années antérieures pour ce système de culture.

L'hiver 2010-2011 a été mis à profit pour acquérir et installer le matériel de déshumidification et pour procéder aux premières observations de fonctionnement. Il apparaît :

- qu'en période froide nécessitant un chauffage intense, le besoin de déshumidification est quasiment nul car assuré par le chauffage de la serre. Ainsi en 2010-2011, seules les périodes couvertes et douces ont nécessité l'emploi de l'appareil. Cela réduit la période d'utilité de l'appareil. Sur la période 2010-2011, dans le cadre d'un usage non optimisé, la consommation de l'appareil a été tout de même de 6.4 Kwh/m².
- En moyenne, l'hygrométrie dans la serre est restée conforme aux exigences sauf lors de certaines périodes où l'hygrométrie est restée à 92% pendant de longues heures. Soulignons que le déficit en lumière a été exceptionnel au cours de l'hiver dernier avec une pluviométrie importante, notamment en décembre.
- En attendant une meilleure connaissance des potentialités du déshumidificateur thermodynamique, la gestion a été réduite au plus simple : déclenchement de l'appareil lorsque la serre était fermée dès que HR>88%. Une optimisation du fonctionnement de l'appareil est à trouver.
- La qualité des fleurs en serre n'a pas posé de problèmes en 2010-2011 et il n'y a eu aucun symptômes de Botrytis dans les 2 compartiments. En période critique, des essais en post récolte seront toutefois à prévoir pour valider la qualité des fleurs.

Pour la gamme de plantes à massif de printemps en condition océanique (GIE PFSO)

Pour cet essai, le protocole est basé sur un choix de variétés pouvant accepter des températures plus basses que les consignes de production classique. Les modalités suivantes ont été mises en place :

1. une culture « Sans chauffage » en tunnel plastique avec une protection P30 pour les températures négatives et une aération manuelle.
2. une culture « Froide » en serre découvrable (Venlo Optim'air) avec chauffage haute température (aérothermes) fixé à 5°C nuit/7°C jour et 15°C en aération.
3. un itinéraire de culture classique en serre verre (Optima) avec chauffage basse température sous tablettes fixé à 10°C nuit/12°C jour et 16°C en aération maximale.

Pour toutes les variétés, les hauteurs de plantes sont plus faibles dans le tunnel en comparaison avec la serre verre témoin. Les applications de régulateurs de croissance diffèrent en fonction des modalités et des variétés. Globalement, la modalité sous tunnel a permis d'éviter jusqu'à trois applications.

Concernant la floraison, elle est globalement plus précoce pour la modalité cultivée sous serre verre par rapport à la serre découvrable où les plantes sont fleuries en moyenne une semaine plus tard. C'est le cas du fuchsia, des pétunias, du nemesia, de la verveine et du bidens. En revanche, les osteospermums s'induisent mieux et plus rapidement avec le froid et l'aération des modalités Tunnel et serre Venlo. Les pélargoniums sont également plus en avance au froid au niveau du nombre de fleurs ouvertes.

Les photos suivantes montrent les résultats obtenus pour chaque variété.



Osteospermum Cape Daisy Pink Bicolor S15



Osteospermum Cape daisy Terracotta S15



Pelargonium Royal Blue S15



Pelargonium Sunrise XL Leon Rouge S15



Petunia Pegasus Table Burgundy S15



Petunia Surfinia Table Dark Red S15



Bidens Port Royal S15



Verbena Vepita Fire S15



Nemesia Angelart Raspberry S15



Fuchsia Diva Rose Blue S18

Figures 1 à 10 : Comparaison en photos des 3 modalités pour chaque variété testée

Ordre des modalités sur les photos: de gauche à droite Tunnel, serre venlo Optim'air, serre verre chauffée

Les différences de croissance et d'aspect entre les modalités dépendent des espèces végétales. Compte tenu des deux pincements effectués sur les osteospermums, les photos montrent surtout une quantité plus importante de fleurs obtenues dans les modalités « froides ». Les ports plus compacts sont bien visibles sur le fuchsia, les pétunias, la verveine et le bidens. Enfin, le pelargonium zonal présenté ici illustre parfaitement le gain en qualité obtenu en baissant les consignes de chauffage avec une croissance bien maîtrisée au niveau des entre-nœuds et de la taille des feuilles.

Au niveau des données météorologiques, les températures extérieures ont été relativement élevées par rapport à l'année précédente. Les moyennes mensuelles sont supérieures d'environ 2°C aux normales sur les 4 mois de culture. Les températures minimales sont rarement en dessous de 5°C, ce qui correspond à la consigne basse des modalités. En ce qui concerne le rayonnement, il passe du simple au double entre janvier-février et mars-avril ce qui explique des augmentations de températures plus difficiles à maîtriser dans la journée.

Sur la période d'étude, les températures des abris sont relativement proches entre les modalités Tunnel et Serre Venlo. Les températures minima dans ces 2 abris sont quasiment identiques excepté au début du mois de février où le P30 dans le tunnel maintient tout juste la température à 0°C. En revanche, les températures en journée dans le tunnel dépassent régulièrement celles mesurées dans les autres modalités à cause de la gestion manuelle de l'aération.

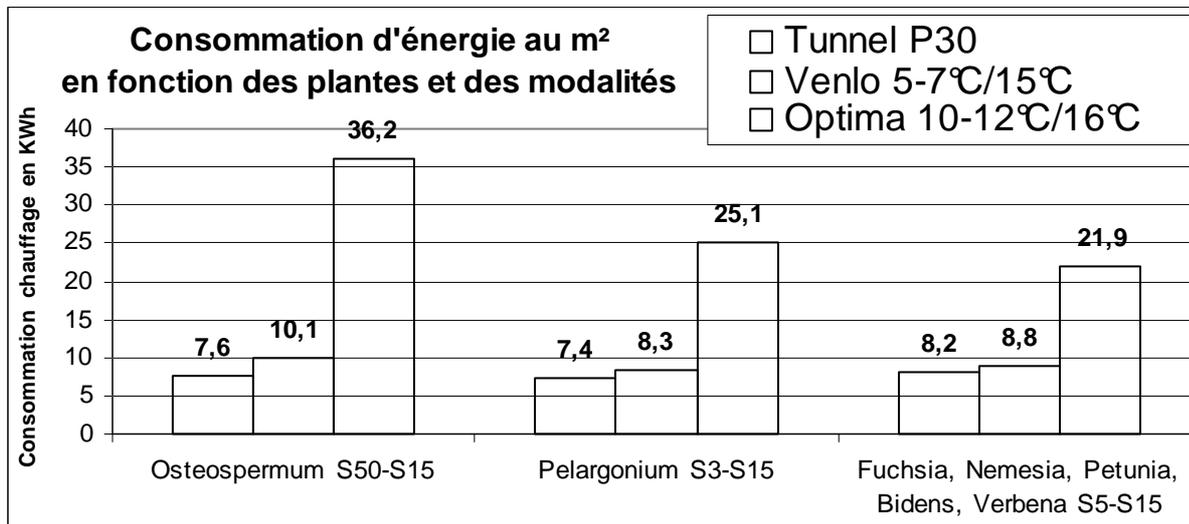


Figure 15 : Consommation du chauffage pour les 3 modalités de janvier à avril 2011

D'après le protocole, les plantes n'ont pas toutes été mises en place à la même date ce qui donne 3 groupes de consommations énergétiques visibles sur le graphique. Dans chaque groupe, les dépenses de chauffage sont représentées pour les 3 modalités. En bleu clair, nous trouvons les plantes cultivées sous tunnel avec une consommation finale correspondant aux trois premières semaines d'enracinement avant transfert. En fin de culture, cette modalité a donc nécessité environ 8 KWh au m² soit 0,1 KWh par plante (densité de 80 plantes au m² pendant la phase d'enracinement). En bleu foncé, nous avons la consommation en serre Venlo Optim'air. Compte tenu des conditions climatiques, nous constatons que cette modalité a demandé très peu d'énergie supplémentaire par rapport au tunnel. Aux 0,1 KWh par plante en phase d'enracinement, il faut ajouter 0,025 KWh par plante jusqu'à la vente ce qui est très faible.

Enfin, la modalité en serre Optima est la plus consommatrice en énergie. Maintenir 10 °C la nuit et 12°C le jour en période hivernale coûte 0,35 KWh par plante en plus de la phase d'enracinement pour une réception de plante en semaine 5.

Les résultats de 2011 mettent donc en évidence des conditions climatiques particulières sur les 4 premiers mois de l'année. Les températures moyennes élevées ont permis de réduire nettement les dépenses énergétiques quel que soit l'itinéraire de culture testé. Comparer une modalité chauffée à 10°C minimum avec une modalité maintenue à seulement 5°C montre une différence importante dans les consommations. En revanche, l'arrêt total du chauffage dans le tunnel après la phase d'enracinement n'a pas permis de réduire significativement le coût de l'énergie par rapport à des plantes cultivées en serre froide. Il est donc indispensable de réitérer l'essai avec des températures saisonnières plus faibles, l'objectif de l'essai étant d'améliorer les itinéraires culturels en appliquant des consignes de chauffage de plus en plus basses tout en maintenant la qualité végétale des produits finis.

Pour la gamme de plantes à massif de printemps en condition continentale (AREXHOR GE)

Pour cet essai, l'objectif est également de remplacer le schéma de culture traditionnel à 10-12°C par un schéma où la température de chauffage est de 5°C en adaptant la date de rempotage pour arriver à la même période au printemps et en sélectionnant les cultivars les plus résistants au froid.

Les modalités testées ont été :

- M1: Témoin: culture 3 semaines à 12°C jour – 10°C nuit de température de consigne avec un chauffage localisé basse température et aération à 22°C. Puis après la phase d'enracinement, aération à 16°C.
- M2: culture 3 semaines à 12°C jour – 10°C nuit, de température de consigne avec un chauffage localisé basse température puis passage à 7°C jour 5°C nuit, aération à 16°C.
- M3: culture 3 semaines à 12°C jour – 10°C nuit, de température de consigne avec un chauffage localisé basse température puis passage à 1°C sous bitunnel, avec utilisation d'un voile d'hivernage (P30), pour les périodes de gels, avec chauffage hors-gel à air pulsé.

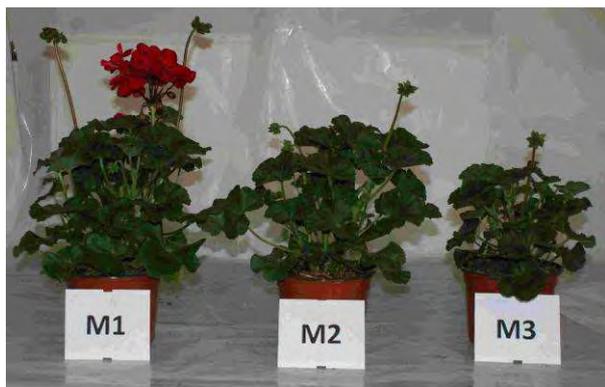
Pour cet essai, les équipements suivants ont été utilisés :

- Une serre verre où les plantes sont arrosées par un système de sub-irrigation. Le chauffage se fait par circuit basse température sous les tablettes et un système de thermosiphon en ceinture et en toiture. Les températures sont maintenues à 12°C Jour et 10°C Nuit, pour le compartiment appelé 'serre chaude'. Un second compartiment dit 'serre froide' avec comme consigne 7°C Jour et 5°C nuit.

- Le bitunnel est un tunnel plastique à double paroi gonflable, chauffé à 1°C par air pulsé. Les plantes sont cultivées au sol et l'arrosage se fait par nappe d'arrosage.

Les variétés testées ont été : Bidens, Fuchsia, Nemesia, Osteospermum, Pelargonium zonale, Pelargonium lierre, Petunia, Verbena. Rempotage semaine 6.

Les données climatiques de l'année 2011 montrent que les températures ont été moins froides que les années précédentes (pour la période de la semaine 6 à la semaine 17). De la semaine 06 à la semaine 09, la serre verre a consommé 14260Kwh, soit une diminution de la consommation en fioul de 54%, par rapport à l'année 2010, sur la même période.



Pelargonium zonale exp Tango® velvet red

Vers le 20 avril, les lots de plantes des différentes modalités sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Pelargonium ont un port plus compact que celui observé dans la modalité témoin. Les Pelargonium des Modalité 2 et 3 sont moins fleuris. Le décalage de floraison est de 6 jours. Entre la première et la deuxième modalité, il y a peu de différence agronomique. L'hiver doux a influé sur les températures de la modalité 2.

Les résultats obtenus avec le Pelargonium, sont équivalents pour les autres taxons testés (Bidens, Nemesia, Fuchsia, Osteospermum, Petunia, Verbena)

La phase d'enracinement en serre chaude demande une consommation de 15.5kWh/m² pour le chauffage.

La modalité 1 qui représente la méthode de production de référence (12°C jour – 10°C nuit) consomme 45,6 kWh/m². Avec la modalité n°2, la consommation est de 22 kWh/m². La modalité 3 (1°C) permet de réaliser une économie d'énergie de 58% par rapport à la modalité n°1.

Pour un hiver doux et avec un repotage réalisé en semaine 06. La modification de la conduite avec un abaissement des températures de 12°C jour – 10°C nuit à 1°C) ont permis de produire des plantes plus compactes, avec un légers retard de floraison avec une économie d'énergie de 50%.

III. GAINS OU AVANTAGES ATTENDUS

III. 1. Intérêt scientifique et technique :

Favoriser le développement de nouveaux modèles de gestion climatique plus performants dissociant chauffage et déshumidification, afin de réduire l'usage des énergies fossiles.

Favoriser le développement de nouveaux outils afin d'optimiser les conduites climatiques dites « économiques ».

III. 2. Intérêt socio-économique :

Maintenir performantes les entreprises produisant des cultures chauffées par le développement de stratégies de gestions climatiques dites « économiques ».

Maintenir la rentabilité des productions hivernales de fleurs coupées et de plantes en pots, tout en garantissant les volumes et la qualité.

Maintenir la filière de production des fleurs coupées par une présence significative et de qualité sur les marchés internationaux et nationaux durant l'hiver.

IV. PROGRAMME DE TRAVAIL pour l'année 2012

IV. 1. Plan de recherche :

La démarche entreprise est la suivante :

IV.1.1. - Etude bibliographique sur les conduites économes en énergie et la déshumidification des serres sera poursuivie, avec un intérêt particulier pour les résultats obtenus en maraîchage.

IV.1.2. - Mise en œuvre d'expérimentations pour les systèmes de production suivants :

a) en fleurs coupées :

- **pour une culture pérenne de serre chaude en hors-sol, le rosier, en condition méditerranéenne (au SCRADH).** Pour ce système, une conduite climatique intégrée très économique associant intégration des températures et déshumidificateur thermodynamique sera comparée à une conduite climatique identique mais utilisant la technique classique de déshumidification par chauffage et aération. Par ailleurs, les consommations d'énergie des conduites de références de ce schéma de culture et des conduites intégrées sont connues pour différents types d'abris.
- **pour des cultures de fleurs annuelles de serre chaude en pleine terre tel que le Lisianthus, en condition océanique (au CATE).** Cette espèce est très sensible aux excès d'hygrométrie qui se traduisent par un développement très rapide de mildiou sur le feuillage que des traitements phytosanitaires même intensifs ne contrôlent pas. De plus, cette espèce exige des températures relativement élevées (17-18°C) pour avoir un cycle de durée normal (16 semaines). Pour les séries de printemps, d'automne et a fortiori d'hiver, dans la moitié nord de la France, des consignes de chauffage de 17 à 18° avec une bonne déshumidification par chauffage et aération sont nécessaires dans un schéma de culture classique. Une conduite économe en énergie basée sur des consignes de chauffage plus basses que les références (12° à la place de 17-18°C) avec un fort confinement de la serre sera associée à la déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique de façon à observer le comportement de la plante avec cette conduite et la consommation d'énergie nécessaire. Dans cet essai, la consommation moyenne d'énergie de la conduite de référence est connue et sera précisée en fonction de la séquence climatique de l'année par simulation (avec le logiciel Deperserre-INH).

b) en plantes en pots :

- **pour des plantes de serre chaude comme le Cyclamen et Poinsettia en zone de climat continental (à l'AREXHOR GE).** Pour sa sensibilité au *Botrytis*, le Cyclamen est un modèle intéressant dans ce programme. Selon les séries et les régions, il fait l'objet d'un chauffage plus ou moins important. Cependant, avec cette espèce, il est fréquent de consommer de l'énergie uniquement pour la déshumidification alors qu'une serre confinée avec pas ou très peu de chauffage permettrait d'atteindre les températures nécessaires à sa culture. L'expérimentation menée visera à comparer une conduite chauffée à 15°C à une conduite chauffée avec les mêmes consignes de chauffage associée à une déshumidification par déshumidificateur thermodynamique. Le Poinsettia sera également utilisé comme plante modèle dans cet essai. Même si l'espèce n'est pas des plus sensibles au *Botrytis*, elle est relativement exigeante en température. La conduite de référence nécessite un chauffage à 18-19°C. Mais, son enracinement faible laisse penser qu'une conduite économique trop confinée pourrait entraîner des problèmes racinaires par manque d'activité de la plante.

- **Pour des plantes à massif commercialisées au printemps (à l'AREHOR GE et au GIE PFSO) en zone de climat continental et océanique.**
Pour les plantes à massif, l'objectif est de remplacer le schéma de culture traditionnel à 10-12°C par un schéma où la température de chauffage est de 5° en adaptant la date de repotage pour arriver à la même période au printemps et en sélectionnant les cultivars les plus résistants au froid. Ce travail a été initié dans le cadre des programmes régionaux d'ASTREDHOR depuis plusieurs années. Toutefois, la conduite à basse température pose des problèmes de gestion de l'hygrométrie.

A l'AREXHOR GE, une conduite avec des consignes de chauffage basses (3 semaines à 12°C puis 5°C), à un plus fort confinement de la serre associée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique sera comparée à la même conduite climatique sans déshumidificateur et à une conduite sous bitunnel avec chauffage hors-gel à 1°C et protection par un film P30.

Au GIE PFSE, la conduite avec des consignes de chauffage basses (5°), un plus fort confinement et utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique sera comparée à la conduite de référence avec un chauffage à 12°C et à une conduite sous bitunnel sans chauffage mais avec une protection par un ou deux film P30 en fonction de la température extérieure.

Pour les essais sur plantes en pots, les déshumidificateurs utilisés seront ceux conçus pour travailler à des températures inférieures à 10°C.

Pour ces essais, les espèces travaillées et les calendriers culturels seront identiques pour les 2 stations.

IV.1.3. - Protocoles de chaque station

a) SCRADH – Utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique en culture de roses sous serre pour la fleur coupée.

Objectif :

La gestion de l'humidité sous serre est indispensable dans la lutte contre le Botrytis et le maintien de la qualité des roses pour la fleur coupée, or une gestion par intégration des températures réduit le seuil de déclenchement du chauffage et accroît le nombre de périodes peu chauffées et les risques de condensation. Le développement de stratégies très économes par une intégration poussée des températures vient renforcer ce phénomène car le niveau de chauffage de la serre s'en trouve encore réduit. Ainsi nous travaillerons dans le cadre d'une conduite économe avec un objectif pour la serre de référence de 50 Kwh/m², soit un coût énergétique total proche de 2 €/m². Cela correspond à une réduction conséquente de la consommation puisqu'en 2011, la conduite par intégration classique à ± 17°C avait entraîné une consommation énergétique de 110 Kwh/m² pour cette serre de référence.

L'objectif global est d'optimiser la consommation énergétique en disposant d'un outil de déshumidification plus efficace que le traditionnel chauffage avec serre ouverte. L'essai doit permettre d'évaluer l'intérêt technique et économique d'un déshumidificateur en culture de roses dans le cadre de cette conduite économe avec intégration des températures. Vu le coût des investissements réalisés, le gain apporté par le déshumidificateur (réduction de la consommation énergétique/m²) devra être grand, avec une différence d'au moins 15%.

D'un point de vue purement technique, après 1 saison d'observation, l'objectif est aussi de valider l'adaptation de la puissance de l'appareil aux besoins de déshumidification de la culture (d'où des suivis journalier en période critique de l'HR de la serre, des volumes d'eau extraits et des phases de fonctionnement). Il est aussi important d'optimiser la programmation de l'appareil afin de mieux valoriser lorsque cela est possible la déshumidification passive.

Modalités étudiées :

- Serre 6 C : Serre verre de référence, avec conduite très économique par intégration des températures.

Déshumidification par chauffage et aération prioritaire sur l'économie de chauffage : démarrage du programme de déshumidification à 88-94 % d'HR en fonction de la période de risque *Botrytis* et de l'abondance de fleurs. De 88 à 90% HR il y a ouverture progressive des ouvrants (proportionnellement au taux HR); au delà de 91% HR de novembre à février le chauffage est mis en route avec des températures de plus en plus élevées selon l'humidité relevée (déshumidification active).

Les rosiers sont conduits en coupe pour la Saint Valentin, en revanche en aval et en amont l'objectif est d'étaler la production pour faciliter son écoulement commercial.

- Serre 7 ABC : Unité de serre plastique DPG équipée d'un déshumidificateur MICRO HortiDESHU (fabriquant ETT), avec la même conduite très économique par intégration des températures.

Déshumidification indépendante du chauffage avec une gestion du déshumidificateur gérée par l'ordinateur de gestion climatique de la serre (Priva). Pour cette serre, les ouvrants seront maintenus fermés lorsque le déshumidificateur sera mis en route. La consigne de démarrage variera de 88 à 94 % d'HR en fonction de la période de risque *Botrytis* et de l'abondance de fleurs, et selon la possibilité d'une déshumidification passive.

Les rosiers sont conduits en coupe pour la Saint Valentin, en revanche en aval et en amont l'objectif est d'étaler la production pour faciliter son écoulement commercial.

- Autres détails de la gestion climatique :

La gestion de l'hygrométrie sera rendu plus difficile par les variations de températures.

Consignes de chauffage avec plancher mobile de 5°C à 15°C (en fonction du stade phénologique des tiges et des conditions climatiques naturelles). L'injection de CO₂ associée à des consignes de ventilation élevées (lorsque les conditions de lumière et d'hygrométrie l'autorisent), permettra d'obtenir des températures moyennes très supérieures aux consignes planchers.

Apport de CO₂ froid, consigne CO₂ serre fermée 800 ppm. Chauffage eau chaude par tubes ceinturant chaque banquette de culture.

Consignes de ventilation hivernale susceptibles de 18°C nuit/ 24°C matin et 28°C après midi.

Afin de quantifier les gains en énergie par rapport à une déshumidification classique et d'évaluer la rentabilité de l'investissement, le suivi énergétique de la serre 7ABC sera réalisé en comparaison avec :

- les références acquises dans la serre 6C, serre verre avec un pilotage identique,
- les références acquises ces dernières années dans la même serre.

Dispositif :

2 compartiments de serre dont les rosiers sont conduits de façon identique, avec des consignes climatiques identiques. Le premier (n° 7) d'une surface totale de 450 m² dispose d'un déshumidificateur, le second (n°6C) de 150 m² n'en a pas.

D'après les valeurs relevées durant les essais de conduite climatique réalisés les années précédentes, le premier compartiment a une consommation de chauffage supérieure de 20% au second (en moyenne), dans le cadre d'une conduite classique avec intégration des températures. Cette différence connue s'explique par le type de structure mais aussi par la situation des chapelles, la serre 7 étant située coté Est de l'ensemble des serres alors que le compartiment 6C qui lui est contigu est plus enclavé.

Variétés en culture dans les 2 compartiments : Dukat®, Sweet Avalanche et Milva.

La surface totale de l'essai est de 600 m² pour les comparaisons climatiques et énergétiques. Elle est estimée à 150 m² pour les comptages et notation de récolte.

Mesures et observations :

- Mesure de la qualité des fleurs et de la productivité pour chaque parcelle par des récoltes réalisées chaque jour de l'année. Variables mesurées : nombre de fleurs par m², % de fleurs par catégorie commerciale (extra, 1er choix, 2ème choix), longueur des tiges (30 à 80 cm), longueur de tiges produites.

- Suivi des ravageurs et maladies : notations par parcelle selon une échelle de 0 à 3.

- Mesure des consommations énergétiques par l'enregistrement des paramètres climatiques (ordinateur climatique), le relevé des consommations énergétiques de chauffage (serres équipées de compteurs d'énergie),

le suivi de la consommation électrique du déshumidificateur (compteur électrique), le suivi des volumes d'eau extraits par l'appareil (pompe de reprise avec compteur d'eau pour les condensats).

Les mesures énergétiques et agronomiques seront réalisées durant toute l'année.

L'étude du déshumidificateur sera plutôt réalisée durant sur les périodes intermédiaires de septembre à décembre et de mars à mai (à adapter selon le climat) car le reste du temps le chauffage le rendra inutile.

b) CATE – Utilisation d'une conduite économe en énergie avec déshumidificateur thermodynamique en culture de fleur coupée.

Objectif :

Vérifier les possibilités de cultiver une ou des espèces très sensibles aux maladies avec une conduite économe en énergie basée sur un fort confinement de la serre et sur l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique. L'objectif est aussi d'observer l'intérêt d'une conduite économe en énergie et de la déshumidification thermodynamique sur différentes espèces de fleurs aux exigences différentes.

Mesurer la qualité obtenue, le rendement en fleurs, observer le calendrier de production, l'état sanitaire et mesurer les consommations d'énergie.

Modalités étudiées

Mise en place d'une expérimentation système dans un compartiment de serre verre de 192 m² conduit en pleine terre avec une rotation de fleurs annuelles.

L'étude porte sur l'évaluation d'une conduite climatique économe en énergie couplée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique pour la déshumidification de l'air pour 3 cultures successives :

- Une culture de Giroflée pour la période allant de la semaine 42 de 2011 à 14 de 2012. Pour une culture d'hiver visant une production de fin d'hiver-début de printemps et avec la gamme de variétés utilisée, cette culture nécessite en principe un chauffage minimum à 10-12°C dans le nord-ouest de la France.
- Une culture de tournesol pour la période allant de la semaine 14 à la semaine 28 de 2012. Cette espèce estivale est moyennement exigeante en température. Pour une plantation précoce sous serre et dans le but d'accomplir le cycle sur une durée imposée de 12 à 14 semaines, un chauffage de 10 à 12°C est nécessaire au début de la culture.
- Une culture de Célosie pour la période allant de la semaine 29 à la semaine 44 de 2012. Cette espèce a des besoins élevés en températures. Sa culture sous serre en été permet limiter l'utilisation du chauffage. Toutefois, si le cycle se poursuit sur septembre et octobre, le chauffage de la serre est nécessaire.

Conduites climatiques retenues :

Pour les conduites économes des Giroflées et les Tournesols, la plupart du temps, les consignes de chauffage n'ont pas été descendues aussi bas qu'il aurait été possible de le faire car le déshumidificateur thermodynamique utilisé nécessite pour fonctionner une température minimum de 10°C. Lorsque les consignes de chauffage ont malgré tout été abaissées à un niveau inférieur à 10°C du fait des exigences des cultures, le déshumidificateur thermodynamique a été arrêté et dans ce cas, la gestion de l'aération a été optimisée pour éviter d'avoir un climat trop confiné.

Système de culture

- Culture en pleine terre sur des planches de 1 m de large à une densité de 64 plantes /m² avec mise en place de jeunes plants élevés en plaques alvéolées. Pour chaque espèce, 5 variétés sont mises en place.
- Culture sous serre verre de 192 m² avec aération au faitage (1 ouvrant de chaque côté) et chauffage par tube d'acier.
- occupation continue de la serre par les 3 cultures successives.

Dispositif

Essai système à 1 facteur et 1 répétition. Parcelles expérimentales de 15 m² soit 960 plants/parcelle. 5 modalités. 5 parcelles. 75 m² de planche cultivée au total, 105 m² d'essai dans un compartiment de serre de 192 m².

Mesures et observations

Comptage et classement des fleurs récoltées en catégories de qualité selon le cahier des charges mis en place. Mesure du nombre de fleurs commercialisables. Planning de récolte. Mesure des consommations énergétiques pour la déshumidification. Enregistrement des données climatiques de la serre et extérieures. Simulation de la consommation énergétique pour le chauffage par un modèle de consommation énergétique.

c) GIE PFSO – Comparaison d'une conduite économe en énergie avec déshumidificateur thermodynamique à une conduite de référence en plantes à massif

Objectif :

Optimiser la consommation d'énergie de l'abri pour la production de plantes à massif commercialisées au printemps.

Le protocole est basé sur un choix de variétés pouvant accepter des températures plus basses que les consignes de production classique. L'objectif est de diminuer les consommations de chauffage tout en maintenant une qualité commerciale des produits mis en vente au printemps. Les autres effets attendus sont la baisse de consommations des régulateurs de croissance et de l'eau d'arrosage ainsi qu'un gain qualitatif au niveau du développement de la plante.

Modalités étudiées :

Les modalités dépendent des consignes de chauffage et des consignes d'aération, elles sont mises en place 3 semaines après l'empotage des jeunes plants pendant lesquelles le chauffage est fixé à 10°C nuit/12°C jour et l'aération à 22°C. Voici les caractéristiques des modalités.

- Itinéraire de culture de référence en serre verre Optima avec chauffage basse température sous tablettes fixé à 10°C nuit/12°C jour et 16°C en aération
- Culture « Froide » en serre découvrable Optim'air avec chauffage haute température (aérotherme) fixé à 5°C nuit/7°C jour et 15°C en aération associée à un déshumidificateur thermodynamique.
- Culture sous tunnel non chauffé avec 1 couche de P30 pour des températures extérieures comprises entre 0°C et -3°C, 2 couches de P30 pour des températures extérieures comprises entre -3°C et -5°C, aucune couche pour des températures extérieures au-dessus de 0°C, aération manuelle fixée autour de 15°C

Matériel végétal :

Fournisseur Dümmer, réception et repotage des annuelles en semaine 5, des bisannuelles en semaine 42

Bidens (1 variété)

Calibrachoa (1 variété)

Fuchsia (1 variété)

Nemesia (1 variété)

Pelargonium (2 variétés)

Petunia (2 variétés)

Osteospermum (1 variété)

Verbena (1 variété)

Viola (2 variétés)

Equipements :

- Compartiment serre verre Marchegay type Optima 9,60m par 22m (211 m²) équipé d'un écran thermique, de tablettes de culture de 7 m² arrosées par subirrigation et de tuyaux de chauffage basse température sous tables.
- Compartiment serre Marchegay type Venlo Optim'air, 9 chapelles de 3,20m sur 18m (518m²) équipé de tablettes de culture de 7 m² arrosées par subirrigation, de deux aérothermes, d'un déshumidificateur Microdesu basse température 2,35 kW
- Tunnel plastique de 6m sur 8m avec arrosage en subirrigation par ruissellement
- Compteurs thermiques Sharky de la société SAPPEL pour le suivi des consommations énergétiques
- Logiciel Synopta d'Hortimax pour la gestion du climat et des arrosages

Mesures et observations :

Observation de la floraison : intensité, date d'induction

Observation des populations de bioagresseurs : présence/absence, intensité attaques

Croissance des plantes : en début, en cours et en fin d'essai (hauteur, couvert végétal, ramifications,...)

Données climatiques dans les compartiments, en extérieur (Températures air/eau chauffage, humidité, rayonnement)

Quantités de traitements (régulateurs de croissance et pesticides)

Données compteurs thermiques

- d) **AREXHOR GE – Comparaison de conduites économe en énergie associée à un déshumidificateur thermodynamique à une conduite économe en énergie sans déshumidificateur sur une gamme de plantes de printemps et sur Cyclamen et Poinsettia**

Objectif :

Il s'agit d'associer la déshumidification des serres à une conduite climatique économe en énergie car menée à des températures plus basses que l'itinéraire de référence afin de mesurer l'effet déshumidification sur la consommation énergétique et sur la qualité sanitaire des végétaux.

Matériel technique :

- Une serre verre Marchegay type Optima 9,60m (200 m²) équipé d'un écran thermique, de tablettes de culture arrosées par subirrigation d'un réseau de chauffage basse température sous tablettes et un réseau thermosiphon en ceinture.
- Une serre verre Marchegay type Jumelle de 250m² équipé de tablettes de culture arrosées par subirrigation, d'un réseau de chauffage basse température sous les tablettes et de deux aérothermes
- Bitunnel à aérations latérales de 500m² maintenu hors gel par un générateur à air chaud
- 4 Compteurs à calories
- Un déshumidificateur Microdesu.

Matériel Végétal :

L'intérêt du déshumidificateur sera testé sur deux gammes végétales :

- une gamme de printemps : Pelargonium, Bidens, Calibrachoa, Fuchsia, Nemesis, Petunia, Osteospermum et Verbena (Cette gamme est commune au GIE Fleurs et Plantes du grand Sud Ouest)
- des plantes fleuries à production automnale : Euphorbia pulcherrima

Modalités étudiées :

- Pour la gamme de printemps

M1 : Témoin – date de rempotage S5 – 3 semaines à 12°C Jour et 10°C Nuit et l'aération à 22°C pour faciliter l'enracinement puis culture menée à une température de consigne de 7°C Jour et 5°C Nuit et aération à 15°C SANS déshumidificateur thermodynamique.

M2 : date de repotage S5 – 3 semaines à 12°C Jour et 10°C Nuit et l'aération à 22°C pour faciliter l'enracinement puis culture menée à une température de consigne de 7°C Jour et 5°C Nuit et aération à 15°C AVEC déshumidificateur thermodynamique.

M3 : date de repotage S5 – 3 semaines à 12°C Jour et 10°C Nuit et l'aération à 22°C pour faciliter l'enracinement puis culture menée sous bitunnel à aérations latérales maintenu hors gel (1°C)

- Poinsettia: 2 modalités

M1 : Témoin – date de repotage S27 afin d'obtenir une plante déjà bien développée avant la diminution des températures extérieures – température de consigne 18°C le jour et 16°C la nuit SANS déshumidification

M2 : date de repotage S27 – température de consigne 16°C le jour et 14°C la nuit AVEC déshumidification

Mesures et observations :

Observation de la floraison : intensité, date d'induction, calendrier de floraison.

Croissance des plantes : en début, en cours et en fin d'essai (hauteur, couvert végétal, ramifications,...).

Note commerciale en fin d'essai selon grille de notation 1 : second choix à 3 : extra

Suivi de l'état sanitaire : présence/absence, intensité attaques.

Quantités de traitements (régulateurs de croissance et pesticides).

Mesure des consommations énergétiques par l'enregistrement des paramètres climatiques (ordinateur climatique), le relevé des consommations énergétiques de chauffage, le suivi de la consommation électrique du déshumidificateur (compteur électrique), le suivi des volumes d'eau extraits par l'appareil (pompe de reprise avec compteur d'eau pour les condensats).

IV. 2. Principaux résultats acquis en 2012

a) SCRADH – Utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique en culture de roses sous serre pour la fleur coupée.

Dans 2 compartiments de serre, les rosiers sont conduits de façon identique, avec les mêmes consignes climatiques. Le premier (n° 7) d'une surface totale de 450 m² dispose d'un déshumidificateur MICRO HortiDESHU (fabriquant ETT), le second (n°6C) de 150 m² n'en a pas.

La conduite climatique étudiée repose sur l'intégration des températures avec une moyenne mobile.

Dans la serre 6, la déshumidification réalisée par l'utilisation du chauffage et de l'aération. La déshumidification est prioritaire sur l'économie de chauffage : démarrage du programme de déshumidification à 88-94 % d'HR en fonction de la période de risque Botrytis et de l'abondance de fleurs. De 88 à 90% HR il y a ouverture progressive des ouvrants (proportionnellement au taux HR); au delà de 91% HR de novembre à février le chauffage est mis en route avec des températures de plus en plus élevées selon l'humidité relevée (déshumidification active).

Dans la serre 7 qui est une unité de serre plastique DPG, la lutte contre les excès d'hygrométrie est réalisée par le déshumidificateur avec la même conduite économe en intégration des températures et moyenne mobile.

Sur l'ensemble de l'année 2012, la faisabilité de conduites très économes en énergie a été démontrée. L'application des résultats de 2011 a permis de progresser dans la connaissance du déshumidificateur et son emploi.

Pour le début de la campagne 2012-2013, nous avons eu une période climatique encore particulière avec peu de basses températures mais une moyenne tout de même inférieure à 2011-2012. Dès lors, même si l'ensemble paraît humide et doux, les consommations sont en hausse par rapport à la précédente campagne 2011.

Le nouveau mode de gestion du déshumidificateur a permis d'utiliser l'appareil durant toute la période, et de mieux le valoriser. Il s'en suit une hausse de la consommation électrique au 1er mars qui a plus que doublé.

L'étude du fonctionnement permet déjà de valider l'intérêt technique de l'appareil pour ce qui est de la gestion de l'humidité relative ou du déficit hydrique. Malgré la limite de fonctionnement de 10°C, la gestion climatique avec ce type de PAC est réalisable en culture de roses pour la fleur coupée, et elle a donné des résultats positifs, conformes aux attentes.

Par contre, la rentabilité d'un tel investissement reste encore une incertaine.

Elle apparait limite dans les conditions d'essai actuelles. Il est nécessaire de mieux connaître la différence de comportement des serres afin de mieux chiffrer l'apport du déshumidificateur. Il faudra donc prévoir en 2013 une phase d'étude des 2 serres avec une conduite identique, étude qui devra permettre de définir le % d'énergie supplémentaire nécessaire à la serre 7. A défaut d'obtenir une valeur définitive, il s'agira de l'évaluer en fonction du type de climat rencontré, car il faut bien reconnaître qu'entre 2011 et 2012 nous avons eu des climats différents et des comportements de serre différents.

Si l'intérêt économique de l'appareil semble insuffisant pour nos consommations énergétiques déjà assez basses (110 kWh/m² en serre chauffée), l'appareil a par contre montré son intérêt technique et sa capacité à créer du Déficit Hydrique (DH), intérêt qui pourrait ne pas être négligeable sur des systèmes plus chauffés.

En effet la rentabilité de l'appareil n'est peut-être pas à chercher sur l'économie d'énergie 'gaz' en système économe mais plutôt sur des gains en qualité et productivité de systèmes chauffés (16°C de moyenne).

b) CATE – Utilisation d'une conduite économe en énergie avec déshumidificateur thermodynamique en culture de fleur annuelle sous serre

Pour confirmer les bons résultats des essais réalisés en 2010 et 2011 sur une culture de Lisianthus avec une conduite économe en énergie et une déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique, un nouvel essai a été mis en place en 2012 mais sur plusieurs espèces de fleurs coupées aux exigences climatiques différentes et cultivées à différentes périodes de l'année. Ces espèces et leur calendrier de culture ont été les suivantes.

Espèce	date de plantation	Période de récolte
Giroflée d'hiver	Sem 42 / 2011	Mars 2012
Tournesol	Sem 14 & 16 /2012	Fin mai à mi-juillet 2012
Célosie	Sem 29 /2012	octobre 2012

Les résultats agronomiques obtenus pour ces différentes espèces étudiées ont été :

Espèces	Nombre de fleurs commercialisées /m ² de planche	% de fleurs commercialisables /nombre plantées	% d'extra /nombre récoltées
Giroflée d'hiver	44 fleurs /m ²	69 %	77 %
Tournesol	57 fleurs /m ²	89 %	76 %
Célosie	48 fleurs /m ²	75 %	81 %

La conduite climatique étudiées a été réalisées avec un chauffage allant de 10 à 14°C selon les périodes dans une serre très confinée pour garder le plus de chaleur possible et en déshumidifiant la serre avec un déshumidificateur thermodynamique. Ce déshumidificateur a été utilisé de façon à pouvoir confiner les serres au maximum et limiter les déperditions de chaleur.

Il a été possible d'observer une bonne efficacité de l'appareil Micro Hortidésu d'ETT pour diminuer l'hygrométrie de la serre qui chute rapidement jusqu'au seuil de fonctionnement choisi lorsque l'appareil se met en route et cela, avec une consommation électrique relativement modérée qui a été de 17 KWh/m² entre les semaines 42 de 2011 et 44 de 2012.

Par contre, l'appareil utilisé dans cet essai nécessite une température minimum de 10°C pour pouvoir fonctionner normalement. De ce fait, il n'a pas été possible de descendre les températures de chauffage autant qu'il aurait été nécessaire de le faire et les économies d'énergie observées ne sont pas aussi fortes que souhaitées sur Giroflée et Tournesol car les besoins en température de ces espèces sont inférieurs à ceux du Lisianthus ou de la Célosie.

Sur célosie, plante plus exigeante en température, la conduite intégrée réalisée a permis d'arriver à de forte économie d'énergie mais la limite a été atteinte car l'apparition d'un problème physiologique sur les inflorescences lié aux excès d'hygrométrie engendrés, à nécessiter de revenir à une conduite plus classique.

Un très bon état sanitaire du feuillage a cependant été obtenu pour toutes les cultures malgré le confinement des serres qui a été opéré. Ce résultat s'explique par le fonctionnement du déshumidificateur

thermodynamique qui a permis de diminuer les périodes où il existait un risque de condensation sur la végétation, en particuliers pour la culture hivernale de Giroflée

La mise en œuvre d'une conduite économe en énergie associée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique nécessite donc des adaptations en fonction des espèces de fleurs cultivées et des périodes de l'année au cours desquelles elle est mise en œuvre.

c) GIE PFSO – Etudes de conduites climatiques économe en énergie associée ou non à une déshumidification par déshumidificateur thermodynamique sur une gamme de plantes à massif de printemps

Après une phase d'enracinement sous serre chauffée à 10/12°C pendant 3 semaines, une gamme de 10 taxons rempotés en semaine 5 a été observée dans 3 conditions de culture :

- en serre verre avec des consignes de chauffage de 10/12°C et une consignes d'aération de 16°C.
- dans une serre venlo de type Optim'air avec des consignes de chauffage de 5/7°C et une consignes d'aération de 16°C. Cette serre est équipée d'un déshumidificateur thermodynamique pour limiter les excès d'hygrométrie.
- Dans un tunnel équipé d'une aération manuelle. Les cultures sont protégées des risques de gel par un P30.

Les taxons étudiés sont : Bidens Bidy Gonzales, Calibrachoa Tiki Soft Pink, Fuchsia x hybrida Dark eyes, Nemesia Nemo Orange Shade, Osteospermum Swing Royal White, Pelargonium Survivor Dark Red et Pacific Violet (zonale et lierre), Petunia Potunia Neon (compact) et Surprise Marine (retombant), Verbena Empress Hot Pink Charme. Ces variétés peuvent accepter des températures plus basses que les consignes de production classique.

La vitesse d'enracinement n'a pas été identique pour tous les taxons. 15 jours après le repotage, les développements racinaires les plus importants sont observés sur l'*Osteospermum* et le *Nemesia*. Le *Petunia* type retombant, le *Calibrachoa*, la *Verbena* et le *Bidens* présentent seulement quelques racines visibles tandis que le *Petunia* type compact n'a pas encore de racines en périphérie de la motte. Le *Pelargonium* zonale pourrait être le plus avancé.

Certaines variétés présentent une vigueur racinaire qui pourrait permettre de réduire la phase d'enracinement sous serre verre. Il serait envisageable de les transférer 10 jours après le repotage sans conséquence sur le développement de la plante. C'est le cas des 5 taxons suivants : *Osteospermum*, *Nemesia*, *Petunia* retombant, *Calibrachoa* et *Verbena*.

Le suivi des variables de croissance dans les 3 modalités permet de mettre en évidence des différences entre les itinéraires de culture ainsi que des différences de comportement entre les variétés.

La croissance des Osteospermum et Fuchsia est fortement ralentie par les températures froides

Pour les *Pelargonium*, le *Petunia* type retombant, la *Verbena* et le *Calibrachoa*., les croissances sont à peu près identiques sous Tunnel et dans la serre Venlo optim'air mais nettement inférieure à celle de la modalité chauffée.

Les *Nemesia*, *Bidens* et *Petunia* de type compact ont des croissances assez identiques dans les 3 modalités et sont peu sensibles aux basses températures.

Les meilleures qualités de plantes en fin de culture sont obtenues dans les modalités Tunnel et serre Venlo à 5°/7°C avec déshumidificateur. Pour les variétés moins sensibles aux basses températures comme le *Petunia* Potunia Neon, les différences sont moins visibles et la qualité est équivalente dans la serre Optima.

Les températures très basses au cours des deux premières semaines de février ainsi que sur le mois d'avril différencient la météorologie de l'année 2012 par rapport aux 2 années précédentes. Elles ont entraîné une consommation en chauffage très importante sur cette période qui représente plus du double de la consommation habituelle moyenne.

Sur ce début du mois de mars, les températures dans la serre Optima vont de 10°C la nuit (consigne de chauffage minimale) à plus de 25°C en journée (aération limitée pour un ensoleillement important). Celles de

la serre Venlo varient de 4°C la nuit à 22 °C en journée (aération optimale) et celles du tunnel vont de 5°C la nuit (efficacité du P30) à plus de 25°C en journée (aération limitée sous tunnel).

Globalement, les écarts de températures les plus importants sont mesurés dans le tunnel compte-tenu de l'aération manuelle difficile à maîtriser en journée. Par ailleurs, grâce au maintien des températures sous une ou deux couches de P30, l'itinéraire de culture sous tunnel ne présente pas les températures minimales de l'essai.

La période de froid de février a correspondu à la phase d'enracinement en serre chauffée à 10-12°C pour les 3 modalités. Cette phase de la culture a nécessité une consommation de gaz de 15 KWh/m². La consommation totale d'énergie de la modalité de référence conduite en serre verre à 10-12°C durant toute la culture s'est élevée à 28 KWh/m². Celle de la modalité en serre Venlo optim'air avec un chauffage à 5/7° s'est élevé à 22 KWh/m² (dont 3 KWh/m² pour le déshumidificateur). La consommation par plante sur l'essai 2012 s'élève donc à 0,22 KWh dans le tunnel et 0,41 KWh dans la serre Venlo optim'air avec un chauffage à 5/7° et déshumidification soit respectivement 61% et 28% d'économie par rapport à la serre Optima témoin conduite à 10-12°C.

Les économies de chauffage par diminution des consignes de températures pour les cultures de plantes annuelles fleuries de printemps est très dépendante des conditions climatiques de l'année. Dans la pratique courante, les producteurs assurent une phase d'enracinement de deux ou trois semaines avec des températures plus élevées après empotage des mottes racinées (à 10-12°C). L'observation des données météorologiques sur plusieurs années dans le sud-ouest montre que cette phase correspond aux périodes de froid les plus fréquentes. En 2012, les relevés météorologiques correspondent à ce schéma. Les consommations en chauffage sont aussi plus faibles après la phase d'enracinement et donc le potentiel d'économie d'énergie est plus limité si on applique des consignes de chauffage plus basses après cette période. En revanche, le gain en qualité obtenu en baissant les consignes de températures est bien réel sans nécessiter de régulateurs de croissance supplémentaires.

L'expérimentation a aussi permis de montrer l'intérêt du P30 pour protéger les plantes du froid la nuit dans le cas de la culture sous tunnel. L'utilisation du P30 permet aussi de réguler la croissance des plantes par thigmomorphogénèse.

Dans cet essai, l'intérêt d'associer un déshumidificateur thermodynamique à la conduite à basse température n'a pas été démontré et l'investissement dans cet équipement semble difficile à valoriser dans les conditions de culture de cette expérimentation.

Dans la continuité de cette expérimentation, le travail doit se poursuivre en améliorant cette pratique. Dans un premier temps, il est prévu d'optimiser l'utilisation du P30 sur les plantes en concevant un enrouleur fonctionnel à bas coût. Dans un second temps, l'énergie nécessaire pour la phase d'enracinement doit être réduite. Pour cela, les plantes seront placées directement en serre froide (un minimum de 3°C sera assuré), en parallèle un voile de P30 favorisera l'enracinement la nuit. Le témoin sous serre Optima assurera la comparaison en consommation d'énergie en tant que référence.

d) **AREXHOR GE – Etudes de conduites climatiques économe en énergie associée ou non à une déshumidification par déshumidificateur thermodynamique sur une gamme de plantes à massif de printemps et sur Poinsettia à l'automne**

Les expérimentations réalisées à la Station Arexhor Grand Est pour une gamme de plantes à massif de printemps ont montré qu'il est possible d'économiser de l'énergie en chauffant moins mais repotant plus précocement. Ainsi une économie allant de 39% à 68% est réalisée lorsque les températures de consignes sont abaissées de 12°C à 8°C. Un essai seuil de tolérance en diminuant progressivement les températures de consignes pour atteindre une température de consigne assez faible ne nécessitant plus de chauffage a été testé. Cet essai a montré que les plantes réagissaient bien à cette chute de température. Il a été conclu également qu'il était possible de produire des plantes avec un coût de chauffage inférieur à 4€/m² dans l'Est de France et qu'il était possible de produire des plantes à 1°C (après la phase d'enracinement de 3 semaines à 12°C) bien que ces dernières présentent un port plus compact et un léger retard de floraison.

Afin de poursuivre l'acquisition de référence sur les conduites à basses températures et de réduire les risques de maladies fongiques qui y sont liées, un essai de déshumidification des serres par un déshumidificateur

thermodynamique dans le cadre d'une conduite à température basse a été mise en œuvre en 2012 sur une gamme de plantes à massif pour une vente de printemps.

3 modalités ont été comparées :

M1 : Témoin : Rempotage semaine 5. 3 semaines à 12°C jour, 10 °C nuit et aération à 22°C. Puis les températures de consignes baissent à 7°C jour et 5°C nuit avec une aération à 15°C. Sans déshumidification.

M2 : Témoin : Rempotage semaine 5. 3 semaines à 12°C jour, 10 °C nuit et aération à 22°C. Puis les températures de consignes baissent à 7°C jour et 5°C nuit avec une aération à 15°C Avec déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique ETT MicroHortiDésu..

M3 : Rempotage semaine 5. 3 semaines à 12°C jour, 10 °C nuit et aération à 22°C. Puis culture menée sous bitunnel en hors gel (température 1°C).

Les cultures obtenues sous bitunnel confirment les résultats des années précédentes : les plantes sont plus trapues. Pour certains cultivars tels que les pétunias ou les ostéospermums, les plantes produites sous bitunnel à 1°C sont dans l'ensemble de même qualité commerciale que celles sous serre à 7°C (sauf pour les verveines) et ceci pour une dépense énergétique moindre. La culture à froid peut donc être privilégiée. Globalement, la production de la gamme printanière n'a pas été inquiétée par des problèmes sanitaires majeurs, qu'ils soient d'ordre fongiques ou autres.

L'appareil Micro HortiDésu s'est révélé facile d'utilisation. Bien que non raccordé à l'ordinateur climatique, le MicroDésu grâce à son horloge programmable et ses consignes d'hygrométrie est autonome et n'a demandé aucune intervention en cours d'essai. Aucun problème particulier n'est survenu. Le MicroDésu présente une bonne efficacité puisque l'hygrométrie diminue rapidement à la valeur demandée. Seul point négatif, l'hygrométrie mesurée par le déshumidificateur est d'environ 5 à 10 points moins importante que l'hygrométrie mesurée par l'ordinateur climatique. Le même phénomène mais de manière moins marquée est présent pour la température mesurée. Pour ce qui est de l'effet de la déshumidification sur les plantes, rien de significatif n'a été observé. Dans l'ensemble les plantes présentent dans la serre déshumidifiée sont un peu plus petites que celles sous serre non déshumidifiée. Cependant, la différence de taille est trop faible pour impacter réellement sur la valeur commerciale des plantes. De plus, le retard de floraison pour certaines plantes sous serre déshumidifiée est de l'ordre d'une semaine, ce qui n'empêche pas la production d'être commercialisable à la période voulue.

Quant au bénéfice de la déshumidification vis-à-vis des maladies fongiques, comme il n'y a pas eu de pression phytosanitaire, rien n'a pu être observé. Enfin, d'un point de vue énergétique et économique, l'utilisation du déshumidificateur a montré que la température de l'air sous serre subissait des variations mais finalement la température moyenne reste stable. Ainsi, la déshumidification ne permet pas à proprement parlé d'augmenter la température de la serre et de chauffer moins. Aucune économie n'est donc réalisée. Le gain économique est réalisé par l'utilisation d'une conduite économe en énergie par rapport à une conduite traditionnelle avec des consignes de chauffage plus élevées. C'est ce couplage déshumidificateur/conduite économe en énergie qui peut permettre un gain économique par rapport à une conduite traditionnelle. Puisque le coût de l'utilisation du Microdéshumidificateur est faible et sera moins important que le coût engendré par des consignes de chauffage de 2 à 4°C supérieures. En conclusion, dans notre région, l'hiver est sec, l'hygrométrie est donc peu élevée. Ainsi, même dans le cadre de conduites économes en énergie où les températures de consignes sont abaissées et donc le risque de maladie fongique plus élevé que dans des conduites traditionnelles, la pression fongique reste faible et l'utilisation de la déshumidification par un déshumidificateur semble peu pertinente. L'utilisation d'un ventilateur pour brasser l'air pourrait simplement suffire. Cette solution moins coûteuse pourrait faire l'objet d'un essai qui consisterait à comparer l'effet du brassage simple de l'air par un ventilateur par rapport à une déshumidification grâce à un déshumidificateur.

Enfin, puisque l'hygrométrie et la pression fongique étaient faibles en hiver, cet essai est renouvelé sur une période de l'année plus pluvieuse avec une culture plus sensible aux champignons. Ainsi cet automne l'essai sera réitéré sur une culture de poinsettias.

L'intérêt d'une conduite économe en énergie avec l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique a également été étudié à l'automne sur une culture de Poinsettias. 2 modalités ont été comparées :

- M1 : Témoin : Rempotage semaine 27 Consignes de températures de départ de 18°C jour/ 16°C nuit, avec une aération à 25°C. Les consignes de températures sont abaissées par la suite lorsque les poinsettias commencent à rougir (cf 3.3.1) Sans déshumidification.

- M2 : Témoin : Rempotage semaine 27 Consignes de températures de départ de 16°C jour/ 14°C nuit, avec une aération à 25°C. Les consignes de températures sont abaissées par la suite lorsque les poinsettias commencent à rougir (cf 3.3.1) Avec déshumidification.

Les poinsettias cultivés avec la conduite économe en énergie, moins chauffée peuvent parfois, suivant la variété étudiée, avoir une qualité commerciale un peu moins bonne que ceux de la serre 1. Cependant, les poinsettias ont tous été vendus en gros au même prix. En effet, ici, la qualité commerciale est surtout basée sur la taille de la plante puisque très peu sont déséquilibrés ou ont un nombre de bractées inférieur à 3. Donc, tous ou presque sont vendables et de bonne qualité. Ainsi, la diminution de chauffage couplée au déshumidificateur, a permis ici d'économiser 13,5% du coût de revient en euros/plante.

V. CONCLUSION

En fleurs coupées, la mise en oeuvre de l'intégration des températures permet de réaliser des économies d'énergie pour le chauffage des serres. Cette possibilité est cependant très liée à l'ensoleillement et une gestion de l'hygrométrie reste indispensable pour limiter les risques sanitaires liés aux excès d'hygrométrie qui interviennent avec ces conduites en période peu ensoleillée.

Les expérimentations réalisées dans l'Ouest et le Sud-Est de la France sur des cultures de fleurs coupées montrent l'efficacité de la déshumidification thermodynamique pour limiter les excès d'hygrométrie de la serre dans le cas de conduites climatiques économes en énergie. Les périodes où il existe un risque de condensation sur la végétation peuvent être ainsi raccourcies et les risques sanitaires sont alors plus faciles à maîtriser. Des répercussions très positives ont été observées pour des cultures réalisées en période hivernale dans des conditions où la serre était très confinée afin de maximiser les économies d'énergie. La question du dimensionnement du déshumidificateur est toutefois importante à prendre en considération pour obtenir une bonne efficacité.

L'intérêt de la déshumidification thermodynamique est de permettre la mise en oeuvre de conduites climatiques économes en énergie avec des confinements importants sur de longue durée et le choix de consignes de chauffage plus basses que dans les conduites de référence tout en limitant les risques techniques liés à l'hygrométrie.

Les expérimentations conduites en 2012 montrent que l'intérêt de la déshumidification thermodynamique n'est pas équivalent pour toutes les espèces et à toutes les saisons. Il est moindre pour les espèces peu exigeantes en température (à faible besoin de chauffage) cultivées en période favorable. Pour une culture peu exigeante en température comme la giroflée cultivée en période hivernale dans l'Ouest de la France, la déshumidification permet toutefois de maintenir un très bon état sanitaire sans que les économies d'énergie réalisées soient suffisantes à elles seules pour justifier l'utilisation du procédé. Pour ces espèces à faible besoin de chauffage, il semble plus pertinent d'utiliser un déshumidificateur dont le fonctionnement est possible à des températures inférieures à 10°C de façon à pouvoir mettre en oeuvre des conduites climatiques avec des consignes de chauffage très basses.

En zone méditerranéenne où le climat est naturellement plus favorable, les premiers résultats des expérimentations montrent également l'intérêt technique de la déshumidification thermodynamique mais laissent penser que l'investissement dans ce procédé sera difficile à justifier économiquement. Les premiers résultats obtenus sont à confirmer pour préciser l'intérêt économique de cet équipement.

Pour la production d'une gamme de plantes à massif de printemps, les expérimentations réalisées dans le Sud-Ouest et dans l'Est de la France montrent les possibilités de conduites sans chauffage ou à basse T° par rapport à la conduite de référence menée à 10-12°. Les expérimentations de 2012 ont confirmé les bons résultats de 2011. Dans les différents essais réalisés, le cycle des cultures a été alors allongé d'environ 1 à 2 semaines pour obtenir un stade de floraison identique. Le grand intérêt des conduites à température basse réside surtout dans le fait que les plantes possèdent un port plus compact et une croissance des entre-nœuds mieux maîtrisée. Cependant, tous les cultivars ne sont pas aussi adaptés les uns que les autres à ces types de conduites froides. Aussi, la sélection et le choix de variétés adaptées est une problématique importante de ces itinéraires.

En 2011, les économies d'énergie obtenue avec ces conduites sans chauffage sous tunnel ou 5-7°C en serre ont atteint respectivement 58 et 30 % selon les situations par rapport à la conduite de référence à 10-12°C. En 2012, dans le Sud Ouest, ces économies ont atteint de 61 et 28 %. Une période d'enracinement des plantes de 3 semaines à 10-12° reste pour le moment nécessaire. Or, cette phase d'enracinement représente entre les 2/3 et les 3/4 de la consommation d'énergie totale pour la conduite sous serre à 5-7°C et la presque totalité pour la conduite sous tunnel (hors-gel dans l'Est). Ces résultats posent donc la question de savoir comment diminuer la consommation d'énergie pendant cette phase de la culture. L'étude de différents types de jeune plant et de calendrier de culture de façon à optimiser l'enracinement et le développement des plantes avant la phase de culture à froid pourrait être des pistes à travailler.

Réalisés sur 2 années aux contextes climatiques très différents, les conduites sous tunnel n'ont pas fait apparaître les risques liés à des séquences de températures très froides. Si l'hiver 2011 avait été très doux, celui de 2012 a été particulièrement froid. Mais, la séquence de température la plus froide a été enregistrée pendant la phase d'enracinement avec un chauffage à 10-12°C. Toutefois, dans l'Est de la France, la conduite sous tunnel reste une conduite hors-gel. Dans le Sud Ouest, l'utilisation d'un P30 semble convenir. La pose du film participe par ailleurs à la régulation des plantes par thigmomorphogénèse.

Les excès d'hygrométrie des conduites à températures sans chauffage ou à basse T° laissaient penser que les risques sanitaires pourraient être accrus avec ces conduites. Les essais réalisés au cours de ces 2 années dans l'Est de la France et dans le Sud Ouest n'ont pas laissés apparaître ce risque et les conditions sanitaires ont été satisfaisantes. Dans les essais concernant les plantes à massif pour une gamme de printemps, l'investissement dans des déshumidificateurs thermodynamiques pour éviter les excès d'hygrométrie ne s'est pas révélé économiquement justifié même si ce type d'appareil s'est montré efficace pour diminuer l'hygrométrie des abris.

VI. EVALUATION (Comité de pilotage, bilan à chaque étape ...)

VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME, 2007. Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres – Situation technico-économique en 2005 et leviers d'actions actuels et futurs. 270p. www.ademe.fr.

Assaf G., 2002. Novel control of humidity and heating. *Fruit & Veg. tech.*, vol. 2, n° 2, p. 14-15.

Campen, J.B., Bot G.P.A., 2002. Dehumidification of greenhouse by condensation on finned pipes. *Biosystems engineering*, 82(2), 177-185.

Campen, J.B., Bot G.P.A., de Zwart H.F., 2003. Dehumidification of greenhouse at northern latitudes. *Biosystems engineering*, 86(4), 487-493.

Campen, J., 2006. Mechanisch vocht afvoeren : gedoseerde vochtvoer, een alternatief voor een vochtkier. *Onder glas*, 6/7, p. 24-25.

Campen, J., 2008. Resultaten van een praktijkexperiment : vocht onder controle bij het gebruik van energieschermen. *Onder glas*, 1, p. 34-35.

Campen J.B., Kempkes F.L.K., Bot G.P.A., 2009. Mechanically controlled moisture removal from greenhouses. *Biosystems engineering*, 102, 424-432.

Chasseriaux G., 1987. Etude des pompes à chaleur à déshumidification en culture sous serre à couverture plastique. *Plasticulture*, n° 73, P. 29-40.

Chasseriaux G., 2008. Déshumidification de l'air en cultures sous serre. In : *Serres horticoles et énergie, quel avenir ?* ASTRDHOR. Actes des journées techniques, 30 & 31 /01/2008. p. 125-138.

Chraïbi A., Jaffrin A., Makhlof S., Bentounes N., 1995. Deshumidification de l'air d'une serre par contact direct à courants croisés avec une solution hygroscopique organique. *J. Phys. III France*, 5, 1055-1074.

Commissariat Général au développement durable, 2009. Repères – Chiffres clés de l'énergie. Ed. Service de l'observation et des statistiques. P. 3.

Dambre P., 2008. Intégration des températures. In : Serres horticoles et énergie, quel avenir ? ASTRDHOR. Actes des journées techniques, 30 & 31 /01/2008. p. 81-88.

De Koning A.N., 1988. The effect of different day/night temperatures regimes on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. *Journal of horticultural science*, 63(3), 465-471.

Gilli C., Granges A., Carlen C., 2010. Economies d'énergie sous serre par intégration des températures en culture de tomate sur substrat. *Revue Suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 42(2), p.122-130.

Guillou A., 2006. Economie d'énergie en culture de tomate sous serre – Intégration des température et décalage du calendrier de production. *Compte rendu d'expérimentation. CATE*.

Guillou A., 2007. Economie d'énergie en culture de tomate sous serre – Intégration des températures, conduite minimum énergie et calendrier de culture. *Compte rendu d'expérimentation. CATE*.

Guillou A., 2008, Economie d'énergie – Intérêt du déshumidificateur – Résultats de la première année d'essai à la station expérimentale du CATE. *Aujourd'hui et Demain*, n°97, nov. 2008, p. 8-12.

Guillou A., 2009. Utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique en culture de tomate sous serre. *Compte rendu d'expérimentation. CATE*.

Joussemet M.A., 2008. Systèmes de culture à faible niveau énergétique en production de plantes en pot. In : Serres horticoles et énergie, quel avenir ? ASTRDHOR. Actes des journées techniques, 30 & 31 /01/2008. p. 59-80.

Korner O., Challa K., 2003. Design for an improved temperature integration concept in glashouse cultivation. *Computers and Electronics in agriculture*, 39, p. 39-59.

Le Quillec S., Lesourd D., Loda D., Herraux R., 2010. Economie d'énergie en serre. Déshumidification thermodynamique et risque Botrytis en culture de tomate hors-sol. *Infos CTIFL*, janvier-février 2010, n°258, pp.41-44.

Mary L., 2003. Essai de conduite climatique en rosier. *Compte rendu d'expérimentation. CATE*.

Sartre A., 1996. La déshumidification, un outil pour l'industrie. *RPF*, N° 834, P. 50-55.

Vegter B., 2008. Evaluatie praktijkexperimenten mechanische vochtafvoer : vocht afvoeren en meer energie besparen met scherm dicht. *Vakblad voor de bloemisterij*, 47, p. 34-35.

Wuillai S., 2008. Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres – Situation technico-économique et leviers d'action pour l'horticulture. In : Serres horticoles et énergie, quel avenir ? ASTRDHOR. Actes des journées techniques, 30 & 31 /01/2008. p. 13-20.



Annexes

S.C.R.A.D.H.

S.C.R.A.D.H.

**DEVELOPPEMENT D'ITINERAIRES TECHNIQUES
ECONOMES EN ENERGIE PAR DIMINUTION DES
TEMPERATURES DE CHAUFFAGE ET
DESHUMIDIFICATION THERMODYNAMIQUE SOUS SERRE**

**INTERET D'UNE POMPE A CHALEUR DESHUMIDIFICATEUR
EN CULTURE DE ROSES POUR LA FLEUR COUPEE**

SC/12/FC24

Laurent RONCO
2012

SOMMAIRE

OBJECTIFS ET CADRE DE L'ESSAI	21
1. RESULTATS COMPLETS DE LA CAMPAGNE 2011-2012	22
1.1. QUALITE ET RENDEMENT DES PLANTES DANS LES MODALITES DE CONDUITE DITES « ECONOMIQUES »... 22	
1.2. UN IMPACT AVERE DU DESHUMIDIFICATEUR SUR LE CLIMAT..... 24	
1.3. DES CONDUITES ECONOMES EN ENERGIE PROMETTEUSES MAIS UN INTERET DU DESHUMIDIFICATEUR ECONOMIQUEMENT LIMITE..... 24	
2. PROTOCOLE ET PREMIERS RESULTATS DE LA CAMPAGNE 2012-2013	26
2.1. LE PROTOCOLE 2012-2013..... 26	
2.1.1. OBJECTIFS DE LA NOUVELLE CAMPAGNE	26
2.1.2. DETAIL DES MODALITES ETUDIEES	26
2.1.3. DISPOSITIF..... 27	
2.1.4. MESURES ET OBSERVATIONS :..... 27	
2.2. DETAILS DES CONSIGNES CLIMATIQUES DANS LES SERRES 7 ET 6C..... 28	
2.2.1. CONSIGNES DE CHAUFFAGE	28
2.2.2. CONSIGNES D'HUMIDITE RELATIVE	28
2.2.3. CONSIGNES CO ₂	29
2.3. RESULTATS AGRONOMIQUES 2012-2013 ET ETAT SANITAIRE	30
2.4. RESULTATS DE LA COMPARAISON CLIMATIQUE..... 33	
2.4.1. FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL	33
2.4.2. ANALYSE DE LA TEMPERATURE	34
2.4.3. ANALYSE DES PARAMETRES HR ET DH	34
2.4.4. ANALYSE DE LA TENEUR EN CO ₂	35
2.5. RESULTATS ENERGETIQUES..... 36	
3. BILAN ACTUEL ET PERSPECTIVES.....	38
ANNEXE	

OBJECTIFS ET CADRE DE L'ESSAI

L'objectif de cet essai est d'étudier l'intérêt technique et économique d'un déshumidificateur thermodynamique en culture de roses conduites dans le cadre d'une gestion climatique économe en énergie.

Rappelons en préambule que la gestion de l'humidité sous serre en culture de rose est indispensable dans la lutte contre le Botrytis et le maintien de la qualité des fleurs. En effet, selon le stade de la culture (tige en croissance ou tige proche de la récolte), le risque Botrytis apparaît dès que l'humidité relative dépasse 88% (stade récolte) à 94% (stade croissance). Dans le cadre d'une production de fleurs en continu, tous les stades sont présents en même temps dans la culture et le seuil bas sera de rigueur.

Soulignons également que lors de certaines périodes à risque (indice de risque calculé par la Chambre d'Agriculture du Var) un seuil bas est nécessaire car il est impératif d'éviter toute condition favorable au Botrytis. En effet, les symptômes peuvent ne pas être visibles en serre, mais ils s'exprimeront par la suite, après les entrées et sorties des fleurs en chambre froide, entraînant le déclassement commercial du produit, voire son élimination directe.

La prophylaxie par le contrôle de l'humidité ambiante est donc la base de la lutte contre le Botrytis.

Depuis quelques années, afin de réduire le coût énergétique des cultures de roses, la gestion par intégration des températures s'est fortement développée. Or cette technique est basée sur l'utilisation de la moyenne des températures à 4 jours, et l'augmentation de l'amplitude thermique dans la serre. Ainsi les seuils de ventilations de jour sont augmentés et les seuils de déclenchement du chauffage sont abaissés, ce qui accroît le nombre de périodes peu chauffées, donc le risque Botrytis.

Vu le risque sanitaire encouru dans le cadre de ces gestions économes, le programme de déshumidification est prioritaire au programme d'économie d'énergie. La méthode actuelle de déshumidification repose sur la ventilation passive de la serre et/ou, si cela est insuffisant, sur le chauffage associé à l'ouverture de la serre.

Ainsi les programmes d'économie d'énergie sont limités par le risque sanitaire Botrytis et par le peu de performance de la technique de déshumidification active. Si les programmes de gestion climatique économes en énergie peuvent encore être améliorés (adaptation des moyennes recherchées en fonction des périodes, etc.), la dernière voie d'économie d'énergie restant en culture de rose est l'optimisation de la technique de déshumidification. D'où le lancement pour la campagne 2010-2011 d'un essai de déshumidificateur thermodynamique.

Cet essai est d'abord un essai technique qui vise à différencier la gestion de la température et de l'hygrométrie en culture de rose, pour une optimisation de la consommation d'énergie. L'impact de l'appareil sur les conditions de production de roses fleurs coupées devra être apprécié (adaptation à la surface, effet sur le climat, etc.) ainsi que sa résultante sur la récolte (état sanitaire, qualité, etc.).

Mais l'essai a également une vocation économique car si la technique permet de réduire la consommation d'énergie fossile, elle augmente la consommation d'énergie électrique et nécessite l'achat de nouveaux appareils. La marge en production de roses se réduisant fortement, la rentabilité de tels investissements doit être vérifiée pour une culture en climat méditerranéen.

A partir de novembre 2011, nous avons pu dresser un premier bilan de l'utilisation de l'appareil, dans le cadre d'un usage non optimisé, à savoir un fonctionnement autorisé en permanence lorsque la serre est fermée (hors périodes de manipulations spécifiques ou période avec consignes <10°C).

Le protocole et les premiers résultats jusqu'en mars 2012 avaient été détaillés dans le précédent compte rendu (référence SC-11-FC-24). Nous présenterons en première partie les résultats complets de la campagne 2011-2012, avant de détailler le protocole et les premiers résultats de la campagne 2012-2013.

1. RESULTATS COMPLETS DE LA CAMPAGNE 2011-2012

1.1. QUALITE ET RENDEMENT DES PLANTES DANS LES MODALITES DE CONDUITE DITES « ECONOMIQUES »

- Les itinéraires techniques comparés ont été efficaces d'un point de vu sanitaire :

Malgré un automne très doux et humide, la qualité des roses a été normale et aucun symptôme de botrytis n'a été noté (en serre et lors de la vente à la SICA MAF d'Hyères).

- Différences de production entre les 2 serres pour la période de l'essai.

Les différences de production s'expliquent plus par la différence de structure des serres que par l'utilisation du déshumidificateur.

Ainsi la serre 7 permet d'obtenir des tiges sensiblement plus longues et de meilleure qualité (% d'extra accru), ce qui avait déjà été validé bien au paravent lors de nos essais comparant la serre DPG/ serre verre.

Le rendement de la serre 6 est supérieur sur l'ensemble de la période, comme sur la période hivernale (Cf. tableaux et graphiques ci-dessous). La différence de production jusqu'en février est visible sur toutes les parcelles et notamment les variétés Milva et Sweet Avalanche+. Après l'hiver, la tendance s'inverse (sauf pour Sweet Avalanche+) et la production est sensiblement supérieure dans la serre 7.

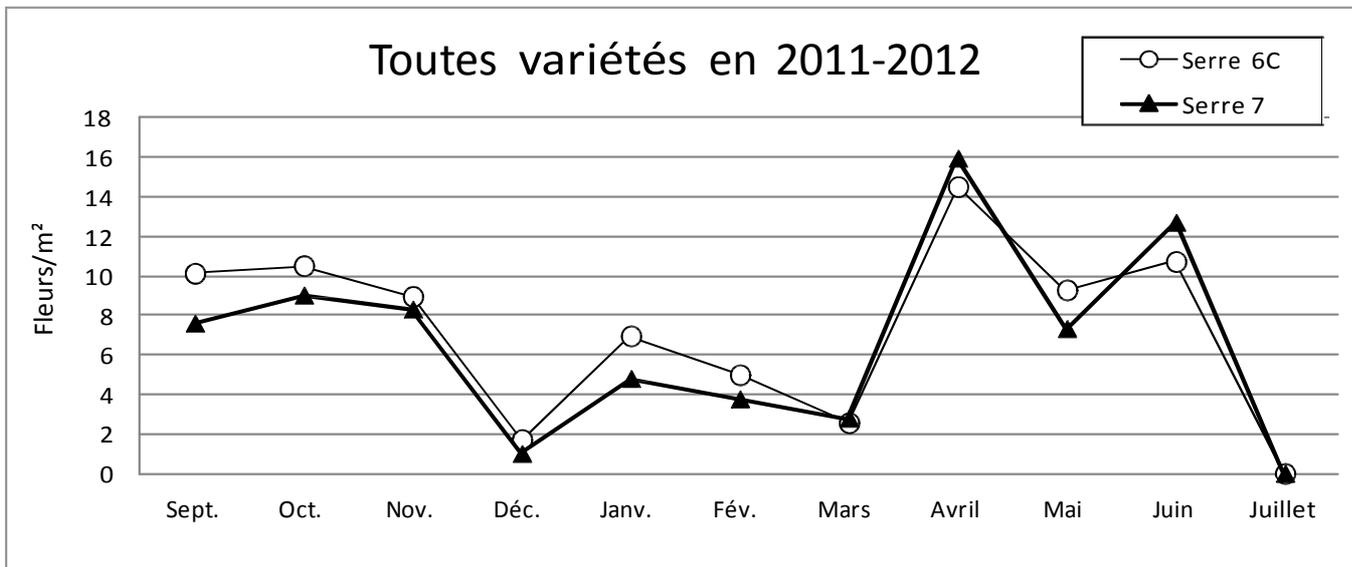
Ce léger gain de production peut s'expliquer par la plus grande luminosité de la serre verre et par le fait qu'étant enclavée, elle est soumise à de moins basses températures (notamment avec des consignes de nuit de 5°C).

Suite à la baisse importante de qualité de la parcelle Dukat serre 6 (56% d'extra seulement) les plants ont été éliminés et la variété retirée du dispositif d'essai.

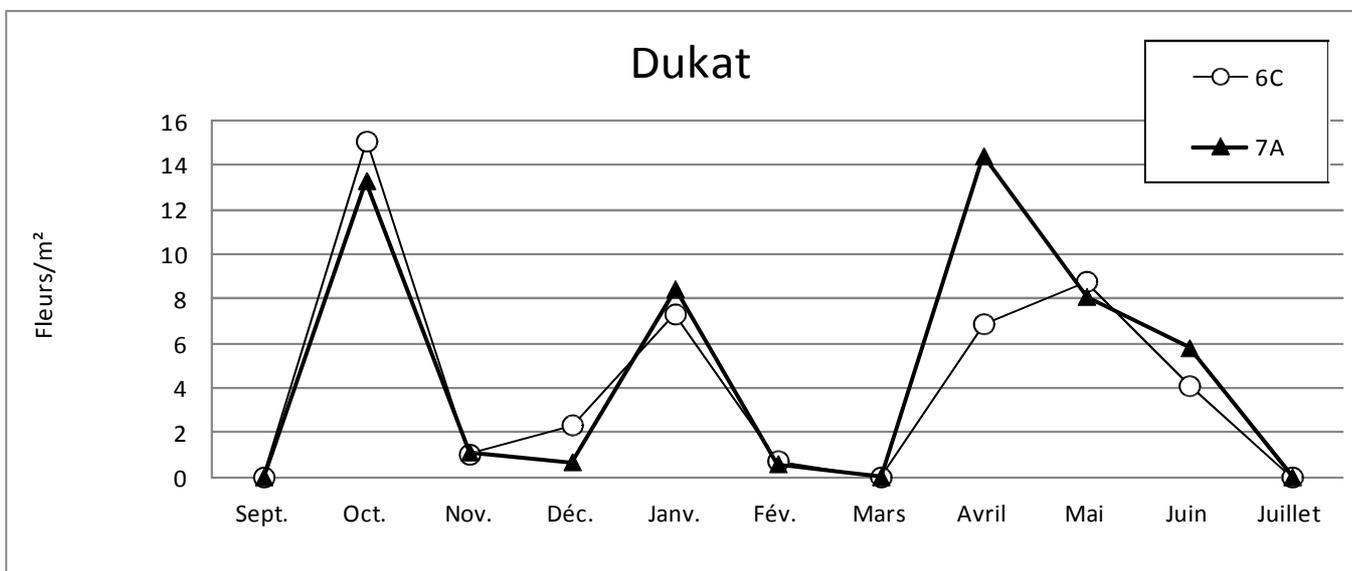
Production durant la campagne 2011-2012 des diverses parcelles en essai.

Parcelles	2011				2012						
	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07
Dukat 7	0.0	13.3	1.1	0.7	8.4	0.6	0.0	14.4	8.1	5.8	0.0
Dukat 6	0.0	15.1	1.0	2.3	7.3	0.7	0.0	6.9	8.8	4.1	0.0
Sweet A. 7	22.8	0.5	20.6	1.4	0.2	4.7	8.3	16.1	10.5	14.8	0.0
Sweet A. 6	30.4	0.2	25.6	2.0	0.7	13.8	7.7	21.9	11.6	16.0	0.0
Milva 7	0.0	13.3	3.2	1.0	5.7	6.0	0.0	17.2	3.3	17.5	0.0
Milva 6	0.0	16.2	0.3	0.8	12.9	0.4	0.0	14.7	7.4	12.1	0.0
Serre 7	7.6	9.0	8.3	1.0	4.8	3.8	2.8	15.9	7.3	12.7	0.0
Serre 6	10.1	10.5	8.9	1.7	7.0	5.0	2.6	14.5	9.3	10.7	0.0

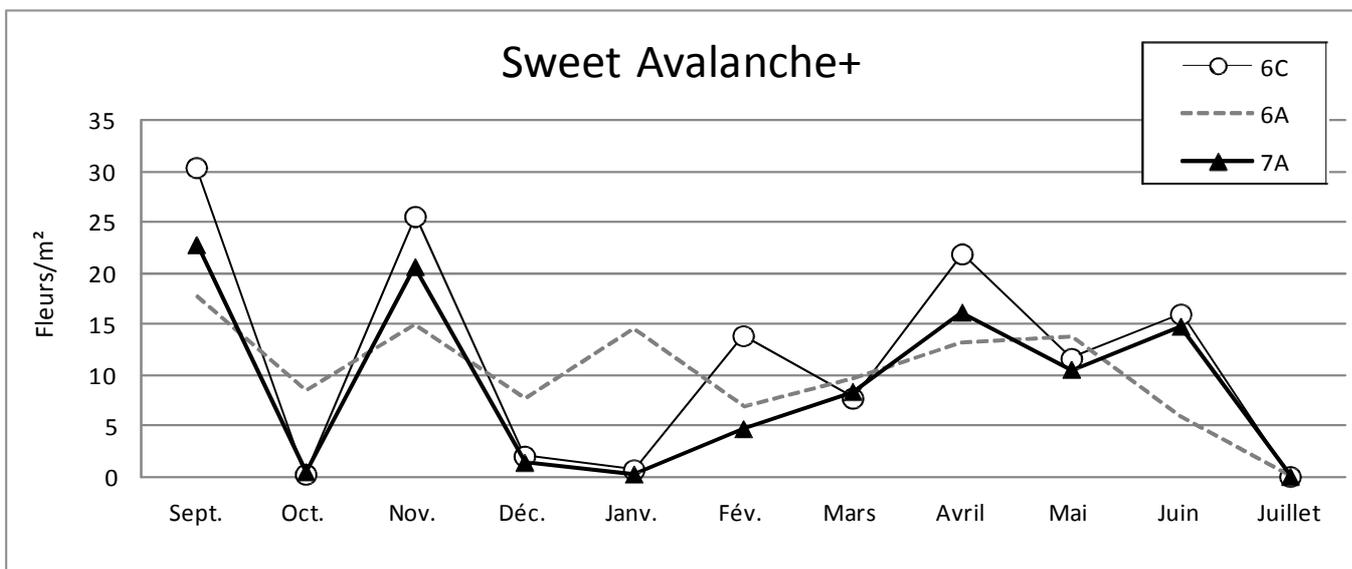
Parcelles	Long en cm	% Extra	% 1 ^{er} Choix	% 2 ^{eme} Choix	Fleurs/m ² hiver décembre / février	Fleurs/m ² de novembre à mars	Total Fleurs/m ²
Dukat 7	60	71	26	2	9.7	10.8	52.5
Dukat 6	57	56	41	3	10.4	11.4	46.3
Sweet A. 7	69	69	27	4	6.3	35.2	99.9
Sweet A. 6	69	67	31	2	16.5	49.8	129.8
Milva 7	70	71	27	2	12.7	15.9	67.2
Milva 6	69	73	18	9	14.1	14.3	64.8
Serre 7	66	71	27	3	9.6	20.7	73.2
Serre 6	65	65	30	5	13.7	25.2	80.3



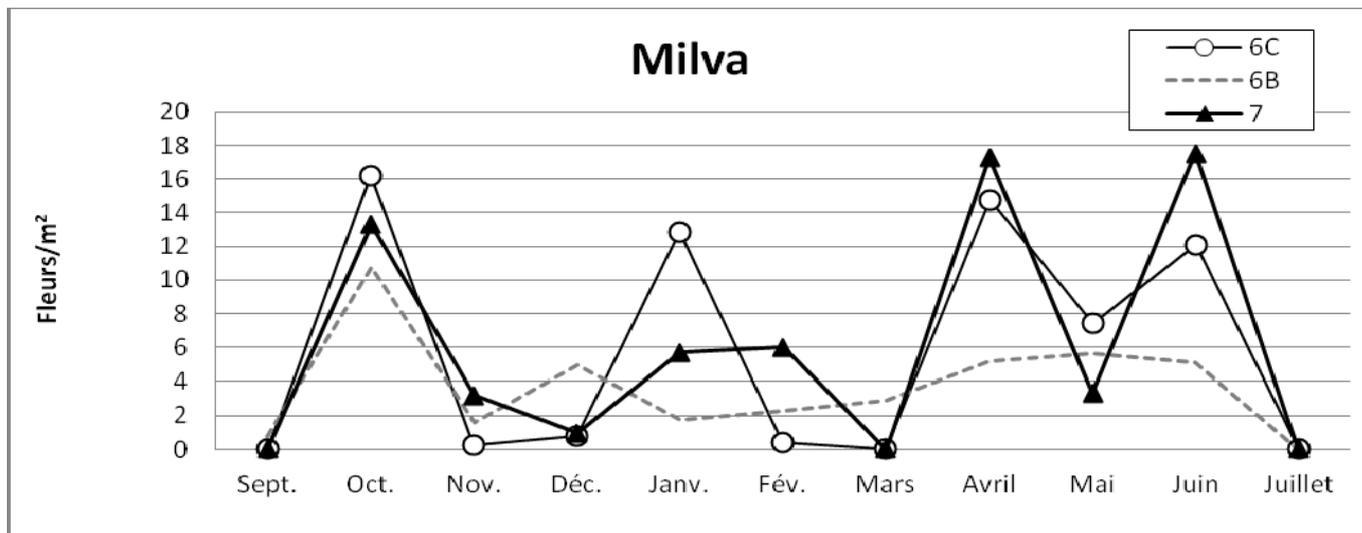
Evolution du rendement par serre durant la campagne 2011-2012 pour les variétés Milva, Ducat et Sweet Avalanche+.



Evolution du rendement par serre durant la campagne 2011-2012 pour la variété Ducat



Evolution du rendement par serre durant la campagne 2011-2012 pour la variété Sweet Avalanche+



Evolution du rendement par serre durant la campagne 2011-2012 pour la variété Milva.

1.2. UN IMPACT AVERE DU DESHUMIDIFICATEUR SUR LE CLIMAT

L'impact du déshumidificateur sur le climat est visible sur les courbes d'humidité, de température ou de déficit hydrique. Ce point a été détaillé dans le compte rendu précédent. Techniquement l'appareil a un effet sur l'humidité relative, même s'il est apparu quelques fois insuffisant pour permettre le respect des consignes (Cf. période très humide du 26 au 29-11-2011).

Notons que lors de son fonctionnement l'appareil augmente sensiblement la température de la serre (1 à 2 °C), ce qui selon les cas aura 2 effets.

- Si la température de la serre est supérieure au minimum autorisé, le chauffage par thermosiphon est inactif et le fonctionnement de l'appareil va augmenter la température moyenne de la serre 7. Cela va donc générer une différence avec la serre 6 (témoin sans déshumidificateur).
- Si le chauffage par thermosiphon est actif, l'apport de l'appareil sera intégré dans la gestion de la température et l'énergie fournie par l'appareil viendra réduire l'énergie nécessaire pour ce chauffage dans la serre 7.

Si la valeur technique de l'appareil n'est pas à discuter, il reste à valider son adaptation à une serre de 450m² de rosier en période très humide (à voir en automne 2012) et son intérêt économique.

1.3. DES CONDUITES ECONOMES EN ENERGIE PROMETTEUSES MAIS UN INTERET DU DESHUMIDIFICATEUR ECONOMIQUEMENT LIMITE.

Les conduites économes appliquées aux serres 7 (avec déshumidificateur) et 6 (sans déshumidificateur) ont atteint les objectifs fixés, à savoir moins de 50 kwh/m² pour l'ensemble de la campagne.

Aidé par une fin d'année 2011 excessivement douce et un hiver qui n'a véritablement commencé qu'en janvier 2012, la consommation globale pour le chauffage a été respectivement de 35.7 et de 25.8 Kwh/m². Pour comparaison, la consommation du témoin conduit en intégration classique a été de 107 Kwh/m² pour la même période.

La gestion économe autorisant des minima de 5°C, il a été impossible d'utiliser l'appareil pendant certaines périodes (Cf. figure ci-après) car ce modèle dispose d'une température de fonctionnement limite de 10°C. Dès lors, la période d'usage potentiel a été de 20 semaines sur les 31 étudiées soit seulement 64% du temps. Ceci réduit la période réelle d'amortissement de l'appareil.

Les 2 serres comparées présentent des caractéristiques énergétiques différentes, la serre 7 étant plus froide que la 6, et plus humide.

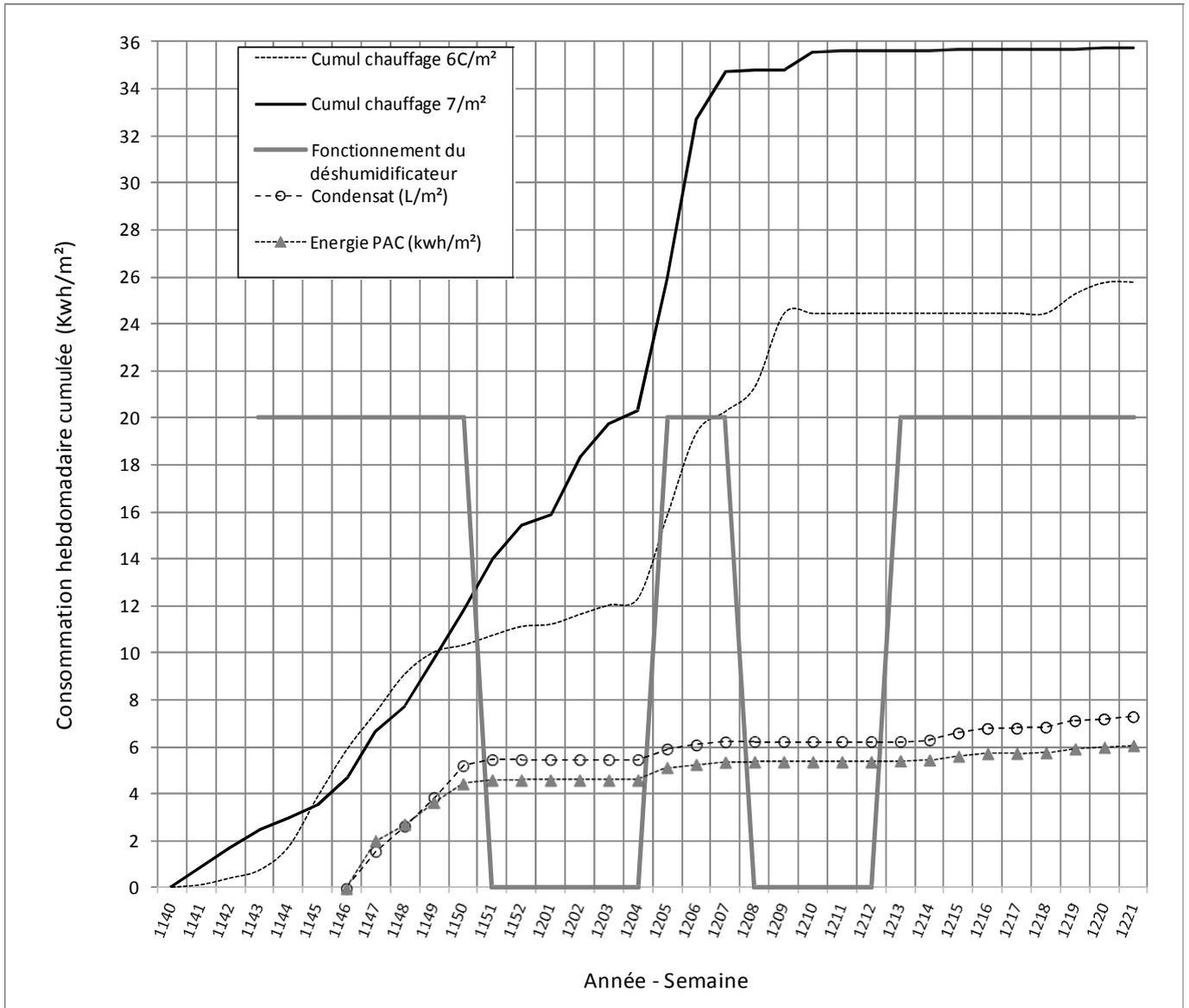
Jusqu'au début décembre (1^{ère} phase d'usage de l'appareil), les consommations énergétiques pour le chauffage par thermosiphon des unités 7 et 6 ont été semblables avec respectivement 11.7 et 10.3 kwh/m². Mais il fallait ajouter à cela 4.4 kwh/m² d'énergie électrique pour le fonctionnement de l'appareil en serre 7, énergie qui est plus coûteuse que le gaz. Si une économie de chauffage a été faite dans l'unité 7, elle semble bien insuffisante.

En fin de campagne, les consommations pour le chauffage sont respectivement de 35.7 et 25.8 Kwh/m², soit pour l'unité 7 une surconsommation de 38%, ce qui est supérieur au 20% que nous avons estimé dans le cadre d'une conduite

classique avec intégration. Et il faut aussi ajouter à cela les 6 kwh/m² d'énergie électrique, plus couteuse que l'énergie fossile, et soumise elle aussi à des hausses de prix.

Les conditions hivernales exceptionnelles ont particulièrement faussé la différence de consommation entre les 2 unités, avec une consommation très basse dans la serre 6. En effet l'hiver ayant été très doux, la serre 7 a été soumise au froid (certes léger) alors que la serre 6 plus enclavée était très protégée de ce peu de froid. Toutefois il est à craindre que le gain (i.e. réduction de l'énergie nécessaire par thermosiphon) apporté par le déshumidificateur durant ses quelques périodes de fonctionnement soit bien faible par rapport au coût de la machine et au coût actuel de la technique de déshumidification par chauffage.

Comme prévu dans le protocole cela devra donc être étudié durant les prochaines campagnes, en fonction des diverses périodes de culture.



Evolution au cours de la campagne 2011-2012 de la consommation énergétique dans les serres, de la consommation électrique du déshumidificateur et des condensats. La serre 7 est équipée du déshumidificateur.

2. PROTOCOLE ET PREMIERS RESULTATS DE LA CAMPAGNE 2012-2013

2.1. LE PROTOCOLE 2012-2013

2.1.1. OBJECTIFS DE LA NOUVELLE CAMPAGNE

En 2012 nous avons obtenus des consommations de 26 à 36 kWh/m² avec un automne excessivement doux. Dans le cadre de cette conduite climatique l'intérêt technique du déshumidificateur était net mais la rentabilité de l'investissement moins (trop courte période d'utilisation et trop faible gain économique en euros/m²).

Sur la base de ces résultats 2012, les travaux 2013 cherchent toujours à optimiser la consommation énergétique en disposant d'un outil de déshumidification techniquement plus efficace que le traditionnel chauffage avec serre ouverte.

- Que ce soit les résultats techniques ou économiques, il faudra d'abord confirmer les résultats de 2011-2012, car ils ont tout de même été obtenus dans un cadre climatique très exceptionnel. De plus les problèmes techniques rencontrés sur le déshumidificateur au début de l'automne 2011 ont réduit la période d'essai et il est indispensable de reprendre l'étude dès le mois de septembre. Dès lors, pour 2012-2013, nous conserverons la même conduite économe, avec pour la serre de référence un objectif proche de 50 Kwh/m², soit un coût énergétique total proche de 2 €/m².
- D'un point de vue purement technique, après 1 saison d'observation, la validation de l'adaptation de la puissance de l'appareil aux besoins de déshumidification de la culture n'est pas encore acquise. Il faudra reprendre les suivis en période critique avec forte végétation, et notamment la toussaint qui nous avait échappé en 2011.
- Il ressort aussi des résultats 2012 que le déshumidificateur doit être exploité au maximum afin d'envisager un possible amortissement. Pour cela, les consignes seront adaptées afin de permettre un fonctionnement maximal de la machine, tout en valorisant dès que possible la déshumidification passive.
- Enfin, la production obtenue en 2012 a été un peu trop groupée, ce qui est un désavantage commercial. Les stratégies de taille et de chauffage seront donc adaptées afin de permettre un meilleur étalement, tout en restant dans une conduite économe.

2.1.2. DETAIL DES MODALITES ETUDIEES

Le dispositif des années précédentes reste le même, seules sont modifiées les consignes de gestion climatique, et le calendrier de taille des végétaux.

- o Serre 6 C : Serre verre de référence, avec conduite économe en intégration des températures avec une moyenne mobile.
Déshumidification par chauffage et aération prioritaire sur l'économie de chauffage : démarrage du programme de déshumidification à 88-94 % d'HR en fonction de la période de risque *Botrytis* et de l'abondance de fleurs. De 88 à 90% HR il y a ouverture progressive des ouvrants (proportionnellement au taux HR); au delà de 91% HR de novembre à février le chauffage est mis en route avec des températures de plus en plus élevées selon l'humidité relevée (déshumidification active).
La stratégie est d'étaler toute l'année la production pour faciliter son écoulement commercial (production continue) et de cibler 2 périodes en hiver (coupe), afin de pouvoir adapter alors les consignes au stade de la culture. L'objectif des coupes est Noël pour les variétés à gros boutons (Sweet Avalanche, etc.) et la Saint Valentin pour les autres (Milva, etc.). Les opérations de pincements seront donc effectuées fin octobre (gros boutons) et mi-novembre (autres).
- o Serre 7 ABC : Unité de serre plastique DPG équipée d'un déshumidificateur MICRO HortiDESHU (fabricant ETT), avec la même conduite économe en intégration des températures avec moyenne mobile.
Déshumidification indépendante du chauffage avec une gestion du déshumidificateur gérée par l'ordinateur de gestion climatique de la serre (Priva). Pour cette serre, les ouvrants doivent être maintenus fermés lorsque le déshumidificateur peut être mis en route. La fermeture des ouvrants en lien avec le démarrage possible de l'appareil ne peut pas être gérée automatiquement par l'ordinateur, ce qui limite l'optimisation de l'usage de l'appareil. Pour palier à cela nous travaillons par périodes durant lesquelles l'ouverture est interdite et le démarrage du déshumidificateur autorisé (ou l'inverse). Un tel pilotage peut limiter l'usage de la déshumidification passive, qui reste par contre toujours possible chez le témoin. Ainsi, faute d'un logiciel climatique adapté, la gestion climatique sera toujours plus optimale chez le témoin.
Trois types de conduite sont appliqués :
 - Période à faible risque botrytis ou avec des impératifs culturels nécessitant une aération de la serre (exemple : limitation de la température de nuit, etc.). Utilisation possible de l'appareil pour déshumidifier ponctuellement la nuit durant 3 à 5 heures/jour (23h à 2h ou 23 à 4h). Mois estimés : septembre-octobre, avril-mai.
 - Période à risque botrytis, la serre pouvant être fermée : Utilisation possible de l'appareil pour déshumidifier durant de longues périodes de 14 à 20 heures/jour (de 18h à 09h ou de 15h à 11h). Mois estimés : novembre-décembre, février-mars

- Période à risque botrytis mais température de serre <10°C : déshumidification classique la nuit, car l'appareil ne fonctionne pas en dessous de 10°C. Possibilité de déshumidifier avec l'appareil en journée durant les heures où la température est > à 10°C afin de faire tomber l'HR. Mois estimé : janvier.

Durant les périodes autorisant le fonctionnement de l'appareil, la consigne de démarrage variera de 85 à 94 % d'HR en fonction du risque climatique *Botrytis* (indice calculé) et de l'abondance de fleurs (risque cultural estimé). Chaque période de fonctionnement du déshumidificateur dure au moins 15 minutes (avec une pause minimum de 10 minutes entre chaque). Si la température de la serre est inférieure à 10°C ou supérieure à 24°C l'appareil est arrêté automatiquement.

La stratégie est d'étaler toute l'année la production de fleurs pour faciliter son écoulement commercial (production quasi continue) et de cibler 2 périodes en hiver (coupe), afin de pouvoir adapter alors les consignes au stade de la culture. L'objectif des coupes est Noël pour les variétés à gros boutons (Sweet Avalanche, etc.) et la Saint Valentin pour les autres (Milva, etc.). Les opérations de pincement ont donc été effectuées fin octobre (gros boutons) et mi-novembre (autres).

Autres détails de la gestion climatique valables pour les 2 serres :

- Chauffage eau chaude par des tubes ceinturant chaque banquette de culture, géré par l'ordinateur climatique selon les consignes. Consignes de chauffage avec plancher mobile de 5°C à 15°C (en fonction du stade phénologique des tiges et des conditions climatiques naturelles). Lorsque les conditions de lumière et d'hygrométrie l'autorisent les consignes de ventilation élevées (forçage intensif et peu d'aération), permettront d'obtenir des températures moyennes très supérieures aux consignes 'plancher'.
- La gestion de l'hygrométrie sera rendu plus difficile par les variations de températures prévues dans le calendrier de gestion climatique.
- Consignes de ventilation hivernale susceptibles de 18°C nuit/ 24°C matin et 28°C après midi.
- Apport de CO₂ froid, avec une consigne CO₂ serre fermée de 600 ppm.

2.1.3. DISPOSITIF

2 compartiments de serre dont les rosiers sont conduits de façon identique, avec des consignes climatiques identiques. Le premier (n° 7) d'une surface totale de 450 m² dispose d'un déshumidificateur, le second (n°6C) de 150 m² n'en a pas. D'après les valeurs relevées durant les essais de conduite climatique réalisés les années précédentes, le premier compartiment a une consommation de chauffage supérieure de 20% au second (en moyenne), dans le cadre d'une conduite classique avec intégration des températures. Cette différence connue s'explique par le type de structure mais aussi par la situation des chapelles, la serre 7 étant située coté Est de l'ensemble des serres alors que le compartiment 6C qui lui est contigu est plus enclavé.

Variétés en culture dans les 2 compartiments : Sweet Avalanche et Milva.

La surface totale de l'essai est de 600 m² pour les comparaisons climatiques et énergétiques. Elle est estimée à 150 m² pour les comptages et notation de la récolte.

2.1.4. MESURES ET OBSERVATIONS :

- Mesure de la qualité des fleurs et de la productivité pour chaque parcelle par des récoltes réalisées chaque jour de l'année. Variables mesurées : nombre de fleurs par m², % de fleurs par catégorie commerciale (extra, 1er choix, 2ème choix), longueur des tiges (30 à 80 cm), longueur de tiges produites.
- Suivi des ravageurs et maladies : notations par parcelle selon une échelle de 0 à 3.
- Mesure des consommations énergétiques par l'enregistrement des paramètres climatiques (ordinateur climatique), le relevé des consommations énergétiques de chauffage (serres équipées de compteurs d'énergie), le suivi de la consommation électrique du déshumidificateur (compteur électrique), le suivi des volumes d'eau extraits par l'appareil (pompe de reprise avec compteur d'eau pour les condensats).

Les mesures énergétiques et agronomiques seront réalisées durant toute l'année.

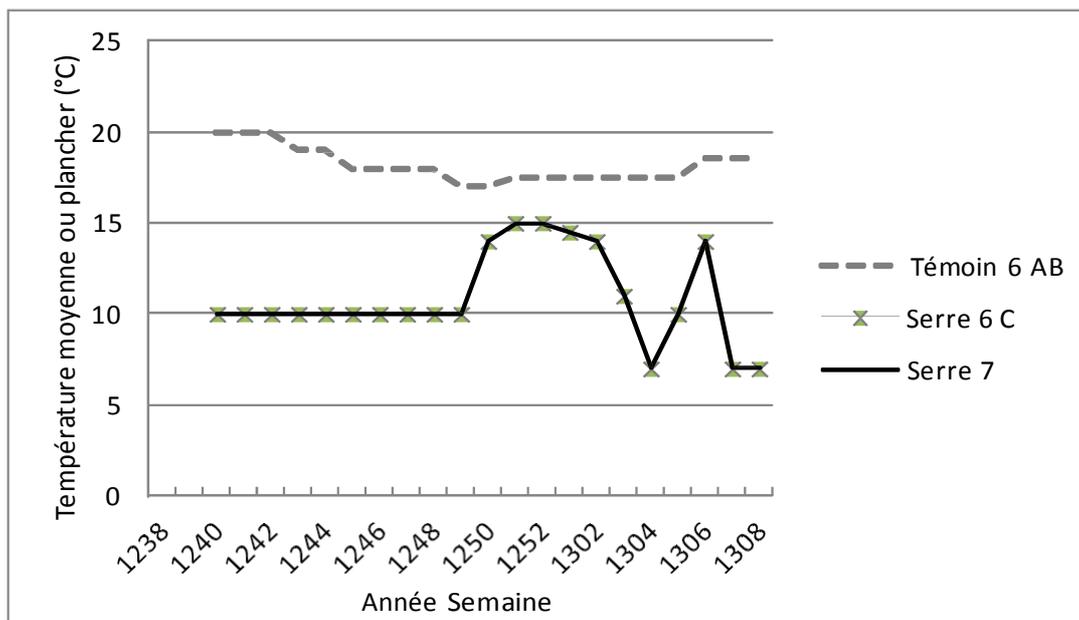
L'étude du déshumidificateur sera plus pointue durant les périodes intermédiaires de septembre à décembre et de mars à mai (à adapter selon le climat) car le reste du temps le chauffage le rendra inutile puisqu'il suffit à lui seul à faire baisser l'humidité (faible besoin de déshumidifier lorsque l'on chauffe).

2.2. DETAILS DES CONSIGNES CLIMATIQUES DANS LES SERRES 7 ET 6C

2.2.1. CONSIGNES DE CHAUFFAGE

Pour cette nouvelle campagne nous travaillons toujours dans le cadre d'une conduite économe avec un objectif énergétique pour la serre verre de référence proche de 50 kWh/m², soit un coût énergétique total proche de 2 €/m². Cela correspond à une réduction de près de la moitié de la consommation, puisqu'en 2011/2012 la conduite classique par intégration des températures à ± 17°C avait entraîné une consommation énergétique de 107 Kwh/m².

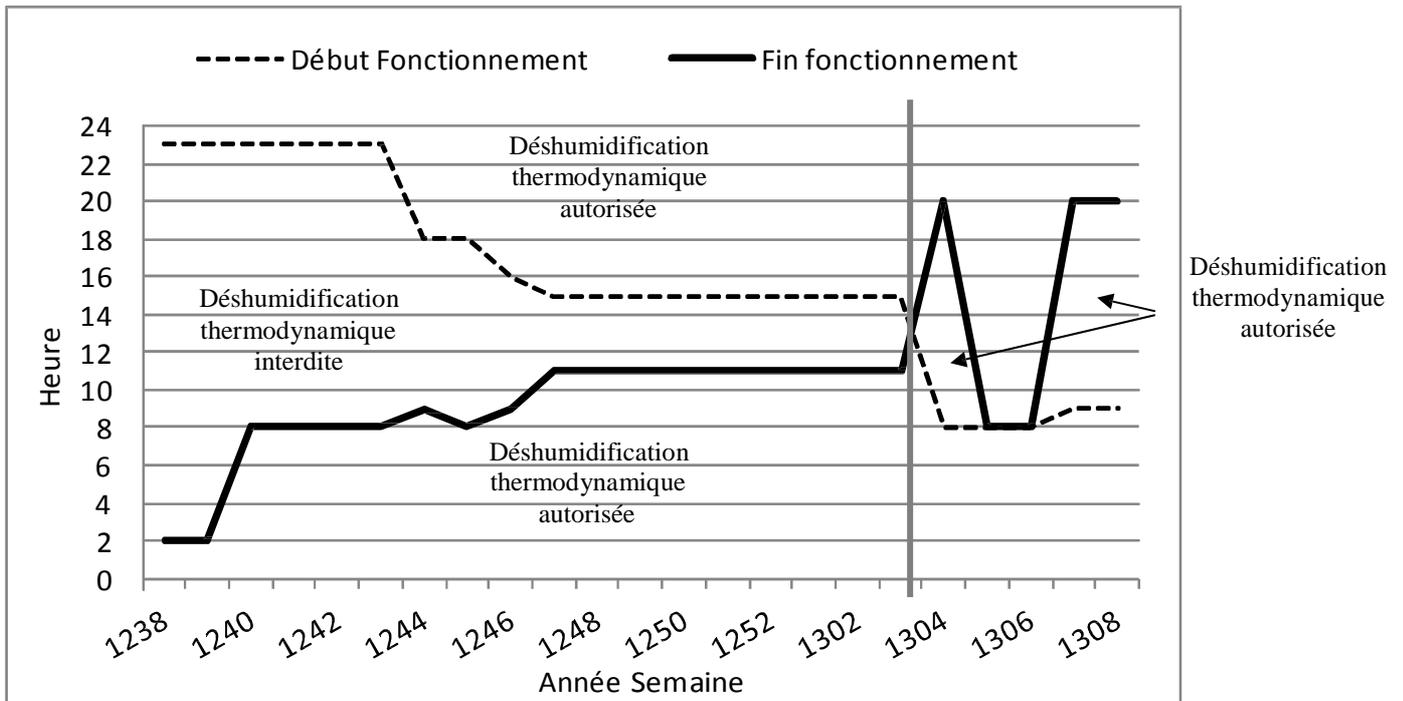
Les consignes de température ont donc évolué selon la figure ci-après.



Consignes de chauffage dans les serres avec conduite économe (6C et 7) et dans le Témoin (6 AB). (Année Semaine 1248 : année 2012 semaine 48)

2.2.2. CONSIGNES D'HUMIDITE RELATIVE

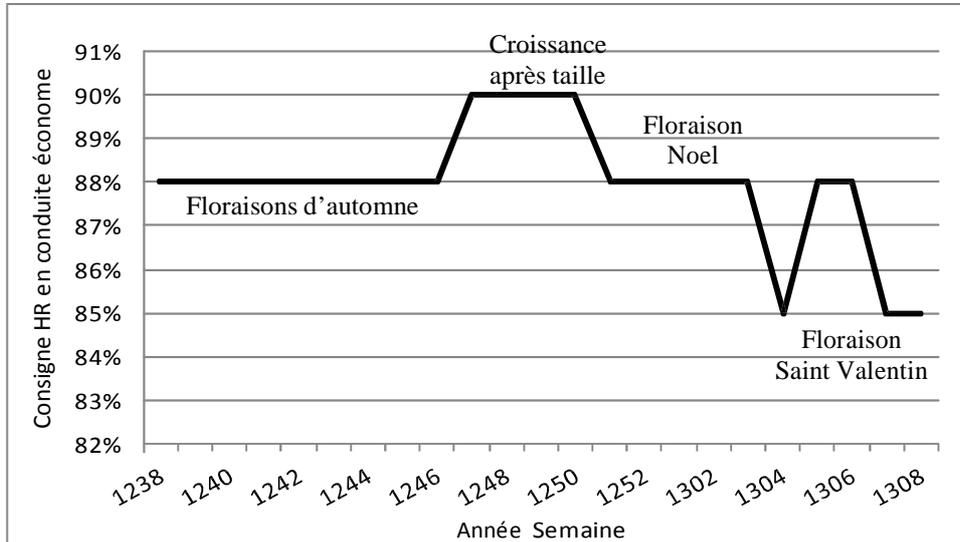
Contrairement à la campagne précédente où nous avons arrêté le déshumidificateur durant certaines périodes, nous cherchons durant cette campagne à l'utiliser au maximum (donc le plus souvent). Ainsi, son fonctionnement a même été autorisé en journée durant les périodes où les consignes de chauffage de nuit descendaient en dessous de 10°C, à condition bien sûr que ces journées soient « douces » (pas moins de 10°C). Durant ces périodes, l'idée était d'assécher l'ambiance avec l'appareil, juste avant la descente en température de la serre (et donc la remontée d'HR). Ainsi, à partir de septembre 2012 les consignes ont été les suivantes :



Evolution des plages d'utilisation du déshumidificateur au cours du temps (Année Semaine 1248 : année 2012 semaine 48)

Ainsi, en fonction de la saison, la serre a été fermée et le déshumidificateur autorisé durant des périodes plus ou moins longues, allant de 23h à 2h (pour la plus courte) jusqu'à 15h à 13h pour la plus longue. Ceci a été permis par un climat doux jusqu'en janvier. Après la semaine 4, avec l'arrivée du froid, le fonctionnement n'a été autorisé qu'en journée (8h à 20h pour les plus longues périodes).

En fonction du stade de la culture et du risque Botrytis calculé, le seuil de déshumidification a évolué comme suit.



Evolution de la consigne HR dans les serres 7 et 6 au cours du temps (Année Semaine 1248 : année 2012 semaine 48)

2.2.3. CONSIGNES CO₂

Concernant la gestion du CO₂, nous avons un système de mesure du CO₂ pour chaque compartiment (une mesure toutes les 18 minutes) et l'ordinateur injecte du CO₂ de façon indépendante dans les compartiments en fonction des consignes (le Pas de réactivité = 18 mn).

La consigne CO₂ est identique pour les 2 serres, avec une valeur de 600 ppm serre fermée, mais la gestion réalisée par l'ordinateur climatique est multi factorielle.

L'ouverture de la serre influence les consignes, qui passent de 800 à 350 ppm dès que la serre est ouverte à plus de 5%. L'injection est même arrêtée lorsque l'ouverture est supérieure à 10%.

De même, la radiation extérieure influence également le seuil d'injection demandé, avec un minimum possible à 450 ppm et un maximum possible à 1000 ppm. Lorsqu'il fait sombre (<100 w) il n'y a pas d'injection de CO₂, tout comme lors d'une déshumidification avec ouverture de la serre >5% (pas d'injection serre ouverte).

De fait lorsque la serre en gestion classique s'ouvre à plus de 5% pour déshumidifier, le CO₂ est interdit, alors que dans la serre toujours fermée (pour permettre l'usage raisonnable du déshumidificateur) le CO₂ peut être injecté.

Le déshumidificateur ne fonctionnant qu'en serre fermée, et la déshumidification classique ne fonctionnant que serre ouverte, il y a par définition un biais possible entre les 2 modalités, avec un léger détrimement théorique pour la serre "classique". Outre le fait que l'injection de CO₂ est la norme en production, nous avons choisi de passer outre ce biais dans notre essai pour les raisons suivantes :

- La déshumidification se fait principalement durant la nuit, donc quand il n'y a pas de CO₂ injecté. Dans ce cas il n'y a donc pas de biais.
- Le seuil biais aura lieu durant les jours couverts (ou de pluie) où l'on pourra avoir besoin de déshumidification chez le témoin (serre très chauffée et ouverte, mais pas trop car lors de forte pluies la serre reste fermée). Par temps couvert la consigne d'injection sera réduite (influence de la radiation) ce qui réduira le biais entre les serres. De plus, cette situation est rare et il serait impossible de maintenir 600 ou 800 ppm dans une serre ouverte (surtout s'il y a du vent). Le biais est donc faible et particulièrement imparable.
- Dans le cadre d'une conduite sans injection de CO₂, la différence entre les serres serait bien plus accentuée dans l'autre sens. En effet, la serre 7 avec le déshumidificateur reste le plus souvent fermée et l'on noterait une chute de CO₂ qui deviendrait très rapidement limitant (jusqu'à 180 ppm mesurés sur Anthurium confiné sans CO₂). Le CO₂ serait limitant durant des périodes bien plus importantes et plus longues que le biais que nous avons actuellement. Avec la conduite adoptée il n'est jamais limitant, mais peut être ponctuellement moins élevé chez le témoin.

Rappelons également que le taux de CO₂ dans la serre agit sur la qualité ou le rendement des parcelles et bien peu sur la qualité sanitaire et l'énergie consommée (qui nous concernent dans cet essai). La différence d'outil (serre plastique DPG/serre verre) introduit bien plus de différence de rendement (luminosité différente, enclavement) entre les 2 compartiments.

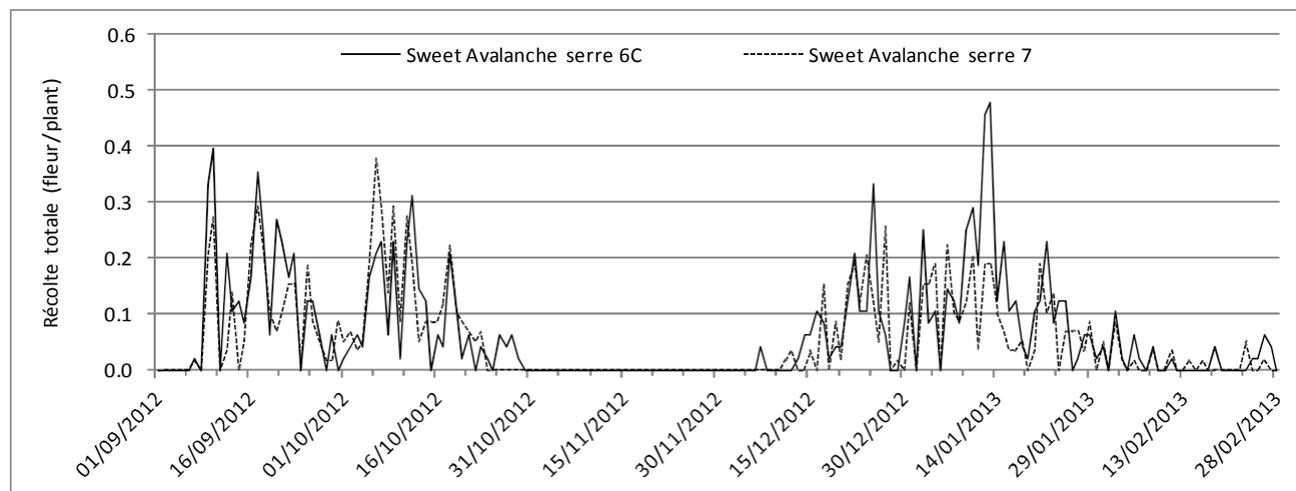
Parce qu'il s'agit d'une possible source de différence entre les serres, le taux de CO₂ sera également observé au cours de l'essai.

2.3. RESULTATS AGRONOMIQUES 2012-2013 ET ETAT SANITAIRE

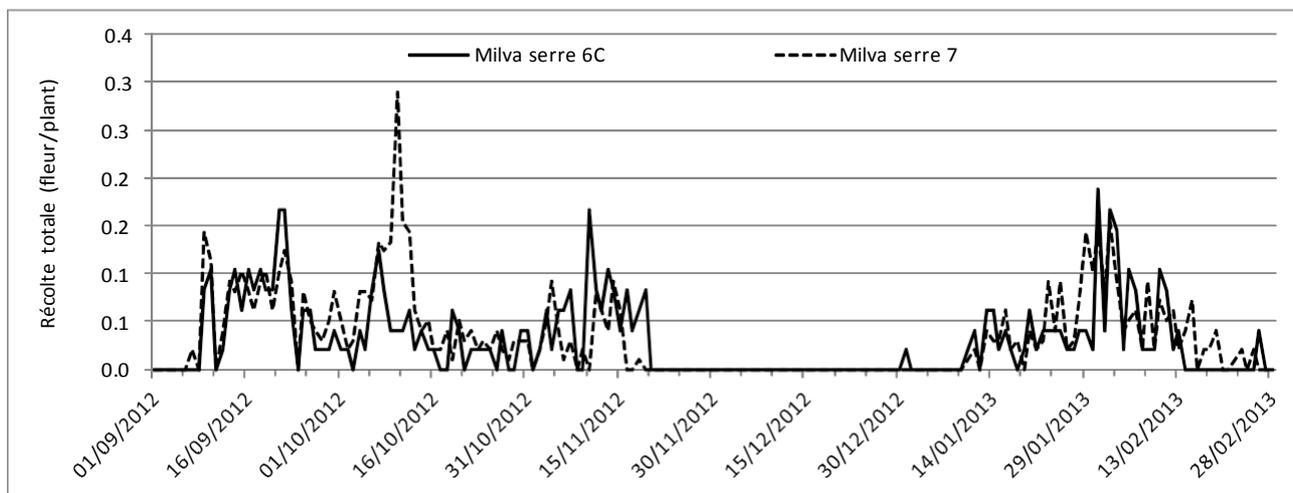
Le rappel de la stratégie adoptée afin d'étaler la production de fleurs pour faciliter son écoulement commercial permet d'expliquer les vagues de production observables sur les 2 figures suivantes.

Pour les variétés à gros boutons, dont Sweet Avalanche, l'objectif des coupes est Noël, avec une production régulière en continu durant l'automne puis un pincement fin octobre. Les vagues de production sont quasiment simultanées dans les 2 serres et il n'apparaît pas de différence hormis de possibles variations de rendement. Notons que la vague de Noël est arrivée un peu en retard (de près de 10 jours).

Pour les autres variétés, dont Milva, l'objectif des coupes est la Saint Valentin, avec une production régulière en continu durant l'automne puis un pincement mi-novembre. Comme précédemment il n'y a pas de différence de calendrier de production entre les 2 serres. La vague de la Saint Valentin est arrivée dans les temps dans les 2 unités.

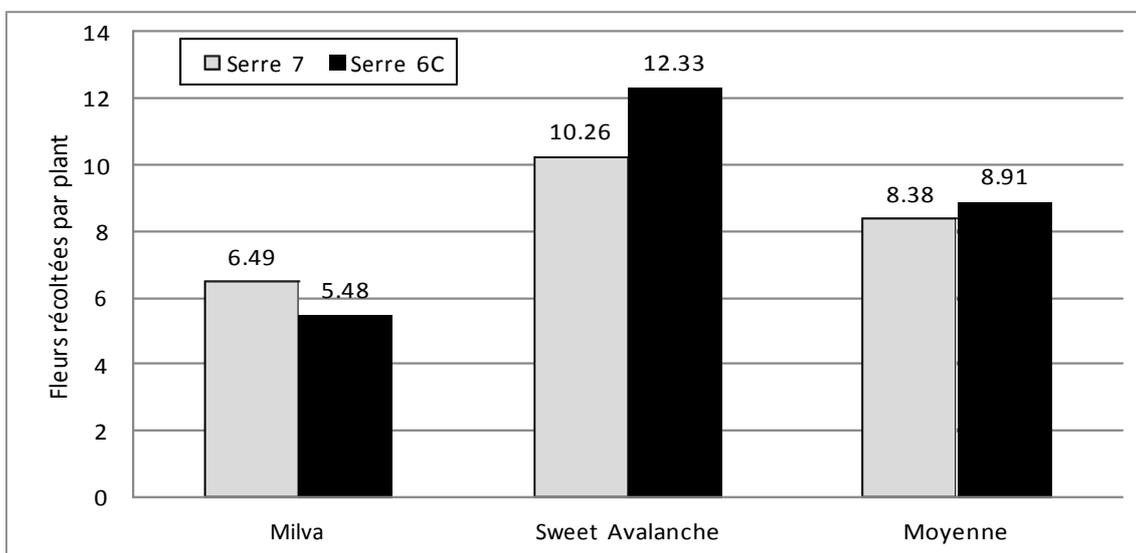


Visualisation des vagues de production de la variété Sweet Avalanche dans les 2 serres



Visualisation des vagues de production de la variété Milva dans les 2 serres

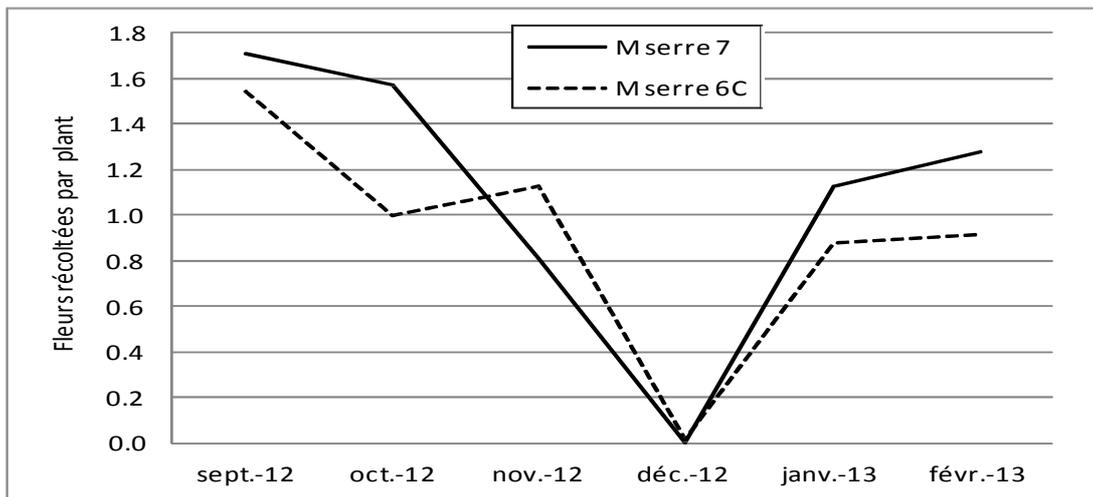
Les résultats de production de septembre 2012 à février 2013 sont présentés dans les figures et le tableau ci-après. A partir du début de l'automne nous avons débuté une conduite en coupe des rosiers, ce qui explique la faible production en novembre et décembre.



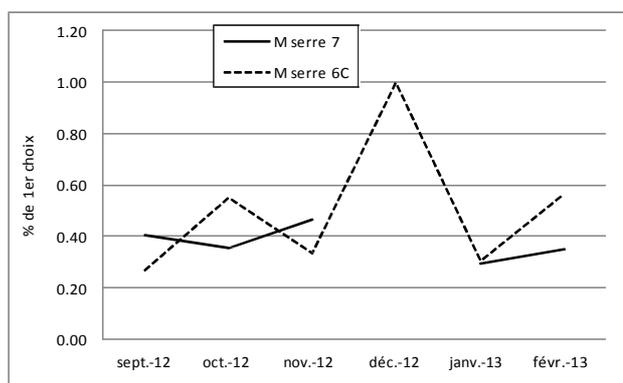
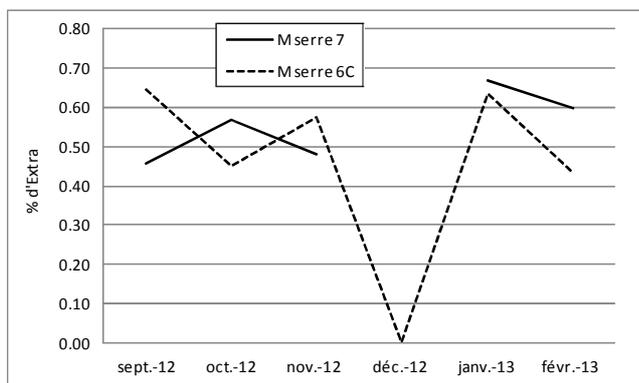
Rendement total par serre et par variété de septembre 2012 à février 2013

Production par plantes durant la campagne 2012- début 2013 des diverses parcelles en essai.

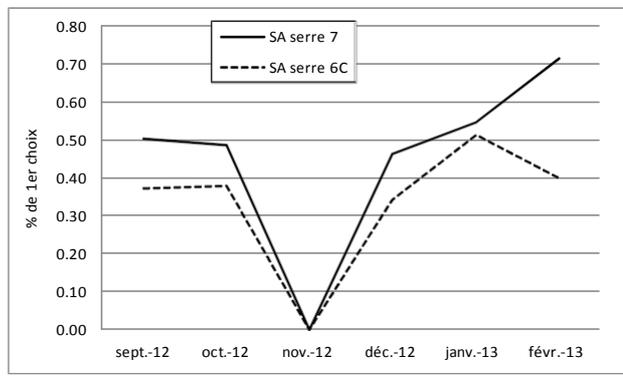
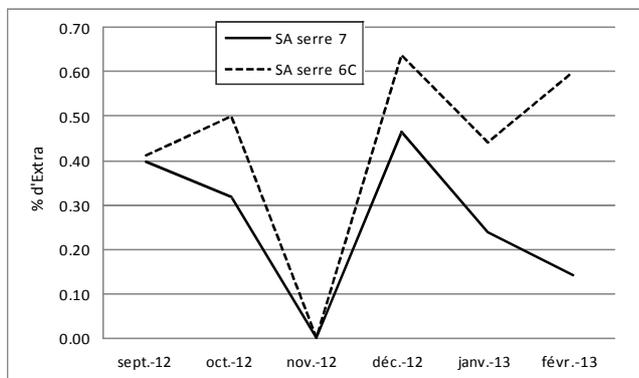
Parcelles	2012				2013		%	% 1 ^{er}	% 2 ^{ème}	Long en cm	Fleur/plant Total
	09	10	11	12	01	02					
Sweet A. 7	2.5	3.1	0	1.6	2.8	0.3	31	54	15	58	10.3
Sweet A. 6	3.4	2.6	0	1.8	4.1	0.5	52	40	8	61	12.3
Milva 7	1.7	1.6	0.8	0	1.1	1.3	55	37	8	64	6.5
Milva 6	1.5	1	1.1	0	0.9	0.9	46	50	4	67	5.5
Serre 7	2.1	2.4	0.4	0.8	2.0	0.8	43.0	45.5	11.5	61.0	8.4
Serre 6	2.5	1.8	0.6	0.9	2.5	0.7	49.0	45.0	6.0	64.0	8.9



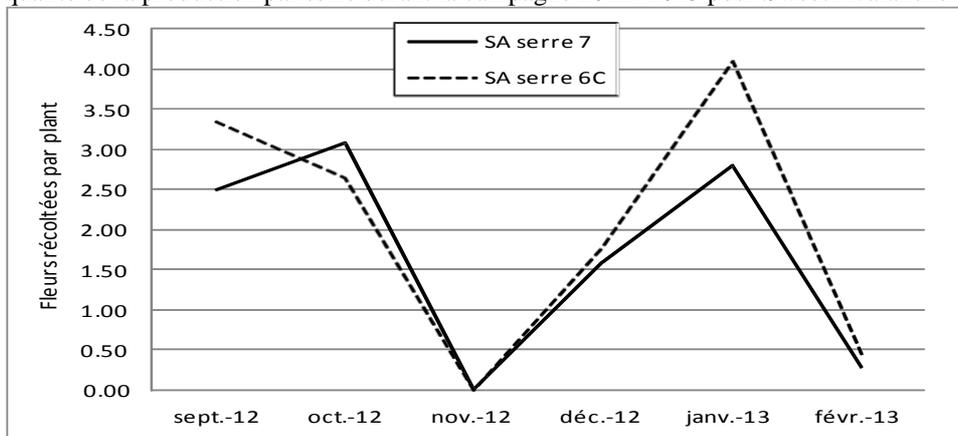
Evolution du rendement par serre durant la campagne 2012- 2013 pour la variété Milva



Evolution de la qualité de la production par serre durant la campagne 2012- 2013 pour la variété Milva



Evolution de la qualité de la production par serre durant la campagne 2012- 2013 pour Sweet Avalanche+



Evolution du rendement par serre durant la campagne 2012- 2013 pour la variété Sweet Avalanche+

Comme en hiver 2011-2012, le rendement Sweet Avalanche de la serre 6 est supérieur à celui de la serre 7, mais l'écart entre les 2 serres s'est réduit (2 fleurs contre 6 l'an dernier). Les fleurs y sont plus longues et de meilleure qualité, avec un plus fort taux d'extra et un plus faible taux de 2^{ème} choix.

A l'inverse, le rendement sur Milva est sensiblement supérieur dans la serre 7 (+1 fleur) tout comme le taux d'extra. Sur cette variété la longueur reste supérieure dans la serre 6 qui présente aussi un plus faible taux de 2^{ème} choix.

Les différences observées entre parcelles peuvent s'expliquer par la position des parcelles dans les serres et par la structure des serres. Toutes variétés confondues, si les productions des 2 serres restent très proches, la serre 6 confirme un léger gain en rendement et en qualité (% extra et longueur) déjà noté en 2011-2012.

D'un point de vue sanitaire, malgré un automne très doux et humide (Cf. annexe), la qualité des roses a été normale et aucun symptôme de botrytis n'a été signalé en serre, ni lors de la vente des fleurs à la SICA MAF d'Hyères.

2.4. RESULTATS DE LA COMPARAISON CLIMATIQUE

2.4.1. FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL

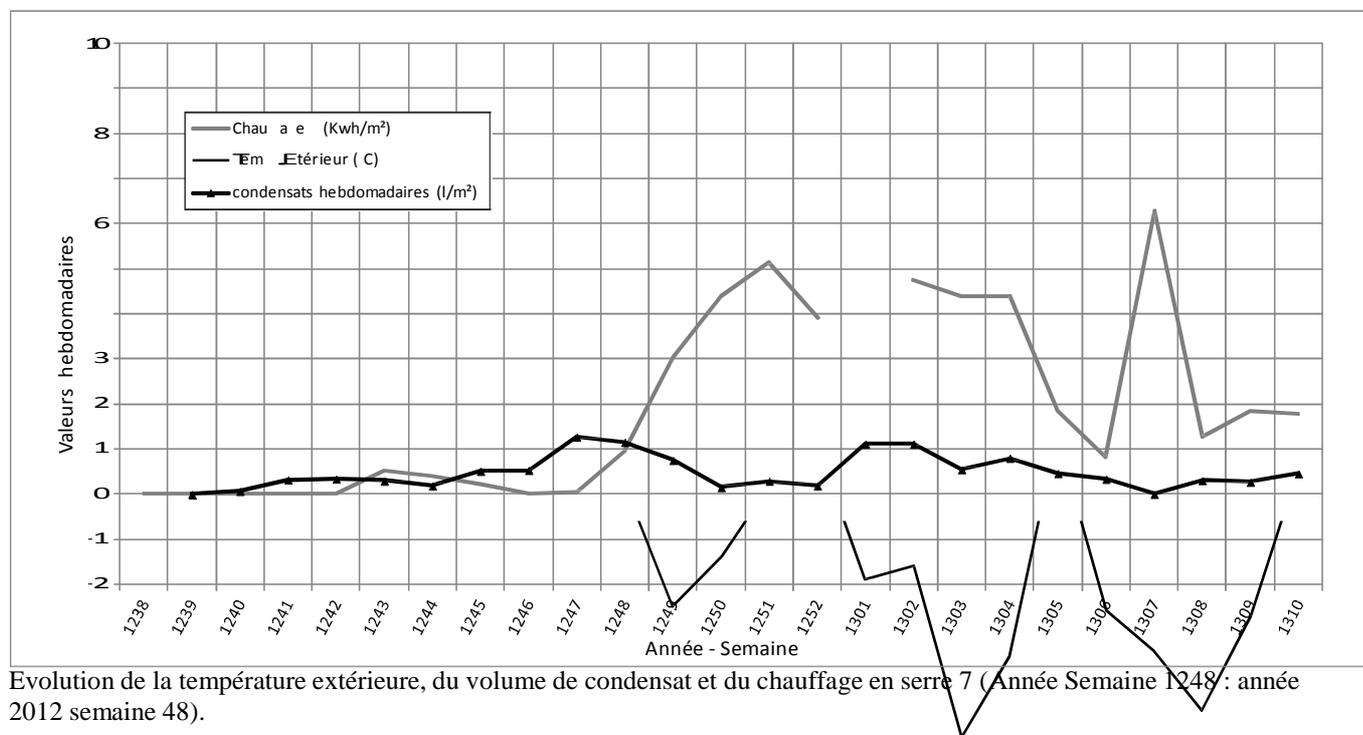
En préambule à l'analyse des données climatiques, la figure suivante présente les périodes de chauffage de la serre 7 (très proches de la serre 6, nous le verrons plus tard), et les condensats issus de l'appareil (ce qui traduit sa période de fonctionnement).

L'automne – hiver 2012-2013 a été très doux avec des températures moyennes extérieures supérieures à 10°C jusqu'en fin novembre. Trois périodes froides ont été relevées, une petite en semaine 49 (8°C) et 2 des semaines 1 à 9, avec des températures moyennes tout de même clémentes (5°C).

En début de culture l'appareil a fonctionné régulièrement avec des volumes de condensats de l'ordre de 0.3 l/m² de serre. Un pic de fonctionnement s'observe des semaines 46 à 48 (11 novembre à début décembre).

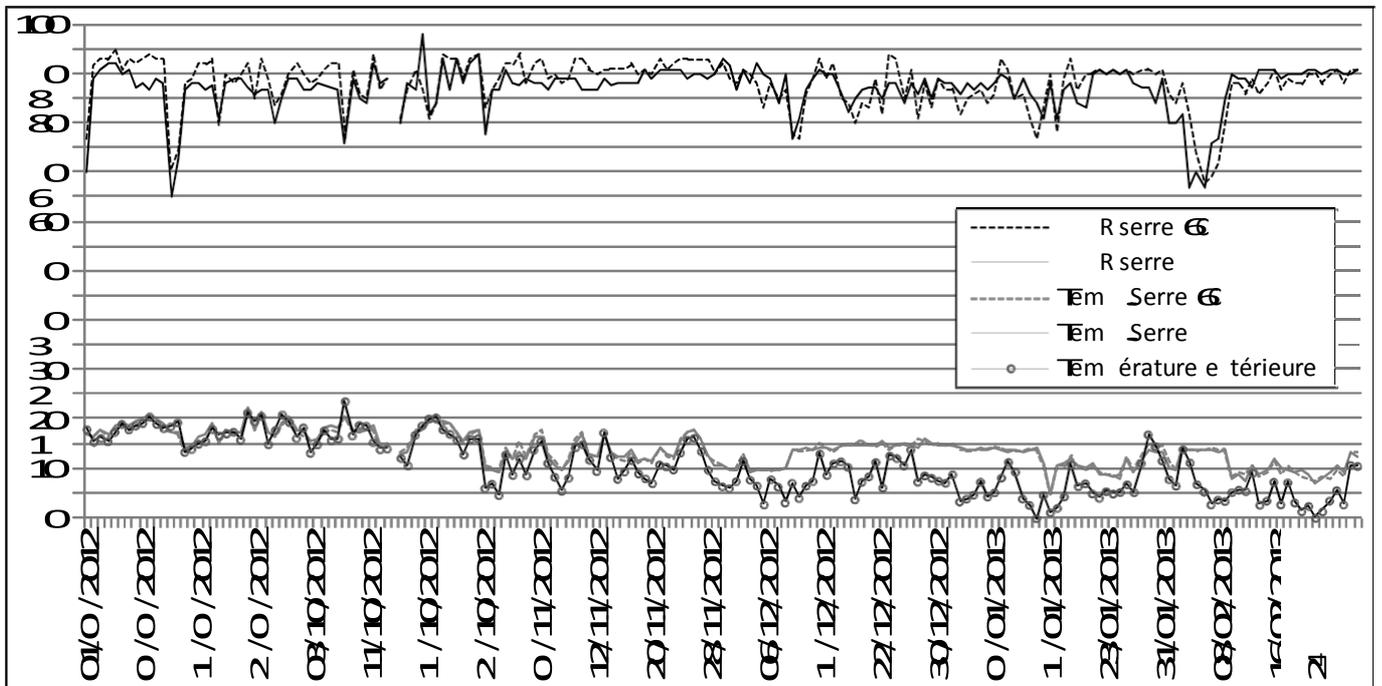
C'est avec les premiers froids vers la semaine 48 que le chauffage par thermosiphon débute et que l'usage du déshumidificateur est réduit. Au début de l'année 2013 on note un deuxième pic de fonctionnement (près de 1.1 l/m²) puis une activité régulière au environ de 0.3 l/m² (sauf semaine 07 avec un pic de chauffage).

Notons que la température extérieure oblige à un chauffage régulier à partir de la semaine 50-2012.



Evolution de la température extérieure, du volume de condensat et du chauffage en serre 7 (Année Semaine 1248 : année 2012 semaine 48).

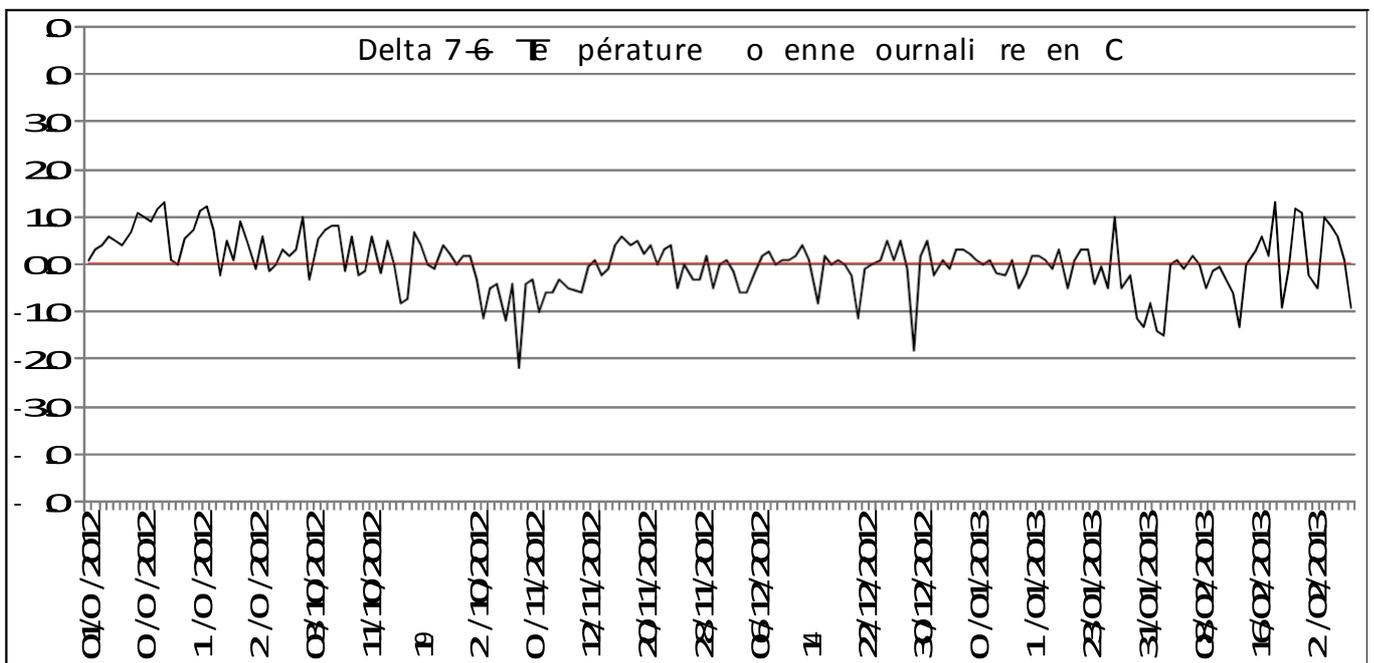
Les moyennes journalières de température et d'humidité relative sont présentées dans la figure suivante. On observe notamment des différences de comportement des serres en termes d'HR, avec un basculement au début de décembre (semaine 49) lorsque la température extérieure chute régulièrement en dessous de 10°C.



Evolution de la température extérieure, de la température et de l'HR par serre de septembre 2012 à mars 2013.

2.4.2. ANALYSE DE LA TEMPERATURE

La différence de température moyenne entre la serre 7 et la serre 6 (nommée 'Delta 7-6') est relativement faible. Outre une panne informatique sur la gestion des ouvrants serre 7 en semaine 44 (du 29-10 au 5-11) qui a généré un écart régulier de près de 1°C, on peut tout au plus noter une température sensiblement supérieure dans la serre 7 en début de campagne (jusqu'à la mi-octobre). Cela peut s'expliquer par une aération moins performante dans cette serre.



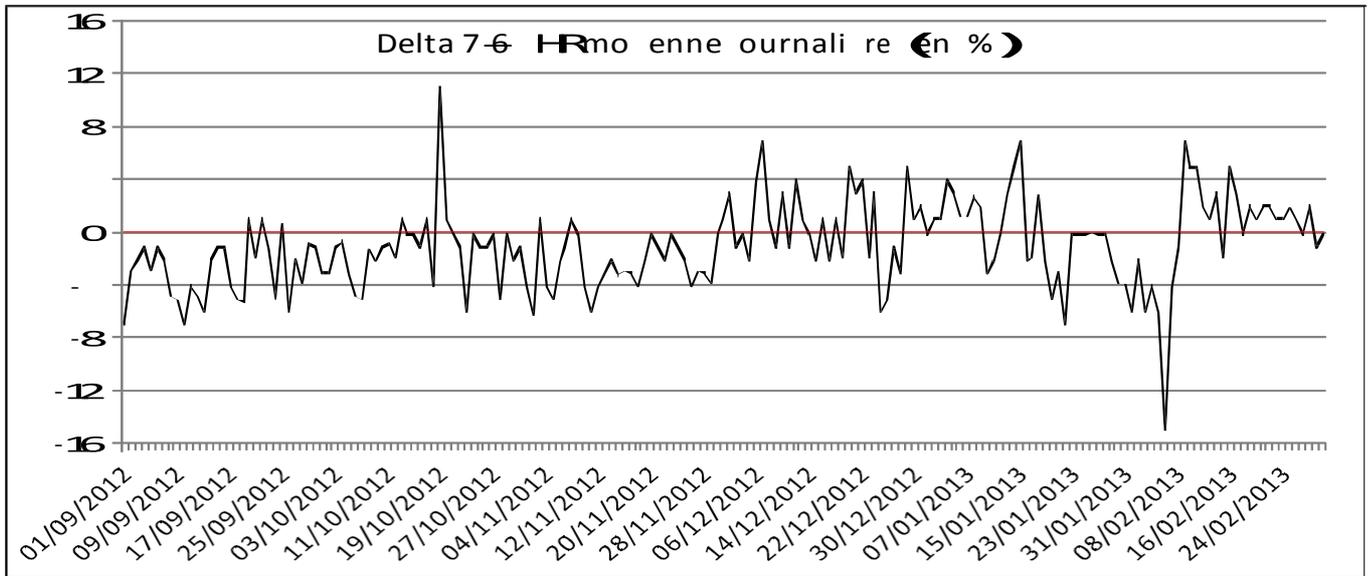
Evolution de la différence de température journalière moyenne entre la serre 7 et la serre 6.

2.4.3. ANALYSE DES PARAMETRES HR ET DH

Les différences d'HR ou de DH (déficit hydrique) entre la serre 7 et la serre 6 (nommées 'Delta 7-6') présentent les mêmes caractéristiques.

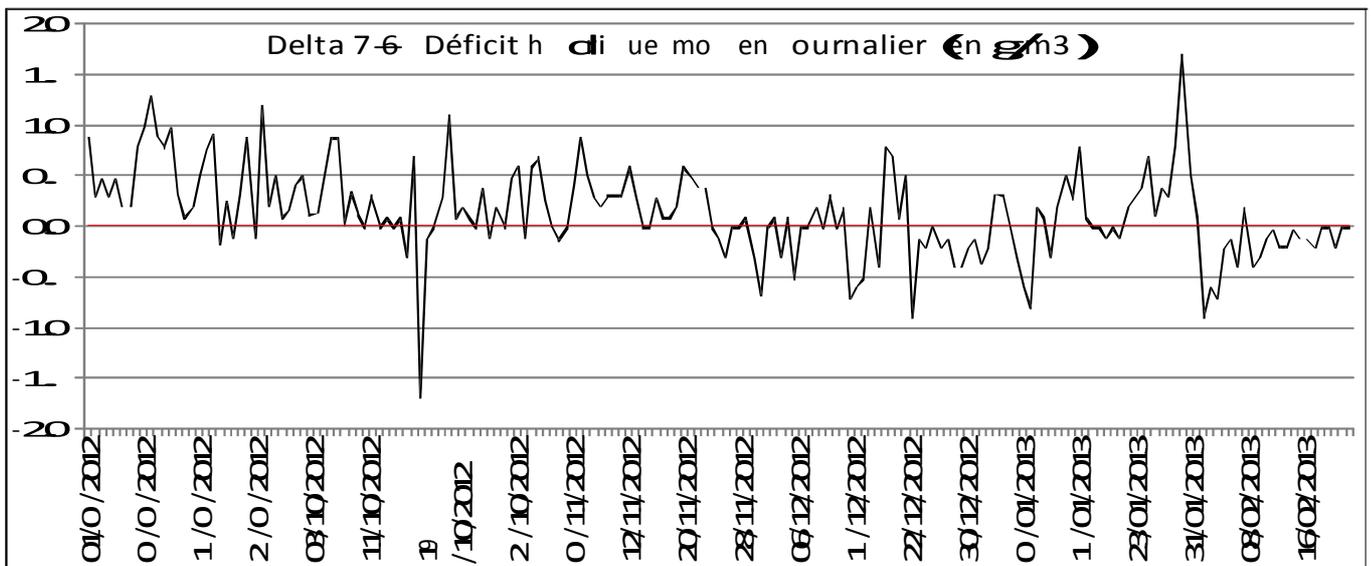
Hormis une panne du déshumidificateur le 18-10-2012 (mise en sécurité), l'HR de la serre 7 est systématiquement inférieure à celle de la serre 6, et le DH y est systématiquement supérieur.

A partir du début décembre, et l'usage plus régulier du chauffage, la différence entre les serres oscille autour de 0 dans l'un ou l'autre sens.



Evolution de la différence d'humidité relative (HR) journalière moyenne entre la serre 7 et la serre 6.

Jusqu'au début décembre 2012, le climat de la serre 7 a été géré en utilisant le déshumidificateur. Durant cette période, la production de fleurs a été intense aussi les observations permettent de valider les conclusions suivantes. Le résultat sanitaire a été positif et l'analyse des courbes climatiques montre que l'HR a très bien été contrôlée, mieux que dans la serre 6. L'appareil a permis d'entretenir un DH proche de 0.3 g/m^3 , ce qui est bon pour l'activité des plantes. Les données de cette campagne permettent donc de valider l'adaptation de l'appareil à notre serre de 450 m^2 de rosier pour la fleur coupée. L'efficacité de l'appareil est donc prouvée, tout comme son intérêt technique pour gérer l'humidité de la serre.



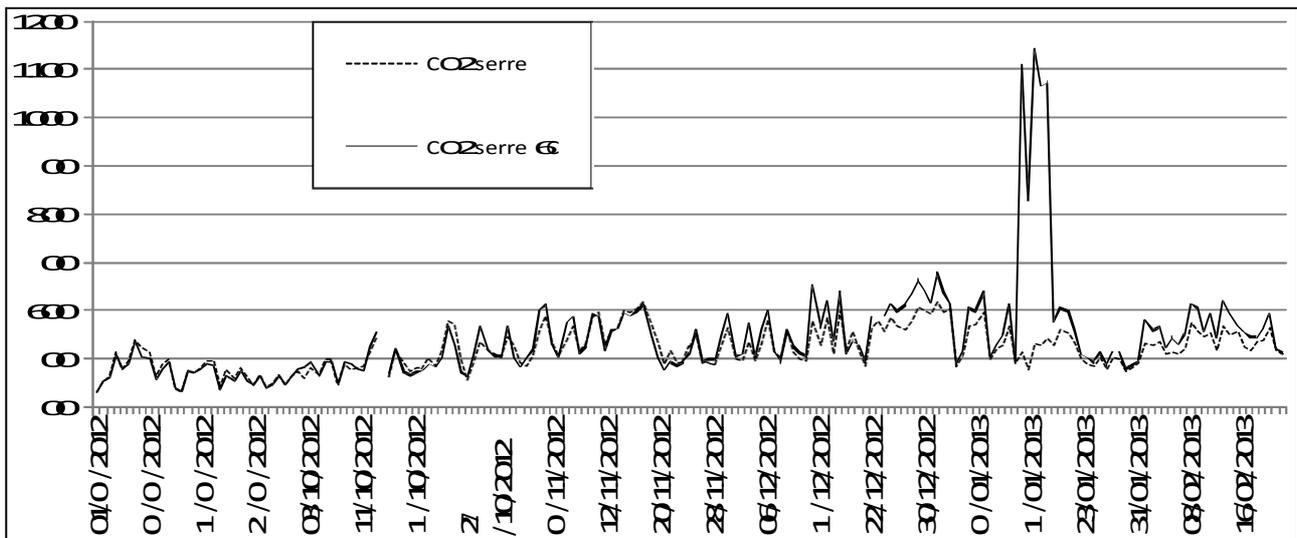
Evolution de la différence de déficit hydrique (DH) journalier moyen entre la serre 7 et la serre 6.

2.4.4. ANALYSE DE LA TENEUR EN CO₂

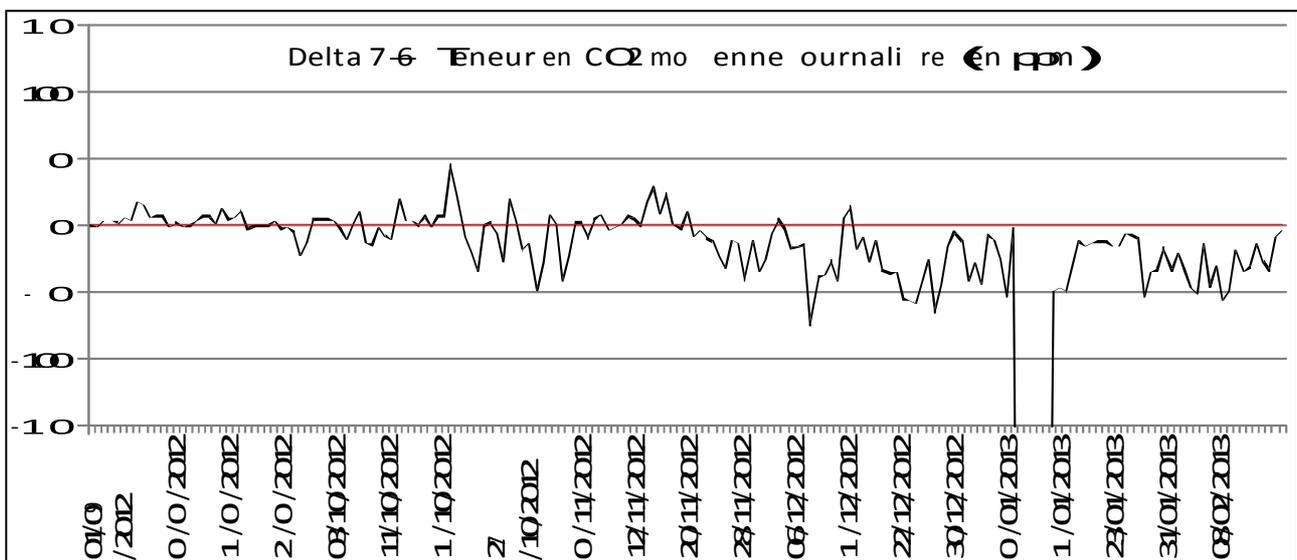
La teneur journalière moyenne en CO₂ est présentée dans les 2 figures ci-dessous, et 2 points sont à noter. D'une part un accident d'injection pendant 1 semaine en fin janvier. D'autre part le fait que cette moyenne inclut la teneur en CO₂ du jour (dont l'origine est l'injection ou l'aération de la serre) et de la nuit (dont l'origine vient des plantes ou de l'aération de la serre). La différence entre les 2 serres ne provient donc pas uniquement d'un traitement différent de l'injection. La valeur moyenne journalière est d'ailleurs souvent inférieure à la consigne d'injection de 600 ppm (courte période d'injection conjuguée à la réduction de la consigne lors des journées couvertes).

Vu la précision des analyseurs de CO₂, la teneur peut être considérée comme semblable dans les 2 serres. Elle est d'ailleurs quasiment identique jusqu'à la fin novembre.

A partir de début décembre, la teneur est systématiquement supérieure dans la serre 6, ce qui marque probablement une tendance particulière. L'explication reste toutefois délicate : différence d'injection le jour, étanchéité plus faible de la serre 7 lorsque l'on chauffe, végétation différente dans les serres, etc. ? Une autre raison pourrait être que la concentration de CO₂ rejeté la nuit est supérieure sous l'écran thermique de la serre 6 car le volume y est plus restreint ?



Evolution de la teneur en CO₂ journalière moyenne dans les 2 serres

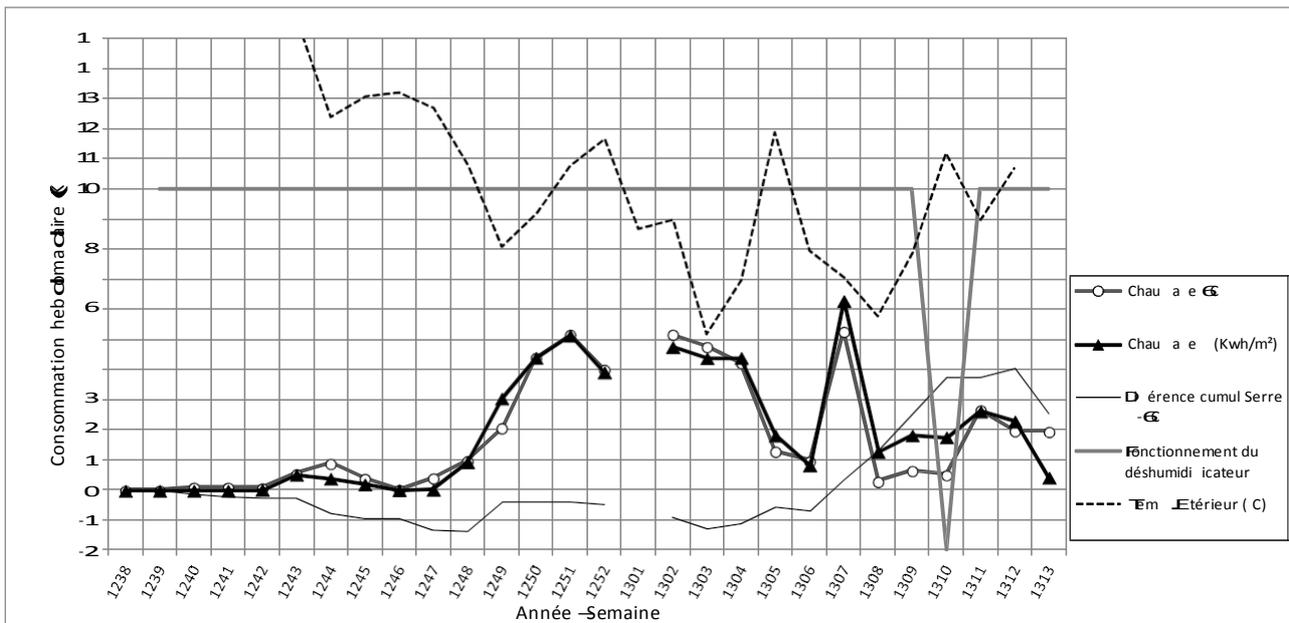


Evolution de la différence de la teneur en CO₂ journalière moyenne entre la serre 7 et la serre 6.

2.5. RESULTATS ENERGETIQUES

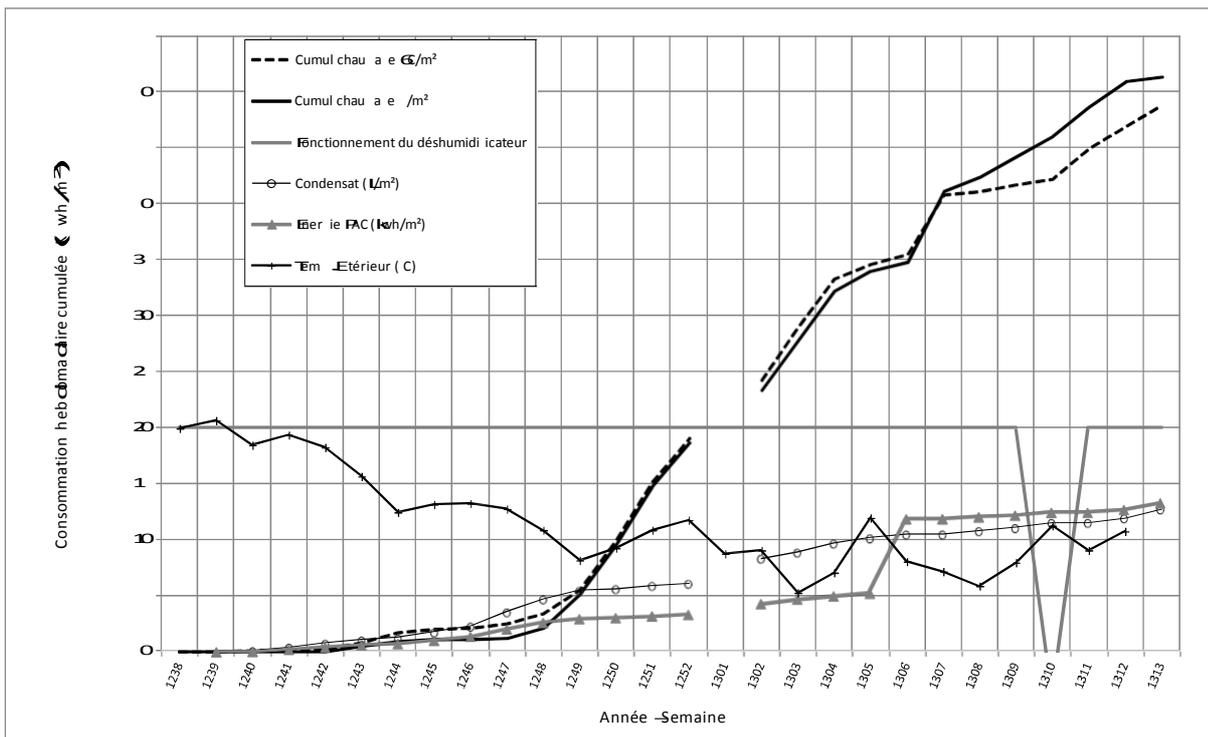
La fin de l'année 2012 a été exceptionnellement douce (tout comme celle de 2011) et une seule vague de froid a été notée durant les 15 premiers jours de décembre (Cf. figure ci-après). Les courbes de chauffage des 2 serres sont alors quasiment identiques jusqu'en semaine 8 de 2013 (fin février), ce qui correspond à la période étudiée pour ce rapport 2012.

La courbe présentant la différence de cumul énergétique entre la serre 7 et la serre 6 ne rejoint 0 qu'en semaine 7-2013, ce qui signifie que jusque là, la consommation énergétique cumulée du chauffage thermosiphon de la serre 7 était toujours inférieure à celle de la serre 6. La différence entre les 2 serres est toujours faible et jusqu'en semaine 7 l'écart n'évolue que petit à petit. Sur une grande partie de l'automne hiver 2012-2013, la conduite de la serre 7 a donc nécessité moins de gaz que celle de la serre 6.



Evolution hebdomadaire des consommations énergétiques pour le chauffage par thermosiphon selon les serres.

Nous ne retrouvons pas comme en 2011-2012 une grande différence du au chauffage de la serre 7. Sur la figure suivante des chauffages cumulés, ce type de différence n'apparaît qu'à partir de la semaine 8-2013, lorsque la température extérieure moyenne chute.



Cumul des consommations énergétiques pour le chauffage par thermosiphon et pour le fonctionnement de la Pompe à chaleur (PAC) selon les serres.

A la fin février 2013 (S 1309), la consommation de chauffage/ déshumidification de la serre 6 est de 41.73 kWh/m² d'origine 'gaz'. Pour la serre 7, cette consommation est de 44.25 kWh/m² à laquelle il faut ajouter 12.8 kWh/m² d'énergie électrique.

Bien que la période soit considérée comme douce, la consommation est supérieure à celle de 2011-2012, et la saison n'est pas encore finie. Nous dépasserons donc notre objectif de 50 kWh/m².

Contrairement à la précédente campagne, la consommation de chauffage de la serre 7 est semblable à celle de la serre 6, malgré une situation défavorisée : coin coté Est, sans aucun enclavement. Quelle part de ce résultat est-elle due à l'emploi de la PAC ?

Si l'efficacité technique du déshumidificateur est nette, son intérêt économique dépend exclusivement du coût de l'énergie 'gaz' qu'il permet d'économiser. Si ce coût est supérieur au coût de l'énergie électrique nécessaire et de l'amortissement de l'appareil, alors l'investissement est rentable.

Pour estimer l'intérêt économique du déshumidificateur il est indispensable de connaître la consommation que nous aurions eue dans la serre 7 avec la même gestion climatique que la serre 6. Connaissant la différence de comportement entre les structures, exprimée en % d'Énergie Supplémentaire dans la serre 7 (noté % ES7), nous pourrions alors élaborer un 'seuil de rentabilité' de la PAC.

Au 1^{er} mars 2013, en considérant équivalents les 'kWh gaz' et les 'kWh électriques' (ce qui est faux), la serre 7 a consommé 15.3 kWh/m² de plus que la serre 6, soit 37 % d'énergie en plus. Pour obtenir une rentabilité de la gestion avec la PAC il faudrait donc qu'au minimum %ES7 = 37 %.

Les années précédentes nous avons estimé que la situation de la serre 7 nécessitait près de 20% d'énergie en plus, ce qui ferait près de 8.5 kWh/m². Dans un tel cas, le fonctionnement électrique de l'appareil dépasse à lui seul l'économie théorique engendrée, et nous sommes loin des 37% nécessaires. La rentabilité ne semble pas atteinte.

Toutefois nous avons estimé ce pourcentage de 20 % dans le cadre de conduites moins économes, et avec des climats extérieurs différents. Mais en fait la différence de comportement entre les 2 structures n'est pas linéaire. Elle est fonction du différentiel de température entre la serre et l'extérieur (consignes, la température extérieure), de la couverture nuageuse et de l'hygrométrie extérieure (pluie, entrées d'air marin).

Rien ne permet de dire si, dans le cadre d'une conduite économe telle que nous la réalisons, % ES7 n'est pas supérieur à 20%. Cela est peut-être peu probable, mais il faudra le vérifier. En attendant la rentabilité de l'investissement demeure une inconnue, avec un a priori plutôt négatif.

3. BILAN ACTUEL ET PERSPECTIVES

Sur l'ensemble de l'année 2012, nous avons pu démontrer la faisabilité de conduites très économes en énergie. L'application des résultats de 2011 a permis de progresser dans la connaissance de l'appareil et son emploi dans le cadre de telles pratiques.

Pour le début de la campagne 2012-2013, nous avons eu une période climatique encore particulière avec peu de basses températures mais une moyenne tout de même inférieure à 2011-2012. Dès lors, même si l'ensemble paraît humide et doux, les consommations sont en hausse par rapport à la précédente campagne 2011.

Le nouveau mode de gestion du déshumidificateur a permis d'utiliser l'appareil durant toute la période, et de mieux le valoriser. Il s'en suit une hausse de la consommation électrique au 1^{er} mars qui a plus que doublé.

L'étude du fonctionnement permet déjà de valider l'intérêt technique de l'appareil pour ce qui est de la gestion de l'humidité relative ou du déficit hydrique. Malgré la limite de fonctionnement de 10°C, la gestion climatique avec ce type de PAC est réalisable en culture de roses pour la fleur coupée, et elle a donné des résultats positifs, conformes aux attentes.

Par contre, la rentabilité d'un tel investissement reste encore une inconnue.

Elle semble tellement limitée dans nos conditions actuelles qu'il est alors nécessaire de mieux connaître la différence de comportement des serres afin de mieux chiffrer l'apport du déshumidificateur. Il faudra donc prévoir en 2013 une phase d'étude des 2 serres avec une conduite identique, étude qui devra permettre de définir le % d'énergie supplémentaire nécessaire à la serre 7. A défaut d'obtenir une valeur définitive, il s'agira de l'évaluer en fonction du type de climat rencontré, car il faut bien reconnaître qu'entre 2011 et 2012 nous avons eu des climats différents et des comportements de serre différents.

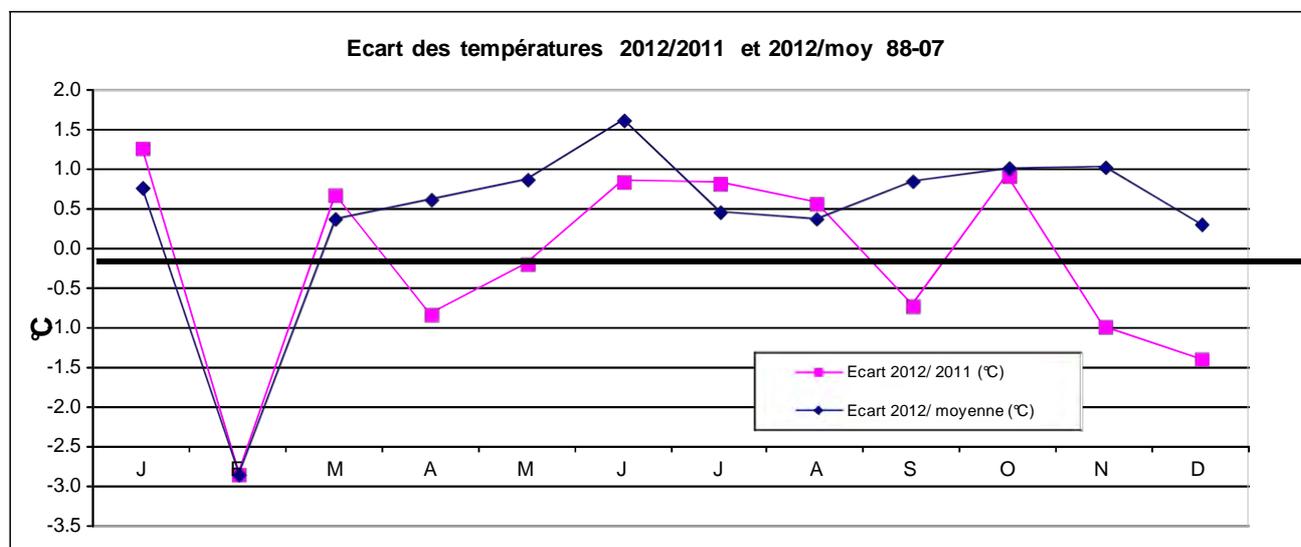
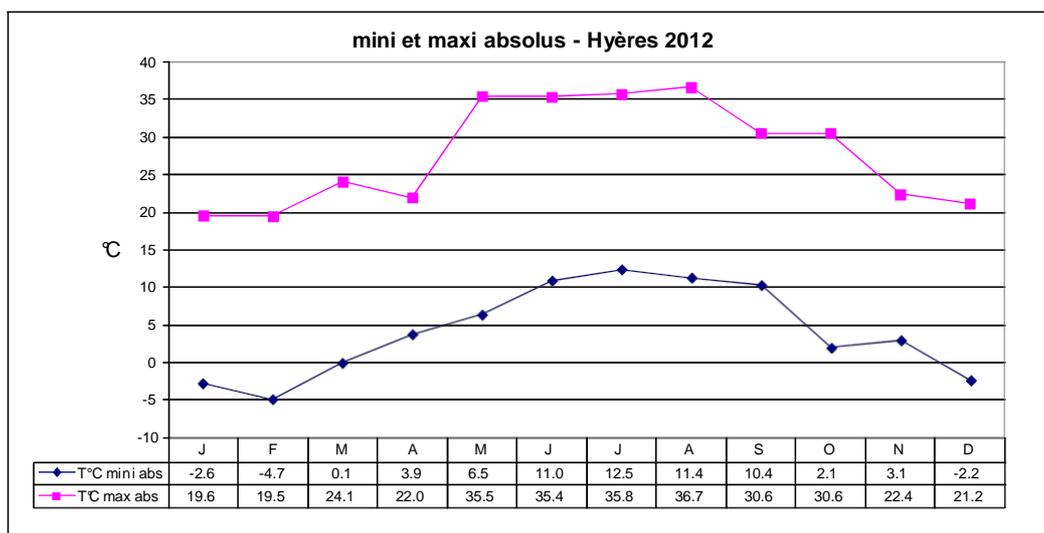
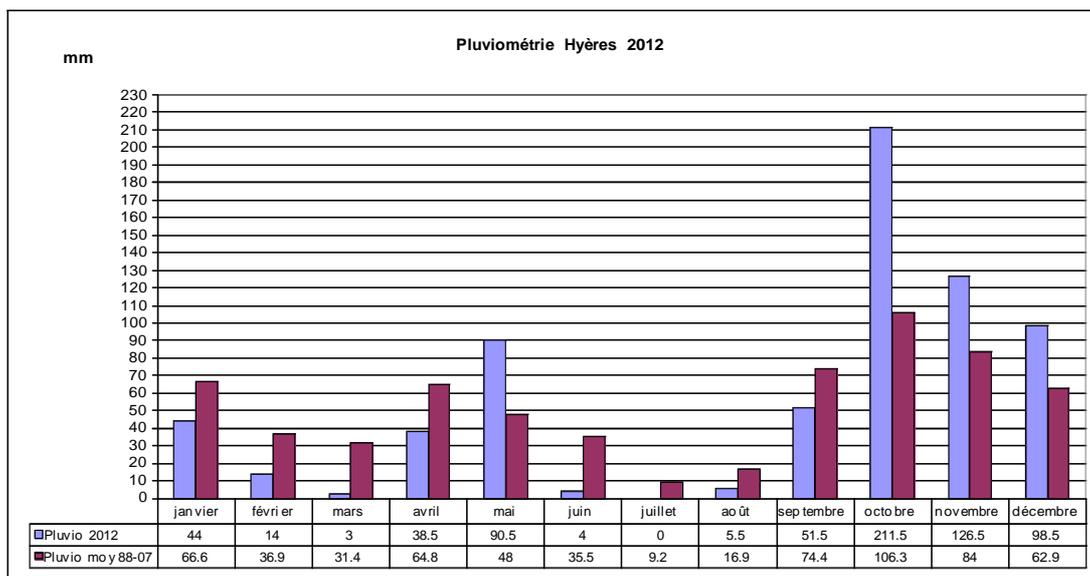
Si l'intérêt de l'appareil semble économiquement compromis pour nos consommations énergétiques déjà assez basses (110 kWh/m² en serre chauffée) l'appareil a montré sa capacité à créer du Déficit Hydrique (DH), intérêt qui pourrait ne pas être négligeable sur des systèmes plus chauffés.

En effet la rentabilité de l'appareil n'est peut-être pas à chercher sur l'économie d'énergie 'gaz' en système économe mais plutôt sur des gains en qualité et productivité de systèmes chauffés (16°C de moyenne) non éclairés, par rapport à un témoin éclairé... une voie à envisager.

ANNEXE

DONNEES CLIMATIQUES SUR HYERES EN 2012

Par rapport à la moyenne, une fin d'année pluvieuse, couverte, douce... mais plus froide qu'en 2011.



CATE

Station Expérimentale de Vézendoquet - 29250 ST POL DE LEON

ETUDE D'UNE CONDUITE CLIMATIQUE ECONOMOME EN ENERGIE ET DE LA DESHUMIDIFICATION PAR DESHUMIDIFICATEUR THERMODYNAMIQUE EN FLEURS COUPEES

A - -

I - OBJECTIF

L'objectif de cet essai est de vérifier la possibilité d'utiliser une conduite de serre économe en énergie en fleurs coupées lorsqu'elle est associée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique.

La conduite économe en énergie étudiée dans cet essai est basée sur :

- la diminution des consignes de chauffage.
- l'augmentation du confinement de la serre par l'accroissement des écarts entre les consignes de chauffage et d'aération.
- l'augmentation des écarts de température entre le jour et la nuit, en particulier par journée ensoleillée pour conserver la chaleur gratuite provenant de l'ensoleillement.
- La compensation des températures moyennes/24 H sur des durées de plusieurs jours : les températures plus élevées des jours ensoleillés compensant les températures plus faibles des jours couverts.

Or, une conduite économe en énergie accroît la fréquence des périodes où l'hygrométrie est excessive dans la serre et augmente donc fortement les risques de maladies et de problèmes physiologiques pour les cultures de fleurs coupées qui sont sensibles à ces problèmes.

Aussi, associer ce type de conduite à l'utilisation d'une méthode de déshumidification elle même plus économe en énergie que la méthode traditionnelle basée sur le chauffage et l'aération, pourrait être un moyen de diminuer les risques techniques induits par ces conduites.

Mais, cette conduite globale de gestion différenciée de la température et de l'hygrométrie n'a été évaluée que sur Lisianthus, espèce exigeante en température. Les premiers résultats sont très encourageants. Cette stratégie reste à évaluer pour une gamme plus large d'espèces de fleurs coupées aux exigences différentes.

En 2012, cette évaluation est donc réalisée sur 3 cultures successives de fleurs coupées qui font l'objet d'une rotation dans la même serre : la Giroflée, le Tournesol et la Célosie. Le Giroflée et le Tournesol sont des espèces moins exigeantes en température que le Lisianthus ou la Célosie.

II - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Modalités étudiées

Mise en place d'une expérimentation système à la station du CATE dans un compartiment de serre verre de 192 m² conduit en pleine terre avec une rotation de fleurs annuelles.

L'étude porte sur l'évaluation d'une conduite climatique économe en énergie couplée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique pour la déshumidification de l'air pour 3 cultures successives :

- Une culture de Giroflée pour la période allant de la semaine 42 de 2011 à 14 de 2012. Pour une culture d'hiver visant une production de fin d'hiver-début de printemps et avec la gamme de variétés utilisée, cette culture nécessite en principe un chauffage minimum à 10-12°C dans le nord-ouest de la France.

- Une culture de tournesol pour la période allant de la semaine 14 à la semaine 28 de 2012. Cette espèce estivale est moyennement exigeante en température. Pour une plantation précoce sous serre et dans le but d'accomplir le cycle sur une durée imposée de 12 à 14 semaines, un chauffage de 10 à 12°C est nécessaire au début de la culture.
- Une culture de Célosie pour la période allant de la semaine 29 à la semaine 44 de 2012. Cette espèce a des besoins élevés en températures. Sa culture sous serre en été permet limiter l'utilisation du chauffage. Toutefois, si le cycle se poursuit sur septembre et octobre, le chauffage de la serre est nécessaire.

Conduites climatiques retenues :

Pour les conduites économes des Giroflées et les Tournesols, la plupart du temps, les consignes de chauffage n'ont pas été descendues aussi bas qu'il aurait été possible de le faire car le déshumidificateur thermodynamique utilisé nécessite pour fonctionner une température minimum de 10°C. Lorsque les consignes de chauffage ont malgré tout été abaissées à un niveau inférieur à 10°C du fait des exigences des cultures, le déshumidificateur thermodynamique a été arrêté et dans ce cas, la gestion de l'aération a été optimisée pour éviter d'avoir un climat trop confiné.

Les ordres de grandeur des consignes de chauffage et d'aération appliquées ont été les suivantes :

Culture	Giroflée	Tournesol	Célosie
Période	De mi-novembre 2011 à début avril 2012	De début avril à mi-juillet 2012	De mi-juillet à fin octobre 2012
Température de chauffage J / N	12°C à 8°C	12°C à 5°C	16°C / 12°C
Température d'aération J / N	20°C à 10°C	20°C à 8°C	22°C à 16°C
Seuil d'hygrométrie pour la mise en marche du déshumidificateur	Seuil machine : 75 % soit seuil ordi climatique (mesure psychrométrique) : 85 %		
Nombre d'heures de fonctionnement Programmées du déshumidificateur et mode de fonctionnement	De 6 à 9 heures /24H la nuit, au lever du jour et le jour	De 4 à 6 heures /24H la nuit et au lever du jour	De 4 à 6 heures /24H la nuit et au lever du jour
	Fonctionnement par intermittence par périodes de 1 heure de fonctionnement suivies d'1 heure d'arrêt		

Pas d'éclairage photosynthétique ni photopériodique. Pas d'écran thermique.

Système de culture

- Culture en pleine terre sur des planches de 1 m de large à une densité de 64 plantes /m² avec mise en place de jeunes plants élevés en plaques alvéolées. Pour chaque espèce, 5 variétés sont mises en place.
- Culture sous serre verre de 192 m² avec aération au faitage (1 ouvrant de chaque côté) et chauffage par tube d'acier.
- occupation continue de la serre par les 3 cultures successives.

Dispositif

Essai système à 1 facteur et 1 répétition. Parcelles expérimentales de 15 m² soit 960 plants/parcelle. 5 modalités. 5 parcelles. 75 m² de planche cultivée au total, 105 m² d'essai dans un compartiment de serre de 192 m².

Mesures et observations

Comptage et classement des fleurs récoltées en catégories de qualité selon le cahier des charges mis en place. Mesure du nombre de fleurs commercialisables. Planning de récolte. Mesure des consommations énergétiques pour la déshumidification. Enregistrement des données climatiques de la serre et extérieures. Simulation de la consommation énergétique pour le chauffage par un modèle de consommation énergétique.

III - CONDUITE DE LA CULTURE

Culture sous serre verre. 1 compartiment de 192 m².

Culture en pleine terre. Sol limono-sableux. Amendement organique avant la plantation.

Matériel végétal : jeunes plants en plaques alvéolées de 600.

Culture en planche de 1 m de large. Densité de plantation : 64 plants/m².

Palissage par 1 ou 2 grillages de 8 mailles de 12,5 x 12,5.

Irrigation par aspersion au départ puis au goutte à goutte. 4 lignes de goutteurs/planche d'1 m. 1 goutteur/40 cm.

Fertilisation lors du travail du sol : 3 kg/are de Nitrophoska perfect (15-7-15) + 1,5 kg /m² de Végéthumus.

Fertilisation en cours de culture : par solution nutritive (1 bac) à une EC apport = 1,2-1,6 mS.

Le calendrier de culture de la succession culturale mise en œuvre depuis la fin de l'année 2011 a été le suivant :

1- Giroflée d'hiver (variétés de la gamme Early Jordan)

Plantation : sem 42 / 2011

Récolte : mars 2012

Fourniture des plants : Plants et services - Combinaisons

Période	De mi-octobre à janvier	janvier	Février	Mars
Température de chauffage J / N	12°C / 12°C	12°C / 10°C	8°C / 8°C	12°C / 10°C
Température d'aération J / N	20°C / 18°C	16°C / 14°C	12°C / 10°C	14°C / 14°C
Remarque	Pas d'éclairage photosynthétique			

2 – Tournesol SunRich Orange

Semis : sem 12 & 14 / 2012

Plantation : sem 14 & 16 / 2012

Récolte : fin mai à mi-juillet 2012

Fourniture des graines : Voltz

Période	Avril	Mai	De juin à juillet
Température de chauffage J / N	12°C / 12°C	10°C / 10°C	5°C / 5°C
Température d'aération J / N	20°C / 16°C	14°C / 12°C	8°C / 8°C
Remarque	Pas d'éclairage photosynthétique		

3 – Célosie. Variétés de la gamme Chief (boules)

Plantation : sem 29 / 2012

Récolte : octobre 2012

Fourniture des plants : Florensis

Période	De mi-juillet à aout	Septembre	Octobre
Température de chauffage J / N	16°C / 16°C	14°C / 12°C	16°C / 14°C
Température d'aération J / N	22°C / 20°C	18°C / 16°C	18°C / 16°C
Remarque	Pas d'éclairage photosynthétique		

Déshumidificateur thermodynamique

Machine du type ETT Micro Hortidésu :

Débit d'air nominal soufflage en vrac : 2500 m³ /heure.

Poids d'eau évacué : 3,2 kg /heure à 10°C et 85 % d'HR
4,2 kg /heure à 15°C et 85% d'HR
6,6 kg /heure à 20°C et 85% d'HR

Température minimum de fonctionnement : 10°C

Puissance électrique du moteur du ventilateur : 0,55 KW

Puissance électrique du groupe frigorifique : 4,0 KW Puissance
 électrique totale 4,55 KW
 Longueur x Largeur x Hauteur 1520 x 900 x 550 mm
 Poids total : 130 kg
 Programmation : programmeur horaire + régulation sur hygrométrie
 et température

IV - RESULTATS ET DISCUSSION

Les observations concernant les cultures, le climat et le fonctionnement thermique de la serre permettent d'apporter de nombreuses informations sur l'intérêt de la déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique en production de fleurs coupées. Ces résultats ont été les suivants :

4.1. – Comportement agronomique et récolte de fleurs

Les résultats agronomiques moyens des différentes espèces cultivées ont été les suivants :

Cultures - Espèces	Nombre de fleurs récoltées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées / m ² de planche	% de fleurs commercialisables /nombre plants plantés	% d'extra /nombre de fleurs récoltées	% de 1 ^{er} choix /nombre de fleurs récoltées	% de 2 ^{ème} choix /nombre de fleurs récoltées	% de déchets
1 - Giroflée d'hiver	57 fleurs /m ²	44,2 fleurs /m ²	69,1 %	77,5 %	0 %	0 %	22,5 %
2 - Tournesol	62,5 fleurs /m ²	57,6 fleurs /m ²	89,9 %	76,0 %	16,1 %	0 %	7,8 %
3 - Célosie	55,7 fleurs /m ²	48,1 fleurs /m ²	75,1 %	81,6 %	0,4 %	4,3 %	13,7 %

Pour les giroflées, le rendement en fleurs commercialisables n'est pas suffisant et le taux de déchets trop élevé. La survenue d'un problème physiologique a entraîné l'apparition de plantes possédant des feuilles au milieu des inflorescences et / ou des inflorescences ramifiées qui ont dû être déclassées. Ce problème pourrait trouver son origine dans les températures subies par les plantes qui ont été trop douces au moment de l'initiation florale. Toutefois, le comportement végétatif de cette gamme de variétés est particulier. En effet, lorsque les températures descendent en dessous de 10°C, on observe un jaunissement du feuillage qui peut avoir des conséquences préjudiciables sur la qualité à la récolte. Mais, il y a peu de variétés de giroflée cultivables à cette période et possédant à la fois :

- une gamme de coloris aussi large,
- ayant un bon potentiel de longueur de tige,
- un % de plantes à fleurs doubles élevés sans tri par le producteur.

Sur tournesol, la qualité produite a été satisfaisante bien que des arrosages un peu plus abondants auraient permis de limiter le % de tiges commercialisées en 1^{er} choix (60 cm) car trop courtes pour être placées en extra (80 cm).

Sur les célosies, l'apparition de tâches marrons sur les inflorescences au moment de leur formation a suscité de nombreuses questions. Ne sachant pas si ce phénomène devait être attribué à l'air en mouvement au niveau des inflorescences provoqué par le fonctionnement du déshumidificateur ou à des périodes trop longues d'hygrométrie trop élevée, il a été jugé plus prudent de reprendre une conduite climatique plus normale sur la fin de la culture avec une gestion du chauffage et de l'aération plus optimisée. Ce phénomène ne s'est ensuite pas étendu et l'impact sur la qualité à la récolte est resté modéré. De ce fait, la période de mise en oeuvre du déshumidificateur et de la conduite climatique économe a été relativement restreinte sur cette culture.

Des différences de comportement sont observées entre les variétés. Les résultats par variété sont présentés dans les tableaux situés en annexe 1.

Le calendrier de production de ces cultures successives est présenté en annexe 2. Il a été conforme aux prévisions.

Espèce	Période de plantation	Période de récolte	Durée du cycle de la plantation à la fin de la récolte
1 - Giroflée d'hiver	Sem 42 / 2011	Mars 2012	24 semaines
2 - Tournesol	Sem 14 & 16 /2012	Fin mai à mi-juillet 2012	14 semaines

3 - Célosie	Sem 29 /2012	Octobre 2012	15 semaines
4 – Muflier (gamme Cool)	Sem 45	Prévision : avril 2013	

Le prix de vente de la 1ère série de tournesol a été décevant malgré sa précocité.

Le chiffre d'affaires généré par les 3 cultures récoltées en 2012 a été de 13,3 €/m² de planche pour les Giroflées, de 10,1 €/m² de planche pour les Tournesols et de 13,6 €/m² de planche pour les Célosies, soit un total de 37 €/m² de planche, c'est-à-dire de 23,1 €/m² de serre en tenant compte du taux d'occupation de la serre (62,5 %).

4.2. – Etat sanitaire des cultures

En dehors des problèmes physiologiques décrits ci-dessus et malgré une gestion de l'aération visant à limiter les ouvertures pour éviter les déperditions d'énergie, malgré également, un nombre de traitements fongicides restreint, l'état sanitaire des cultures a été bien contrôlé. Il n'y a pas eu de forte attaque d'*Oïdium*, de *Botrytis*, de Mildiou ou de *Sclerotinia*.

Sur Giroflée, du fait de la saison de culture et des risques de *Botrytis* et de Mildiou, 3 traitements préventifs ont été réalisés (2 traitements contre *Botrytis* et 1 traitement contre mildiou).

Sur Tournesol, un début d'attaque de *Sclerotinia*, mais sans conséquence grave, a nécessité une intervention avec un fongicide. Pour cette culture, du fait de sa sensibilité au *Sclerotinia*, du Contans WG a été appliqué avant la plantation.

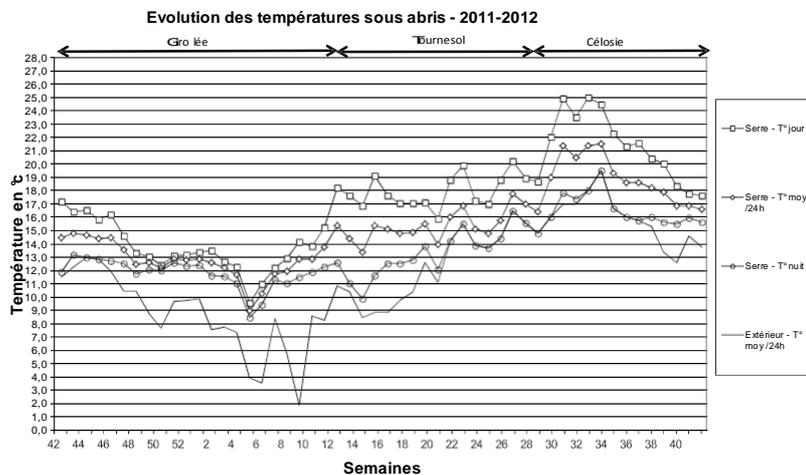
Sur Célosie, un seul traitement fongicide (contre *Botrytis*) a été réalisé et cela en préventif compte tenu des risques climatiques.

Les conduites climatiques et d'irrigation ont permis de limiter les risques sanitaires de façon non négligeable. L'irrigation par aspersion n'est utilisée que lors des premières semaines de culture après la plantation. Une fois que la végétation est installée, les irrigations sont réalisées au goutte à goutte de façon à ne pas mouiller le feuillage. De plus, le rythme des irrigations a été optimisé en fonction du climat et du besoin des plantes grâce à un contrôle fréquent de l'humidité du sol.

En ce qui concerne la gestion de l'hygrométrie de la serre, l'utilisation en périodes à risques d'un déshumidificateur thermodynamique pour éliminer l'excès d'hygrométrie de l'air et limiter les périodes de condensation sur les plantes lorsque l'aération de la serre n'était pas effective a été d'un grand secours. L'utilisation de cet appareil a été importante pour les giroflées cultivées en période hivernale et au début de la culture de tournesol. Mais, il a été peu utilisé sur célosie.

4.3. – Données climatiques observées

Le graphique ci-joint rend compte des données climatiques moyennes mesurées dans la serre au cours de l'expérimentation. La période hivernale a été marquée par des températures extérieures nettement plus froides que la normale. Il en a résulté des températures de serre relativement fraîches de fin novembre à début mars. Cette période a également été peu lumineuse. De ce fait, la croissance des plantes a été relativement lente durant cette période.



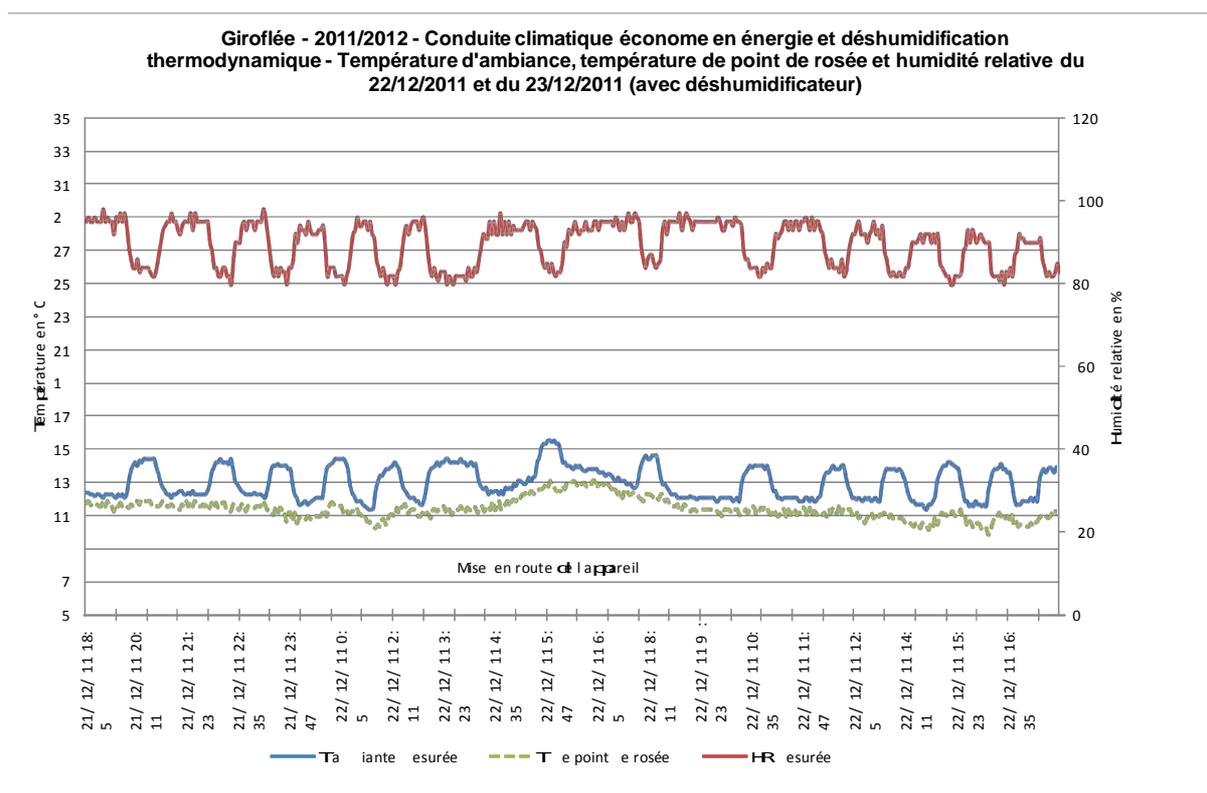
Le fait de confiner la serre pendant la journée a permis de compenser une partie de la chaleur qui n'a pas été apportée la nuit par le chauffage.

4.4. – Etude de journées types

Les graphiques ci-dessous précisent les données climatiques de la serre pour plusieurs journées types.

4.4.1. – Le 22/12/2012

L'analyse des données climatiques de la serre expérimentale le 22/12/11 permet d'observer l'effet du déshumidificateur thermodynamique sur le climat de la serre. La mise en marche du déshumidificateur a été programmée par intermittence à 5 reprises la nuit, le matin, au lever du jour et à 2 reprises pendant la journée.



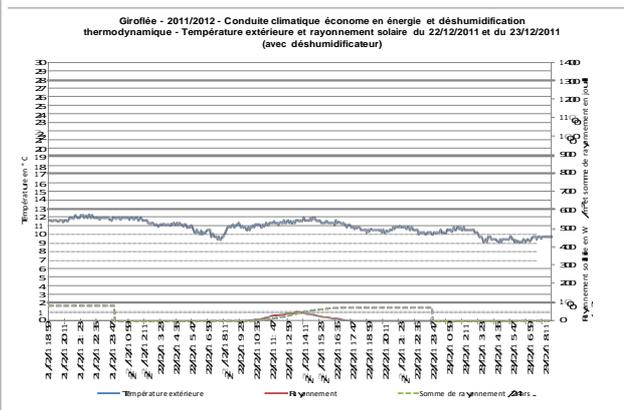
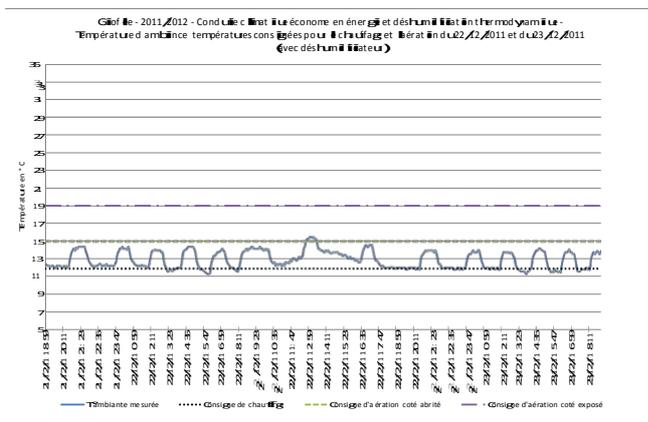
La mise en route du déshumidificateur est programmée pour 1 heure à chaque fois (sauf au lever du jour pour 2 heures). La nuit, entre 2 périodes de fonctionnement, on laisse une période d'1 heure sans fonctionnement au minimum.

A chaque fois que le déshumidificateur se met en route, on peut observer une forte diminution de l'hygrométrie (d'environ 10 à 15 %) et un écart de plusieurs degrés se crée entre la température d'ambiance mesurée et la température de point de rosée calculée (cet écart symbolise la diminution des risques de condensation). La température d'ambiance de la serre augmente également d'environ 2°C lorsque l'appareil se met en route. A chaque arrêt du déshumidificateur, l'hygrométrie revient très rapidement à un niveau élevé, de l'ordre de 95 % et les risques de condensation deviennent importants.

Au cours de cette journée, le rayonnement solaire a été très faible (moins de 100 joules /cm²) et les températures extérieures douces (10 à 12°C). Les ouvrants de la serre sont restés fermés quasiment en permanence du fait des consignes d'aération élevées (15°C du côté abrité du vent et 19°C du côté exposé au vent). Aussi, le déshumidificateur a également été mis en route au cours de la journée bien que son fonctionnement soit en principe surtout prévu la nuit et au lever du jour.

Au cours de cette journée, si le déshumidificateur thermodynamique n'avait pas fonctionné, l'hygrométrie serait restée à plus de 90-95% en permanence et le risque de condensation aurait été maximum. Dans la journée, il n'y a pas eu d'augmentation significative de la température car l'ensoleillement était trop faible.

Pour la période nocturne de cette journée, la période où il y a un risque de condensation (période au cours de laquelle l'écart entre la température d'ambiance et la température de point de rosée est inférieure à 1°C) a pu être ramenée de 14H00 par nuit en l'absence de fonctionnement du déshumidificateur à 7H00 par la mise en route du déshumidificateur.

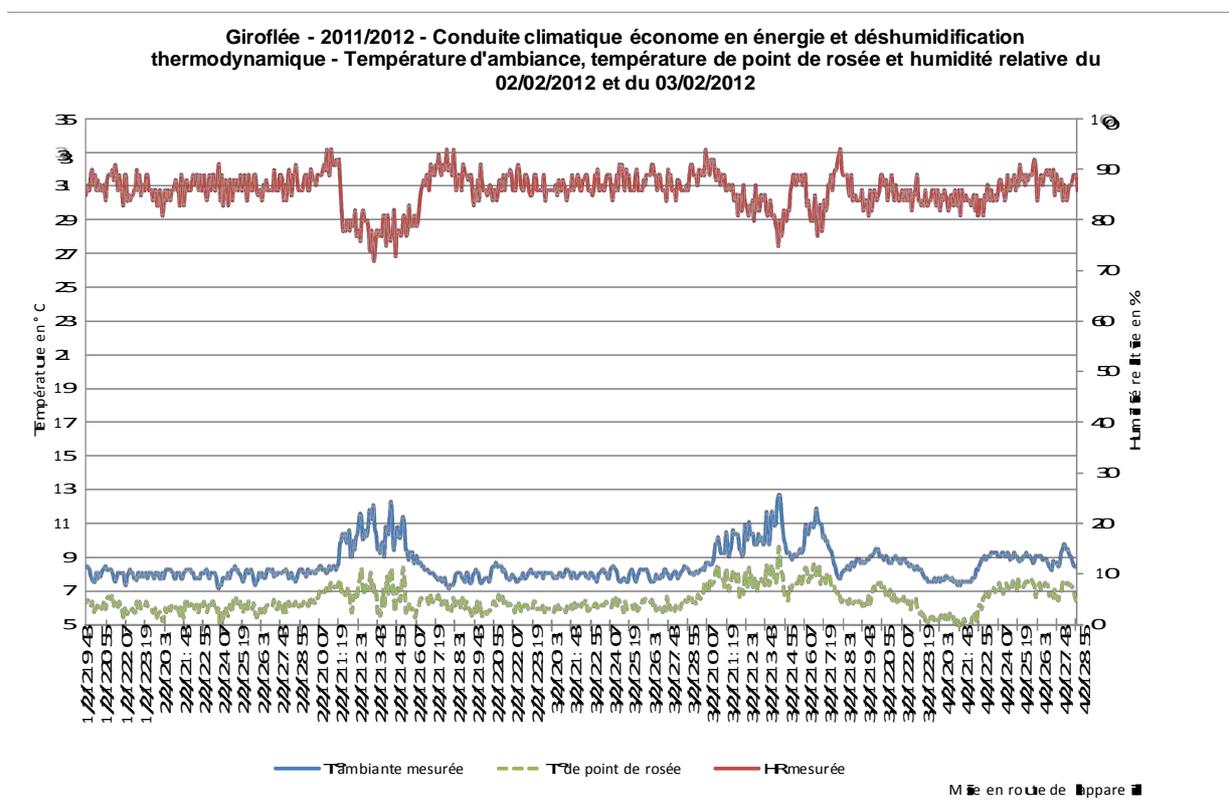


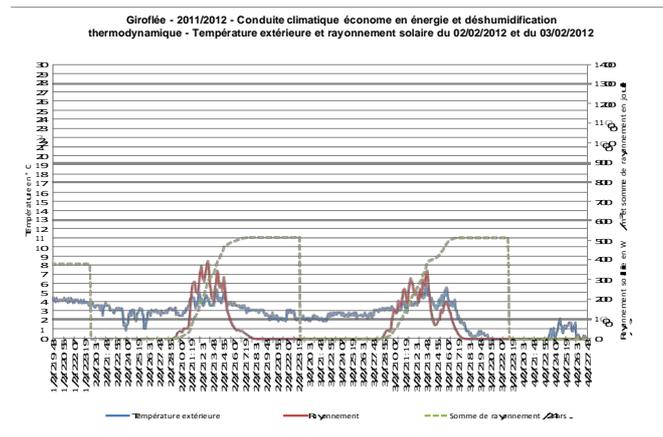
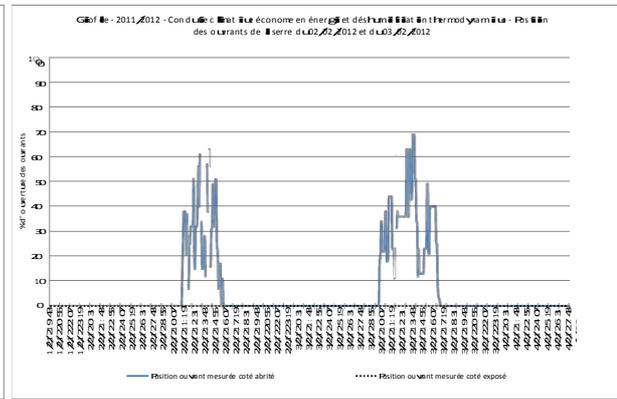
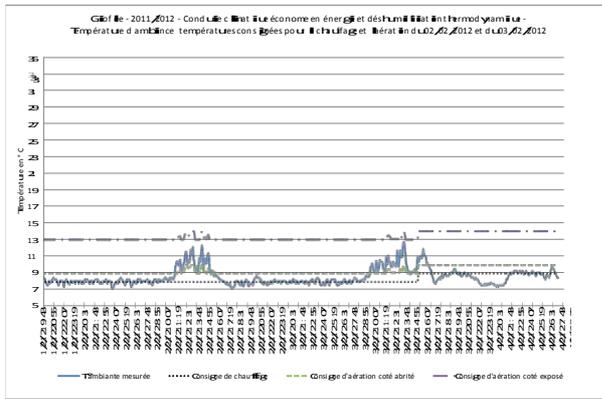
4.4.2. – Les 02 et 03/02/12

Cette journée froide (T° de 2 à 4°) est assez lumineuse pour la période. La puissance de chauffage est suffisante pour atteindre les consignes de chauffage qui sont relativement basses (8°C). Les ouvrants restent fermés la nuit car les consignes d'aération ne sont pas atteintes. Mais, le déshumidificateur ne se met pas en route car la température nocturne de la serre est trop faible (inférieure à la plage de fonctionnement de l'appareil).

Le jour, l'ensoleillement permet d'atteindre la température d'aération de la serre et l'aération permet de limiter l'hygrométrie de la serre.

Du fait du fonctionnement quasiment permanent du chauffage malgré les consignes basses, l'hygrométrie de la serre reste inférieure à 90 %.

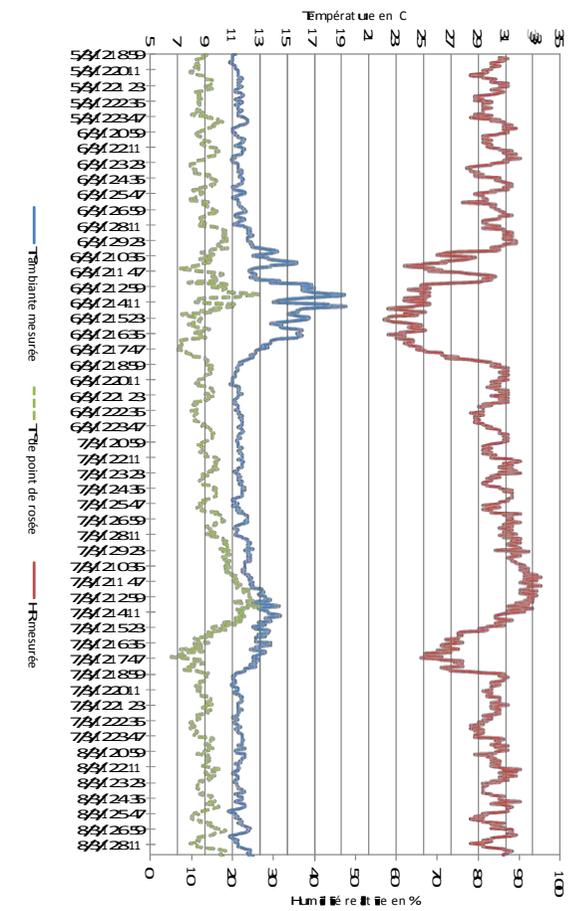




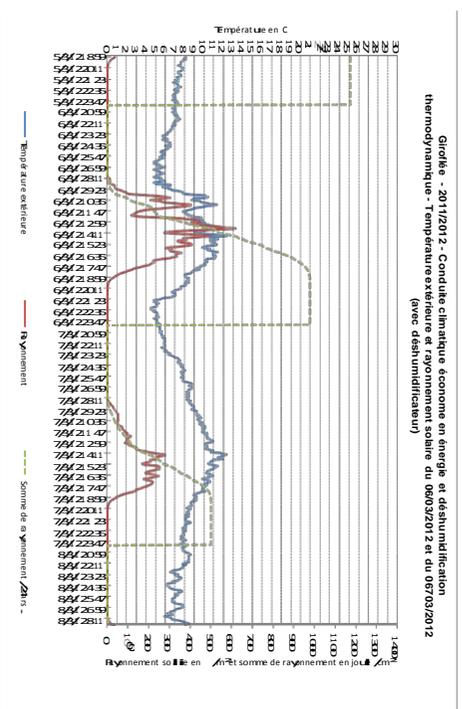
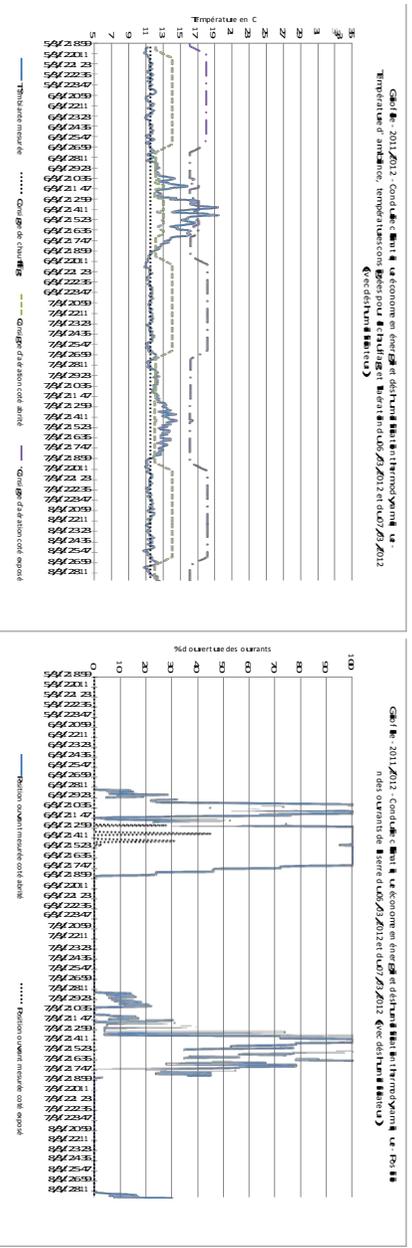
4.4.3. – Les 06 et 07/03/2012

Ces 2 journées correspondent à des journées de début de printemps avec des températures extérieures plus douces au cours de la journée mais qui restent fraîche la nuit et avec un ensoleillement variable d'une journée à l'autre. Le 06/03/12 est une journée assez ensoleillée alors que l'ensoleillement du 07/03/11 est plus modeste. Dans ces 2 cas de figure, l'hygrométrie dépasse 85 à 90 % la nuit lorsque le déshumidificateur est à l'arrêt. En milieu de journée lorsque l'ensoleillement réchauffe suffisamment la serre pour que la température dépasse la consigne d'aération et permette l'ouverture des ouvrants, le renouvellement de l'air par de l'air extérieur permet alors d'assécher l'ambiance. A cette période, la consigne d'aération est plus basse le jour que la nuit. Il n'y a pas d'aération la nuit. Lorsque le déshumidificateur se met en route, l'hygrométrie est abaissée d'environ 10 %, la température d'ambiance s'élève d'environ 2°C et il apparaît un écart entre la température d'ambiance et la température de point de rosée correspondant à une diminution du risque de condensation.

Groffée - 2011/2012 - Conduite climatique économe en énergie et déshumidification thermodynamique - Température d'ambiance, température de point de rosée et humidité relative du 06/03/2012 et du 07/03/2012 (avec déshumidificateur)



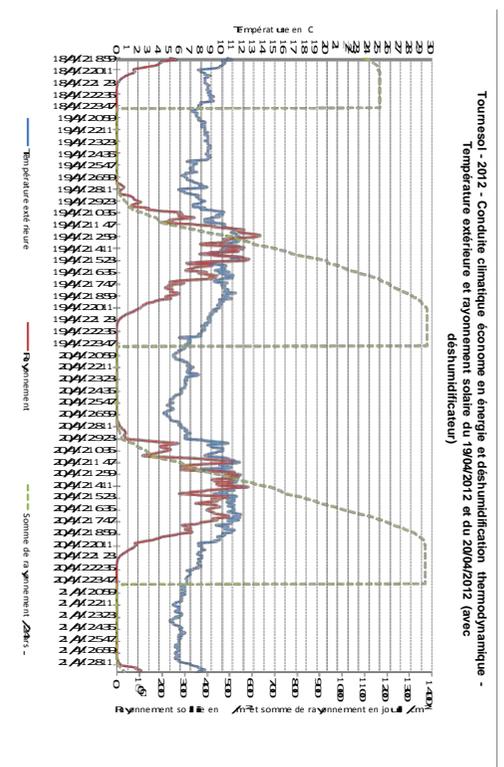
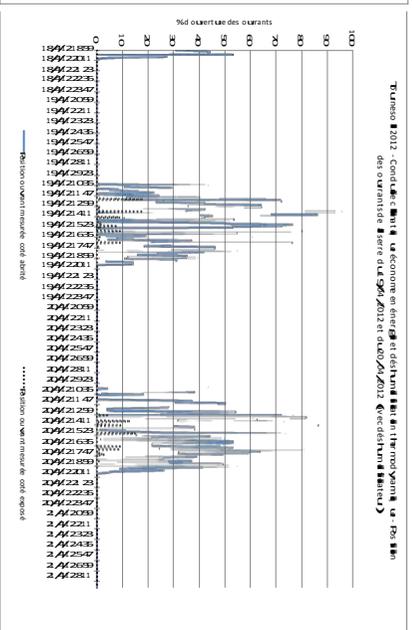
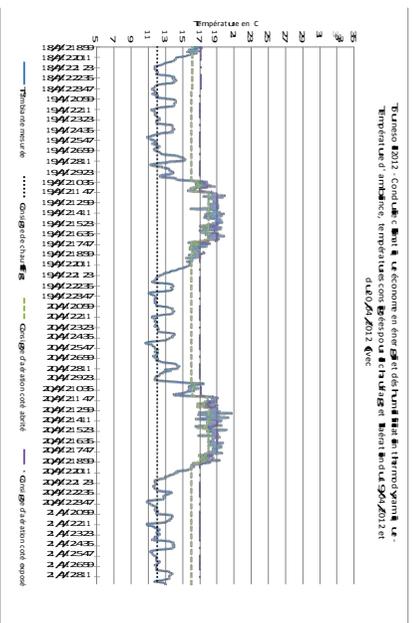
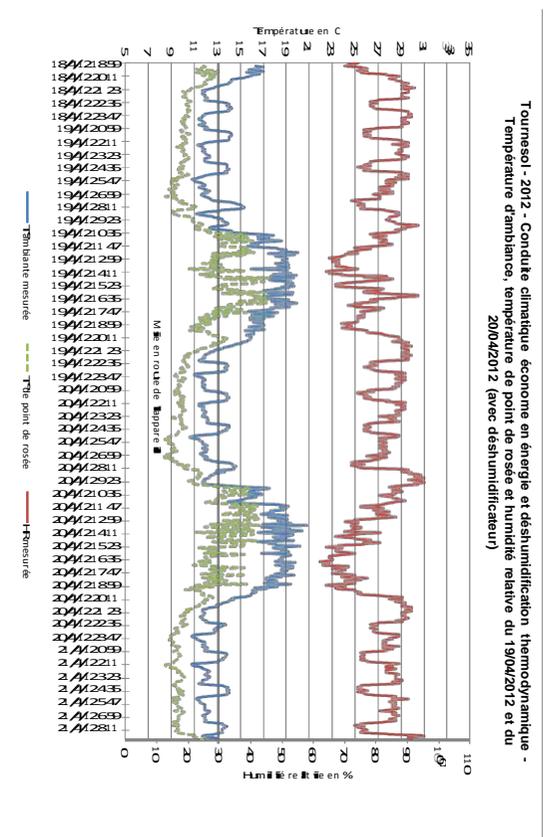
A cette période, les plantes sont développées et la végétation est importante dans la serre. Le nombre d'heures de fonctionnement du déshumidificateur reste d'environ 6 heures / nuit pour limiter les risques de maladies.



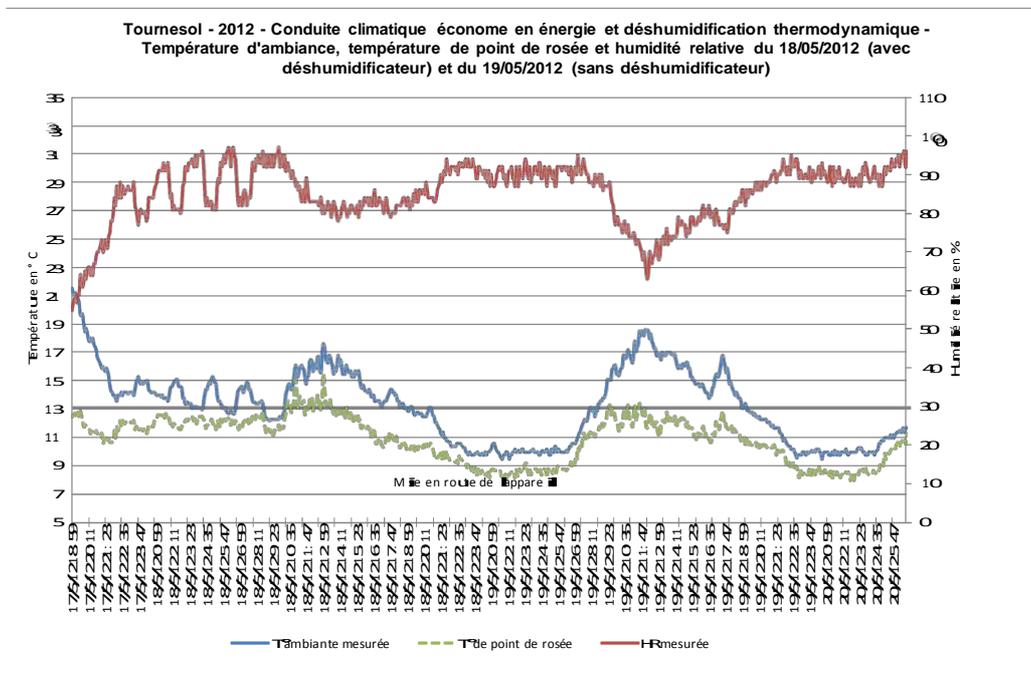
4.4.4. – Les 19 et 20/04/2012

A cette date, le climat extérieur reste frais la nuit et l'ensoleillement plus régulier. La culture vient d'être mise en place, les consignes d'aération sont placées à un niveau élevé pour garder de la chaleur et favoriser l'implantation. L'aération est par contre assez forte le jour lorsque la journée est ensoleillée. Elle permet un bon renouvellement de l'air durant la journée tout en conservant des températures correctes dans la serre. Avec les nuits fraîches, il n'y a pas d'aération nocturne de façon à ne pas trop abaisser les températures

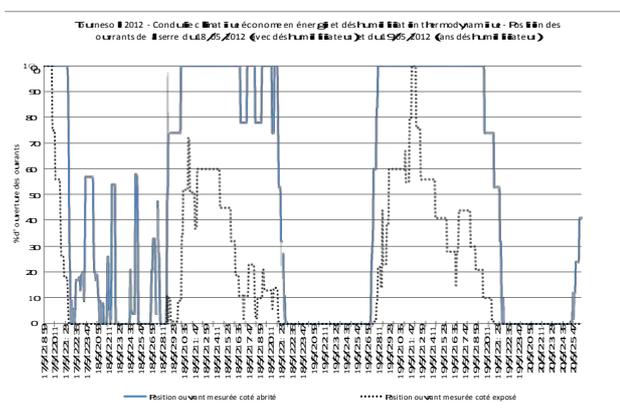
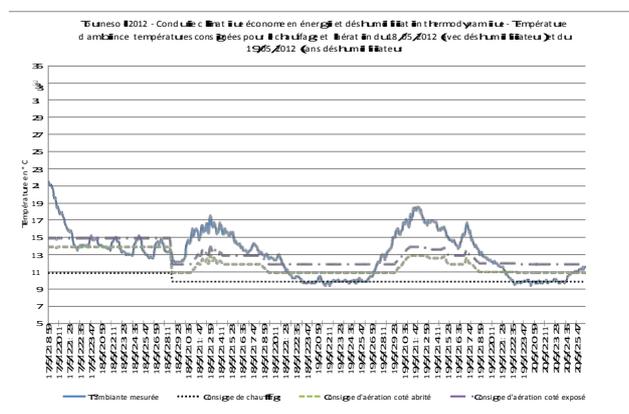
moyennes et à conserver une vitesse de développement satisfaisante. De ce fait, le fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique est maintenu la nuit pendant une durée de 4 heures au total, toujours par intermittence (mais sur une durée globale plus courte que par le passé) de façon à toujours limiter les risques de condensation.

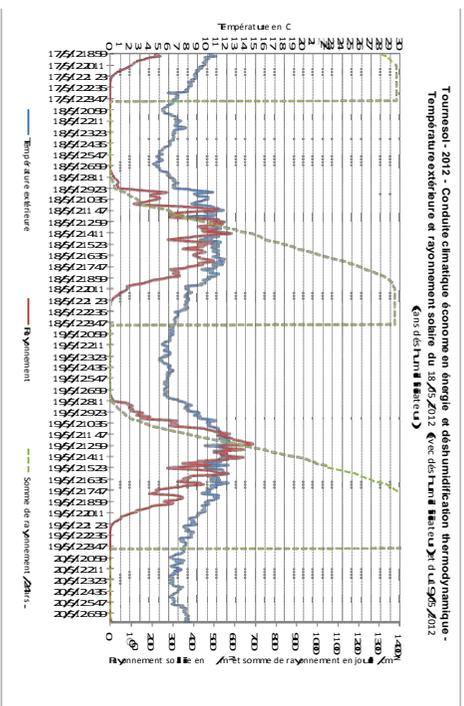


4.4.5. – Les 18 et 19/05/2012



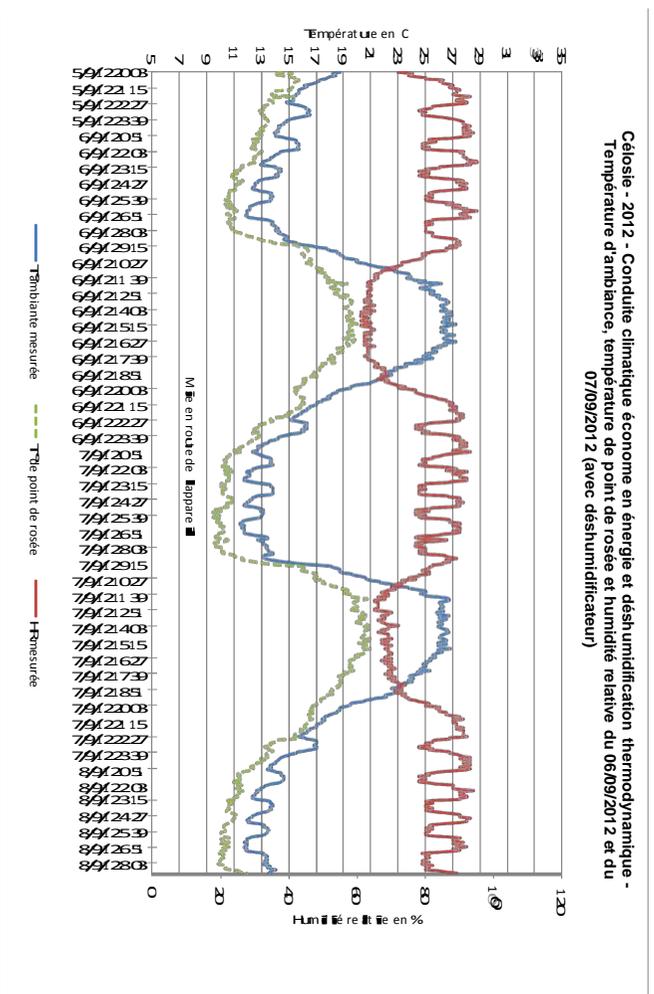
Ces 2 jours successifs révèlent une modification de la conduite. Dans la nuit du 18/05/12, le déshumidificateur est toujours en route par intermittence car l'hygrométrie nocturne atteint un niveau très élevé. Mais, les consignes d'aération ont été diminuées par rapport à la période passées car la végétation devient importante et une maîtrise e la vitesse de développement par des températures inférieure est nécessaire. Le fonctionnement du déshumidificateur se traduit par une augmentation de la température de la serre qui va jusqu'à l'ouverture des ouvrants. Un tel fonctionnement ne parait pas utile. Aussi, le jour suivant, les consignes de chauffage et d'aération sont encore abaissée et le déshumidificateur est arrêté. Si l'hygrométrie dans la nuit du 18 au 19/05 atteint un niveau de 90 %, elle reste un peu moins élevée que celle des jours précédents dans les périodes d'arrêt du déshumidificateur. De plus, la température de serre reste assez supérieure à la température de point de rosée. Donc, le risque de condensation reste limité bien que la serre ne s'ouvre pas pendant cette période. Dans les jours qui suivent, les températures de chauffage et d'aération seront encore diminué pour freiner le développement des plantes et permettre l'aération de la serre.



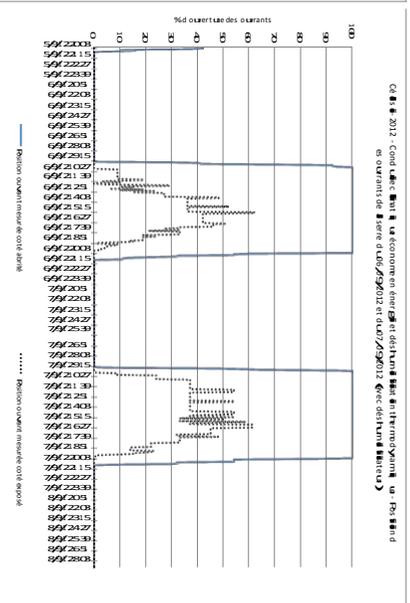
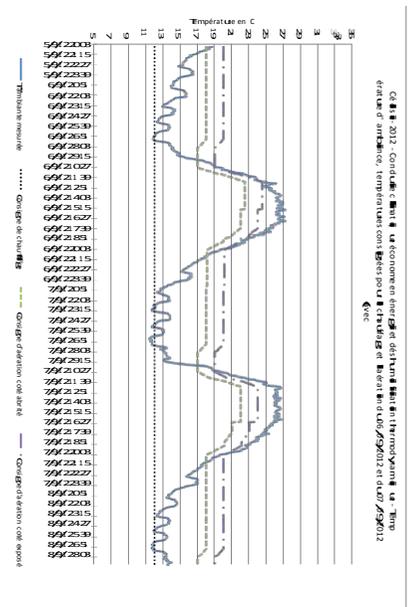


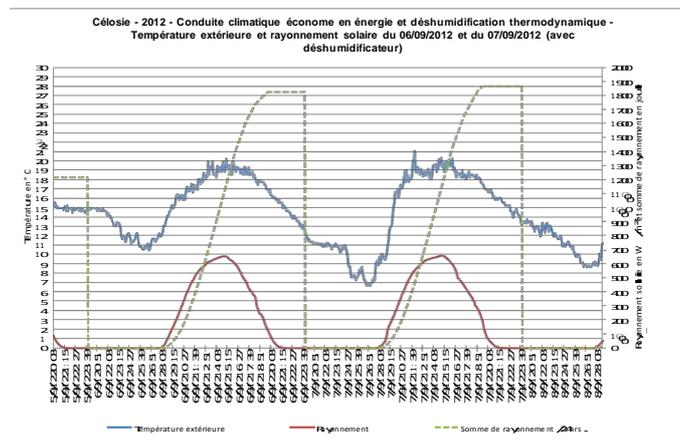
4.4.6. – Les 06 et 07/09/2012

Célosie - 2012 - Conduite climatique économe en énergie et déshumidification thermodynamique -
Température d'ambiance, température de point de rosée et humidité relative du 06/09/2012 et du
07/09/2012 (avec déshumidificateur)



A cette période de la culture, il a été possible d'appliquée les principes d'une conduite économe en énergie basée sur la diminution des consignes de chauffage la nuit, des écarts élevés entre les consignes de chauffage et d'aération et sur un confinement important dans la journée pour bénéficier de la chaleur gratuite liée à l'ensoleillement. La nuit, l'excès d'hygrométrie est éliminé de façon intermittente par la mise en route du déshumidificateur thermodynamique qui fonctionne par phase d'une heure (soit 5H00 par nuit). Lorsque le déshumidificateur est arrêté, l'hygrométrie atteint des niveaux très élevés (90 à 95 %). Avec la mise en route de l'appareil, l'hygrométrie chute de 10 à 15 %. Dans une telle configuration, le potentiel d'économie d'énergie est important.





Plus tard en saison, le contexte climatique a évolué et n'est pas resté aussi favorable. De ce fait, les excès d'hygrométrie ont été plus prononcés et plus permanents. Des taches brunes sont apparues sur les inflorescences sans savoir si elles étaient liées à ces excès d'hygrométrie ou à un brassage d'air sec venant du déshumidificateur trop près des inflorescences. Il a donc été décidé de revenir à une conduite climatique plus traditionnelle et plus optimisée. Ces problèmes se sont ensuite estompés

Avec une conduite économe en énergie, il est important de bien arbitrer entre le besoin d'aération pour limiter les excès d'hygrométrie et le besoin de limiter l'aération pour conserver la chaleur nécessaire de façon à obtenir une vitesse de croissance suffisante.

Dans ce contexte, la déshumidification thermodynamique limite les risques d'une gestion non optimisée.

4.5. – Bilan énergétique pour le chauffage et la déshumidification

Le tableau suivant précise la consommation d'électricité mois par mois liée au fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique

Consommation électrique pour la déshumidification de la serres - 2011/2012 pour la rotation Giroflée / Tournesol /Céliosie

Année	Mois	Consommation électrique / m ² /semaine (KWh /m ² /mois)	Consommation électrique cumulée /m ² (KWh /m ²)	Production d'eau (L /m ² /mois)	Coût unitaire (€/KWh)	Coût de fonctionnement hebdomadaire (€/m ²)	Coût de fonctionnement cumulé (€/m ²)	Nombre d'heure moyenne de fonctionnement programmées /jour	Seuil Hygrométrie pour démarrage déshumidificateur - seuil ordinateur climatique (en %)
2011	Novembre	1,3	1,3	0,6	0,050	0,064	0,06	9:00	85
2011	Décembre	3,4	4,7	5,6	0,050	0,170	0,23	7:00	85
2012	Janvier	3,4	8,1	4,3	0,050	0,171	0,41	7:00	85
2012	février	1,0	9,1	1,1	0,050	0,051	0,46	7:00	85
2012	Mars	2,5	11,6	2,3	0,050	0,124	0,58	7:00	85
2012	Avril	1,3	13,0	1,4	0,050	0,067	0,65	4:00	85
2012	Mai	2,4	15,3	3,4	0,050	0,119	0,77	5:00	85
2012	Juin	0,0	15,3	0,0	0,050	0,000	0,77	0:00	85
2012	Juillet	0,0	15,3	0,0	0,050	0,000	0,77	0:00	85
2012	Août	0,4	15,7	0,0	0,050	0,018	0,78	4:00	85
2012	Septembre	1,3	17,0	2,2	0,050	0,065	0,85	8:00	85
Total 2011		17,0		20,8	0,050	0,85			

Cette consommation électrique est restée modérée puisqu'elle s'élève à 17 KWh/m² entre la plantation des giroflées semaine 42 et la fin de la culture de céliosie semaine 44, pour une durée de fonctionnement programmée de 1263 heures.

Dans cet essai, la consommation d'énergie pour le chauffage de la serre a été estimée par un modèle de consommation énergétique tenant compte des consignes de chauffage utilisées et du climat extérieur (T°, RG et vent). Elle s'élèverait 94 KWh /m² pour la période de l'essai.

Avec les conditions météorologiques rencontrées cette année, la consommation d'énergie pour le chauffage des cultures réalisées avec un itinéraire de référence aurait été de 125 KWh /m² pour la période de culture.

Consommation énergétique pour le chauffage de la serre

Pour la rotation Giroflée / Tournesol / Célosie - 2011/2012 Culture des semaines 42 de 2011 à 44 de 2012

Type de conduite		Consommation énergétique en KWh/m²				Cout Total de chauffage et de déshumidification en €/m²
		Giroflée	Tournesol	Célosie	Total	
Période de culture		Semaine 42/2011 à 14/2012	Semaine 14/2012 à 28/2012	Semaine 29/2012 à 44/2012	Culture des semaines 42 de 2011 à 44 de 2012	Culture des semaines 42 de 2011 à 44 de 2012
Conduite de référence	Gaz naturel (2)	58,5	23,3	43,2	125,1	5,3
	Gaz naturel (2)	54,2	21,2	18,8	94,3	4,0
Conduite avec déshumidificateur	Electricité déshumidificateur (3)	10,8	4,1	2,1	17,0	0,9
	Total	65,0	25,3	20,9	111,3	4,8
	Ecart entre la conduite étudiée et la conduite de référence en %	11,1	8,6	-51,6	-11,0	-8,4

(1) valeur obtenue par simulation

(2) valeur obtenue par simulation

(3) Mesure par compteur électrique. Essai 2011

KWh gaz : 0,042 €/KWh

KWh électrique : 0,050 €/KWh

L'économie d'énergie réalisée pour le chauffage de la serre avec la conduite économe en énergie et le déshumidificateur tels qu'ils ont été mis en œuvre pour le calendrier de culture utilisé dans cet essai est estimée à 11 % par rapport à une conduite de référence.

En termes de coût, l'économie sur le poste énergie atteint 8 %.

Mais, selon les espèces et les époques de culture, la réalisation d'économie d'énergie pour le chauffage de la serre avec la conduite économique et avec l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique est plus ou moins importante. La conduite économe permet de faire d'importante économie d'énergie pour la culture de célosie qui est exigeante en température et lorsqu'elle est cultivée à une période comme la fin de l'été ou le début de l'automne, période où la conduite intégrée est plus facile à mettre en œuvre du fait du climat extérieur, et cela même si l'utilisation du déshumidificateur n'a pas été très importante pour cette espèce.

Pour les cultures de giroflée et de tournesol qui sont moins exigeantes en température que la célosie, la conduite économie d'énergie n'a pas permis de faire beaucoup d'économie d'énergie pour le chauffage de la serre. De plus, si on tient compte de l'énergie électrique consommée par le déshumidificateur, le bilan devient négatif. Ce résultat est lié en partie au déshumidificateur thermodynamique utilisé qui ne peut fonctionner que lorsque la température est supérieure à 10°C. De ce fait, les consignes de chauffage ont parfois été gardées à ce niveau minimum pour permettre le fonctionnement de l'appareil alors que les cultures auraient acceptées des températures de chauffage plus basses. Pour les espèces peu exigeantes en température, il serait plus intéressant d'utiliser un déshumidificateur adapté à fonctionner dans une plage de températures plus basses (certains appareils peuvent fonctionner jusqu'à 3-5°C).

Pour optimiser le temps de fonctionnement du déshumidificateur et minimiser son coût d'utilisation, et cela sans perte d'efficacité, il serait préférable de coupler le pilotage du déshumidificateur à l'ordinateur climatique de façon à gérer le démarrage de l'appareil en fonction :

- de l'hygrométrie ou du déficit d'hygrométrie ou encore de l'écart entre la température d'ambiance et la température de point de rosée (lorsque cet écart est faible, il y a un risque de condensation sur la plante).
- du % d'ouverture des ouvrants de façon à ce que le déshumidificateur s'arrête lorsque les ouvrants sont suffisamment ouverts.
- de plages horaires autorisant le fonctionnement.

Par ailleurs, la puissance du déshumidificateur (capacité de déshumidification, puissance de ventilation et puissance électrique) serait à optimiser par rapport à la surface de la serre et aux besoins de déshumidification des cultures.

4.6. – Déshumidification thermodynamique et risque de condensation

Le risque de condensation sur les plantes du fait du climat de la serre a été évalué dans cet essai pour les différentes cultures mises en œuvre. Ce risque est important à prendre en considération car il détermine le risque d'apparition de problèmes parasitaires sur les parties aériennes des plantes.

Il est possible d'évaluer ce risque en mesurant l'écart entre de la température d'ambiance de la serre et la température de point de rosée. Un écart inférieur à 1°C entre ces températures est considéré comme favorable à l'apparition de condensation sur les plantes. Les enregistrements climatiques ont permis de calculer la durée des périodes à risques élevés (écart < à 1°C) ou à risque faible (écart > à 1°C) pour chacune des cultures.

		Giroflée		Tournesol		Célosie	
Période	Risque de condensation	Semaine 42/2011 à 14/2012		Semaine 14/2012 à 28/2012		Semaine 29/2012 à 44/2012	
Jour	Elevé (1)	672 h	33 % de la durée des périodes de jour	193 h	16 % de la durée des périodes de jour	582 h	43,0 % de la durée des périodes de jour
Jour	Faible (2)	1391 h	67 % de la durée des périodes de jour	982 h	84 % de la durée des périodes de jour	761 h	57,0 % de la durée des périodes de jour
Nuit	Elevé (1)	655 h	32 % de la durée des périodes de nuit	366 h	31 % de la durée des périodes de nuit	922 h	68,0 % de la durée des périodes de nuit
Nuit	Faible (2)	1408 h	68 % de la durée des périodes de nuit	809 h	69 % de la durée des périodes de nuit	420 h	32,0 % de la durée des périodes de nuit
Total		4126 h		2350 h		2685 h	

(1) **Risque élevé** de condensation sur les plantes quand la température mesurée de la serre est proche de la température de point de rosée mesurée ($T^{\circ}\text{serre} - T^{\circ}\text{point de rosée} < 1^{\circ}\text{C}$)
(2) **Risque faible** de condensation sur les plantes quand la température mesurée de la serre est nettement supérieur à la température de point de rosée mesurée ($T^{\circ}\text{serre} - T^{\circ}\text{point de rosée} > 1^{\circ}\text{C}$)

Ces durées peuvent être rapprochées des durées de fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique et du fonctionnement de l'aération.

		Giroflée		Tournesol		Célosie	
Période		Semaine 42/2011 à 14/2012		Semaine 14/2012 à 28/2012		Semaine 29/2012 à 44/2012	
Nombre d'heures de fonctionnement programmées du déshumidificateur	Jour	162 h	8 % de la durée des jours	0 h	0 % de la durée des jours	0 h	0,0 % de la durée des jours
	Nuit	781 h	38 % de la durée des nuits	239 h	20 % de la durée des nuits	81 h	6 % de la durée des nuits
Nombre d'heures d'ouverture des ouvrants	Jour	916 h	44 % de la durée des jours	1027 h	87 % de la durée des jours	1062 h	78,0 % de la durée des jours
	Nuit	98 h	5 % de la durée des nuits	684 h	58 % de la durée des nuits	220 h	17 % de la durée des nuits

Ainsi, pour la culture hivernale de giroflée, 68 % des périodes nocturnes ont été des périodes à faible risque de condensation. Or, les périodes nocturnes où les ouvrants ont été ouverts sont relativement faibles (5 % de la durée). Le fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique au cours des nuits (pendant 781 heures) a en fait permis de faire passer la durée de risque élevé de condensation d'environ 1400 heures à 655 heures (soit 32 % de la durée des nuits).

De même, pour le tournesol, 69 % des périodes de nuits ont été également des périodes à faible risque de condensation. Mais, cette observation s'explique plus par le fonctionnement de l'aération puisqu'il y a eu ouverture des ouvrants durant 58 % de la durée des nuits alors que le déshumidificateur a fonctionné pendant une durée beaucoup plus courte (20 % de la durée des nuits).

Ces observations expliquent certainement en grande partie le bon état sanitaire des cultures.

A l'inverse, pour la culture de célosie, 68 % de la durée des nuits et 43 % de la durée des jours ont été des périodes à risque élevé de condensation. La durée de fonctionnement de la déshumidification ou l'aération ont été insuffisantes pour limiter ce risque. Ces excès d'hygrométrie n'ont pas été jusqu'à se traduire par des problèmes sanitaires mais, par contre, peuvent expliquer les problèmes physiologiques qui ont commencé à apparaître sur les inflorescences et ont obligé à retourner vers une conduite climatique plus orthodoxe.

V - CONCLUSION

Pour confirmer les bons résultats des essais réalisés de 2009 à 2011 sur une culture de *Lisianthus* avec une conduite économe en énergie et une déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique, un nouvel essai a été mis en place en 2012 mais sur plusieurs espèces de fleurs coupées aux exigences climatiques différentes et cultivées à différentes périodes de l'année. Ces espèces et leur calendrier de culture ont été les suivantes.

Espèce	date de plantation	Période de récolte
Giroflée d'hiver	Sem 42 / 2011	Mars 2012
Tournesol	Sem 14 & 16 /2012	Fin mai à mi-juillet 2012
Célosie	Sem 29 /2012	octobre 2012

Les résultats agronomiques obtenus pour ces différentes espèces étudiées ont été :

Espèces	Nombre de fleurs commercialisées /m ² de planche	% de fleurs commercialisables /nombre plantées	% d'extra /nombre récoltées	Remarque
Giroflée d'hiver	44 fleurs /m ²	69 %	77 %	Problème physiologique
Tournesol	57 fleurs /m ²	89 %	76 %	Prix de vente médiocre
Célosie	48 fleurs /m ²	75 %	81 %	

La conduite climatique étudiées a été réalisées avec un chauffage allant de 10 à 14°C selon les périodes dans une serre très confinée pour garder le plus de chaleur possible et en déshumidifiant la serre avec un déshumidificateur thermodynamique. Ce déshumidificateur a été utilisé de façon à pouvoir confiner les serres au maximum et limiter les déperditions de chaleur.

Il a été possible d'observer une bonne efficacité de l'appareil Micro Hortidésu d'ETT pour diminuer l'hygrométrie de la serre qui chute rapidement jusqu'au seuil de fonctionnement choisi lorsque l'appareil se met en route et cela, avec une consommation électrique relativement modérée qui a été de 17 KW/h/m² entre les semaines 42 de 2011 et 44 de 2012.

Par contre, l'appareil utilisé dans cet essai nécessite une température minimum de 10°C pour pouvoir fonctionner normalement. De ce fait, il n'a pas été possible de descendre les températures de chauffage autant qu'il aurait été nécessaire de le faire et les économies d'énergie observées ne sont pas aussi fortes que souhaitées sur Giroflée et Tournesol car les besoins en température de ces espèces sont inférieurs à ceux du Lisianthus ou de la Célosie.

Sur célosie, plante plus exigeante en température, la conduite intégrée réalisée a permis d'arriver à de forte économie d'énergie mais la limite a été atteinte car l'apparition d'un problème physiologique sur les inflorescences lié aux excès d'hygrométrie engendrés, à nécessiter de revenir à une conduite plus classique.

Un très bon état sanitaire du feuillage a cependant été obtenu pour toutes les cultures malgré le confinement des serres qui a été opéré. Ce résultat s'explique par le fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique qui a permis de diminuer les périodes où il existait un risque de condensation sur la végétation, en particuliers pour la culture hivernale de Giroflée

La mise en œuvre d'une conduite économe en énergie associée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique nécessite donc des adaptations en fonction des espèces de fleurs cultivées et des périodes de l'année au cours desquelles elle est mise en oeuvre.

Ces résultats sont issus d'une expérimentation ponctuelle en un site et à une époque donnés et ne peuvent en aucun cas tenir lieu de préconisation.
Toute exploitation d'informations ci-inclues est sous la responsabilité de l'utilisateur.

Annexe 1

Essai de Giroflée d'hiver - 2011/2012

Résultats de production

Variétés	Semaine de plantation	Densité de plantation	Nombre de fleurs récoltées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées en extra /m ² de planche	% de fleurs commercialisées /nombre plantées	Catégorie				% de plantes à fleurs simples
							Extra 60cm	1er choix 50 cm	2ème choix 40 cm	déchets	
Early Jordyn Pink	Sem 42/2010	64	58,9	33,4	33,4	52,3	56,8	0,0	0,0	43,2	0 5
Early Jordyn Red	Sem 42/2010	64	56,3	49,3	49,3	77,0	87,6	0,0	0,0	12,4	40
Early Jordyn White	Sem 42/2010	64	57,5	39,9	39,9	62,3	69,4	0,0	0,0	30,6	20 1
Early Jordyn Blue	Sem 42/2010	64	61,1	53,8	53,8	84,0	88,0	0,0	0,0	12,0	0 4
Early Jordyn Lavender	Sem 42/2010	64	54,0	46,8	46,8	73,1	86,7	0,0	0,0	13,3	34
Early Jordyn Cream	Sem 42/2010	64	54,1	42,1	42,1	65,8	77,8	0,0	0,0	22,2	4,3
Moyenne	Sem 42/2010	64	57,0	44,2	44,2	69,1	77,5	0,0	0,0	22,5	5 4

Tournesol - 2012

Résultats de production

Variétés	Semaine de semis	Semaine de plantation	Densité de plantation	Nombre de fleurs récoltées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées en extra 80 cm /m ² de planche	% de fleurs commercialisées /nombre plantées	Catégorie			
								Extra 80cm	Extra 60 cm	1ème choix 50 cm	déchets
Zorah	sem 12	sem 14	64	57,6	52,0	47,6	81,3	82,6	7,6	0,0	9,7
Sunrich orange	sem 12	sem 14	64	59,5	54,6	51,8	85,4	87,0	4,8	0,0	8,2
Zorah	sem 14	sem 16	64	61,2	55,6	48,8	86,9	79,7	11,1	0,0	9,2
Sunrich orange	sem 14	sem 16	64	65,8	60,9	43,1	95,2	65,5	27,1	0,0	7,3
Moyenne			64	62,5	57,6	47,5	89,9	76,0	16,1	0,0	7,8

Célosie - 2012

Résultats de production

Variétés	Semaine de plantation	Densité de plantation	Nombre de fleurs récoltées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées en extra 80 cm /m ² de planche	% de fleurs commercialisées /nombre plantées	Catégorie			
							Extra 80cm	Extra 70 cm	Extra 60 cm	déchets
Chief Pink	Sem 29	64	58,1	45,1	39,7	70,5	68,4	1,9	7,4	22,3
Chief Carmine	Sem 29	64	54,1	47,1	45,8	73,6	84,5	0,0	2,5	12,9
Chief Red	Sem 29	64	58,1	52,3	48,9	81,6	84,3	0,0	5,7	10,0
Chief Persimmon	Sem 29	64	53,8	45,5	44,6	71,1	82,9	0,0	1,7	15,3
Chief Fire	Sem 29	64	54,5	50,3	48,4	78,6	88,8	0,0	3,6	7,7
Moyenne		64	55,7	48,1	45,5	75,1	81,6	0,4	4,3	13,7



Culture de Giroflée, le 13/02/12.



Culture de tournesol, le 18/05/12



Culture de Célosie, le 03/10/12

Annexe 2

Calendrier de production

PROGRAMME NATIONAL

C	N	N A	N U	CNC	N
N	A	NU CN	A U		
AU A		U	A CN	CENA	U N
C U	CN	U	AN	N C	CU

GIE.FP.SUDOUEST – FP-12-PP-01

« L'application des méthodes, résultats et conclusions de cette expérimentation aux conditions de chaque exploitation horticole se fait sous l'entière responsabilité des entreprises »

71, rue Edouard Bourlaux

33883 Villenave d'Ornon

C	N	N A	N U	CNC	N N	A	NU CN
A U		AU A	U	A CN	CENA	U N	C U CN
		U	AN	N C	CU		

Présentation de l'expérimentation

Objectifs

Évaluer les performances énergétiques et économiques, les conséquences sur les cultures, les intérêts et les limites, les possibilités pratiques de conduites économes en énergie en production de fleurs coupées et de plantes en pots sous abris. Les conduites économes en énergies qui seront testées font appel à l'intégration des températures ou à la diminution des températures de chauffage associées ou non à la déshumidification par des déshumidificateurs thermodynamiques.

Thème

Thème : Technique culturale

Sous-thème : Economie d'énergie

Matériel et méthodes

LOCALISATION DES ESSAIS

Station expérimentale du GIE Fleurs et Plantes du Sud-Ouest (Villenave d'Ornon (33)).

MATERIEL VEGETAL

10 variétés fournies par Dümmer en semaine 5

Bidens Bidy Gonzales

Calibrachoa Tiki Soft Pink

Fuchsia x hybrida Dark eyes

Nemesia Nemo Orange Shade

Osteospermum Swing Royal White

Pelargonium Survivor Dark Red et Pacific Violet (zonale et lierre)

Petunia Potunia Neon (compact) et Surprise Marine (retombant)

Verbena Empress Hot Pink Charme

Toutes les variétés sont pincées à réception ou suite au repotage en fonction du développement.

MATERIEL TECHNIQUE



Compartiment de **Serre Optima** 200 m²

Paroi et toiture en verre

Tablettes de culture de 7m²

Ecrans thermique

Aérotherme et basse température

Subirrigation

Figure 1 : Compartiment 5 Serre GIE FPSO



Serre Venlo Optim'air 500 m²
 Tablettes de culture de 7m²
 Paroi verre et toiture plastique
 Aérations latérales, aérothermes
 Subirrigation, déshumidification



Figures 2 et 3 : Serre Venlo Optim'Air et déshumidificateur Microdesu



Tunnel plastique 22x8 m
 Aucun chauffage
 Protections P30 contre gel
 Aération manuelle
 Pots au sol
 Arrosage par ruissellement

Figure 4 : Tunnel plastique 176 m²

Compteurs thermiques Sharky de la société SAPPEL installés sur les réseaux de chauffage pour la mesure de la consommation en chauffage
 Logiciel Synopta d'Hortimax pour la gestion du climat et des arrosages

ITINERAIRES CULTURAUX

PLANTES	POTERIE	SUBSTRAT	ENGRAIS	DATE REMPOTAGE	DATE TRANSFERT MODALITE
PELARGONIUM FUCHSIA	14 14	Klasmann Container substrat1 559	Multicote 6m 14-7-24 3,5 g/L	Semaine 5	Semaine 8
BIDENS CALIBRACHOA NEMESIA OSTEOSPERMUM PETUNIA VERBENA	10,5				

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

CLIMAT	ENRACINEMENT 20j	M1 = TUNNEL	M2 = SERRE VENLO OPTIM'AIR	M3 = SERRE OPTIMA
CHAUFFAGE	10/12°C	Protection P30	5/7°C	10/12°C
AERATION	22°C	Manuelle	15 °C	16°C

Facteur étudié : itinéraire cultural

Les modalités dépendent du type d'abris, des consignes de chauffage et d'aération.

ETUDE QUALITATIVE

Observation de la floraison : intensité, durée

Observation des populations de bioagresseurs : présence/absence, intensité attaques

ETUDE QUANTITATIVE

Croissance des plantes : hauteur, couvert végétal, ramifications

Données climatiques dans les compartiments, en extérieur (Températures air/eau chauffage, humidité, rayonnement)

Données compteurs thermiques

ANALYSE STATISTIQUE

Logiciel Statbox version 6.7 : module *Essais en Agriculture* comparaison des moyennes par le Test de Newman Keuls, tests paramétriques entre deux échantillons indépendants (test t de student sur les moyennes, test de Fischer sur les variances)

RESULTATS

Pour cet essai, le protocole est basé sur un choix de variétés pouvant accepter des températures plus basses que les consignes de production classique. L'objectif est de diminuer les consommations de chauffage tout en maintenant une qualité commerciale des produits mis en vente au printemps. Les autres effets attendus sont la baisse de consommation des régulateurs de croissance et de l'eau d'arrosage ainsi qu'un gain qualitatif au niveau du développement de la plante.

Enracinement des plantes



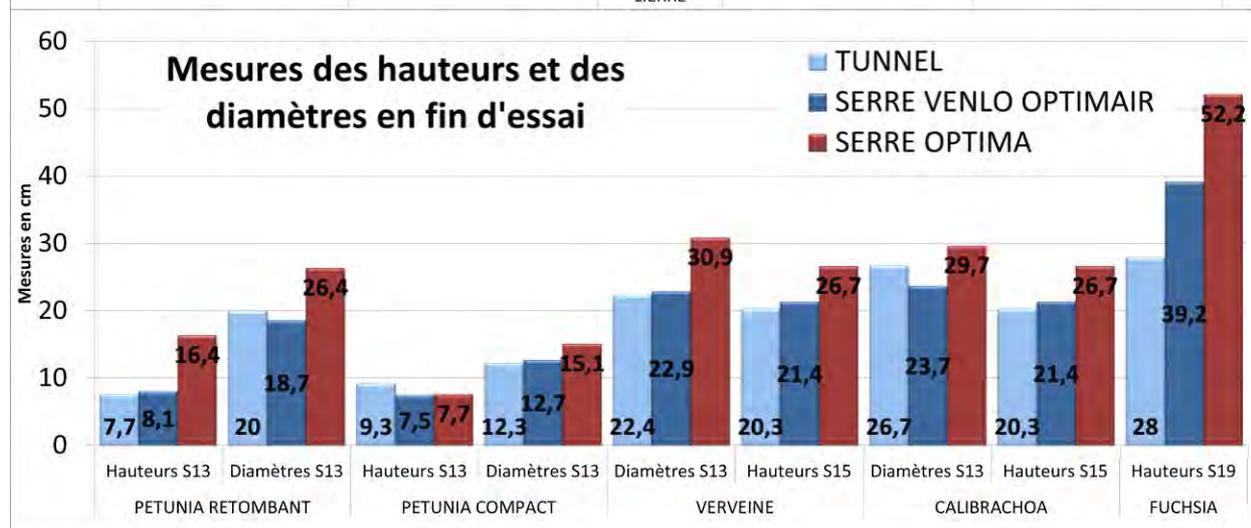
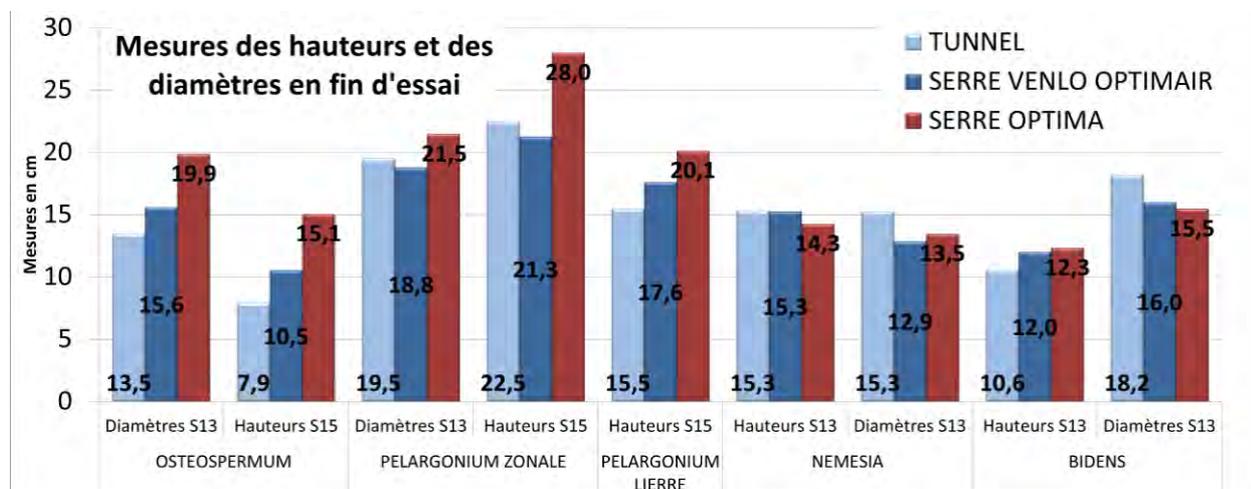
Figures 5 à 14 : Suivi de l'enracinement 16 jours après le rempotage

Environ 15 jours après le rempotage, une notation de l'enracinement est effectuée sur toutes les variétés testées. A cette date, les plantes sont situées dans le compartiment conventionnel avec des consignes de chauffage de 10°C la nuit et 12°C en journée. En ce qui concerne les pots de 0,5L, des différences apparaissent entre les genres végétaux. Les développements racinaires les plus importants sont observés sur l'*Osteospermum* et le *Nemesia* (figures 5 et 6). Le *Petunia* type retombant, le *Calibrachoa*, la *Verbena* et le *Bidens* présentent seulement quelques racines visibles tandis que le *Petunia* type compact n'a pas encore de racines en périphérie de la motte. Concernant les pots de 1,2L, la colonisation racinaire de la motte prend plus de temps malgré les consignes de chauffage favorables. Le *Pelargonium* zonale pourrait être le plus avancé.

En résumé, certaines variétés présentent une vigueur racinaire permettant de réduire la phase d'enracinement sous serre verre. Il serait envisageable de les transférer 10 jours après le rempotage sans conséquence sur le développement de la plante. C'est le cas des 5 premières

variétés illustrées sur les figures 5 à 9 (*Osteospermum*, *Nemesia*, *Petunia* retombant, *Calibrachoa* et *Verbena*).

Croissance des plantes



Figures 15 et 16 : Comparaison des hauteurs et des diamètres moyens des 10 variétés testées dans les 3 modalités

Le suivi des variables de croissance dans les 3 modalités permet de mettre en évidence des différences entre les itinéraires de culture ainsi que des différences de comportement entre les variétés. De même que les années précédentes, il est possible d'établir un classement des plantes en fonction de leur réaction aux températures de culture. Tout d'abord, nous avons les plantes les plus sensibles aux températures basses. Même si les variations Jour/Nuit sont importantes, leur croissance est avant tout régulée par le froid nocturne. *L'Osteospermum* et le *Fuchsia* font partie de ce groupe. Les écarts entre les moyennes de hauteurs ou de diamètres sont significatifs entre les 3 modalités avec un gradient croissant **Tunnel/Venlo/Optima**. Par exemple, la hauteur moyenne des *Fuchsia* est de 28 cm dans le tunnel, 39,2 cm dans la serre Venlo et 52,2 cm dans la serre Optima.

Ensuite, nous avons un deuxième groupe comprenant des plantes sensibles aux basses températures dont la régulation de la croissance dépend d'une somme de degrés sur 24H. Même si les nuits sont froides, la remontée des températures dans la journée suffit à maintenir la croissance. Dans ce groupe, les écarts de développement sont très faibles entre les modalités Tunnel et serre Venlo, tandis qu'ils sont significatifs entre ces dernières et la serre Optima. Par exemple, les hauteurs moyennes des *Verbena* et des *Calibrachoa* sont de 20,3 et 21,4 cm dans le Tunnel et la serre Venlo contre 26,7 cm dans la serre Optima. De même les hauteurs moyennes des *Pelargonium* zonale sont de 22,5 et 21,3 cm dans les deux premières modalités contre 28 cm

dans la Serre Optima. Nous pouvons placer dans cette catégorie, les deux *Pelargonium*, le *Petunia* type retombant, la *Verbena* et le *Calibrachoa*.

Enfin, le troisième groupe comprend les plantes peu sensibles aux basses températures dont la croissance dépend essentiellement des températures en hausse en journée. Plus cette hausse est importante, moins l'effet du froid est visible sur la régulation de croissance des plantes. Les plantes de ce groupe nécessitent d'autres régulateurs de croissance dans l'itinéraire de culture conventionnel permettant d'obtenir une hauteur ou un diamètre final équivalent aux modalités dites froides (voir tableau 2). Par exemple, les hauteurs moyennes des *Nemesia* sont de 15,3 ; 15,3 et 14,3 cm respectivement dans le Tunnel, la serre Venlo et la serre Optima. Dans ce groupe de plantes nous trouvons le *Nemesia*, le *Bidens* et le *Petunia* type compact.

	OSTEOSPERMUM				PELARGONIUM ZONALE				PELARGONIUM LIERRE		NEMESIA		BIDENS					
modalités	Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S15		Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S15		Hauteurs moyennes S15		Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S13		Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S13	
Tunnel	A	13,5	A	7,9	A	19,5	A	22,5	A	15,5	B	15,3	A	15,3	B	18,2	A	10,6
Venlo	B	15,6	B	10,5	A	18,8	A	21,3	AB	17,6	A	12,9	A	15,3	A	16,0	B	12,0
Optima	C	19,9	C	15,1	B	21,5	B	28,0	B	20,1	A	13,5	A	14,3	A	15,5	B	12,3
	PETUNIA RETOMBANT				PETUNIA COMPACT				VERVEINE		CALIBRACHOA		FUCHSIA					
modalités	Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S13		Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S13		Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S15		Diamètres moyens S13		Hauteurs moyennes S15		Hauteurs moyennes S19	
Tunnel	A	20,0	A	7,7	A	12,3	B	9,3	AB	26,7	A	20,3	A	22,4	A	20,3	A	28,0
Venlo	A	18,7	A	8,1	A	12,7	A	7,5	A	23,7	A	21,4	A	22,9	A	21,4	B	39,2
Optima	B	26,4	B	16,4	B	15,1	A	7,7	B	29,7	B	26,7	B	30,9	B	26,7	C	52,2

Tableau 1 : Tests de comparaison des moyennes pour les hauteurs et les diamètres mesurés sur les 3 modalités et les 10 variétés

Variétés	Sem10	Sem11	Sem12	Sem13	Sem14
Pelargonium Survivor Dark Red					
Pelargonium Pacific Violet					
Potunia Neon			M	M	
Petunia Surprise Marine	M	M	M	M	
Calibrachoa Tiki Soft Pink	M	M	M	M	
Verveine Empress Hot Pink Charme	M	M	M	M	
Osteo Swing Royal White					
Bidens Bidy Gonzales			M	M	M
Fuchsia Dark Eyes					
Nemesia Nemo Orange Shade	M3	M3	M3	M3	
légende		Dazide 3g/l			Dazide 5g/l

Tableau 2 : Récapitulatif des applications de régulateurs de croissance en fonction des variétés et des modalités

Les photographies suivantes permettent d'illustrer les 3 groupes de croissance déterminés dans le paragraphe précédent. Elles apportent également une notion de qualité commerciale non traitée auparavant. Elle dépend de l'équilibre de la plante, de l'importance de son couvert végétal, de la qualité de sa floraison,...

Le tableau suivant reprend la qualité de chaque variété en fonction des modalités (tableau 3)

Variétés	M1 TUNNEL	M2 SERRE VENLO	M3 SERRE OPTIMA
Fuchsia Dark Eyes			
Osteospermum Swing Royal White			
Pelargonium Survivor Dark Red			
Pelargonium Pacific Violet			
Petunia Surprise Marine			
Calibrachoa Tiki Soft Pink			
Verveine Empress Hot Pink Charme			
Potunia Neon			
Bidens Bidy Gonzales			
Nemesia Nemo Orange Shade			
Qualité live			
Qualité moyenne			
Qualité faible			

Tableau 3 : Qualités commerciales des 10 variétés en fonction des modalités

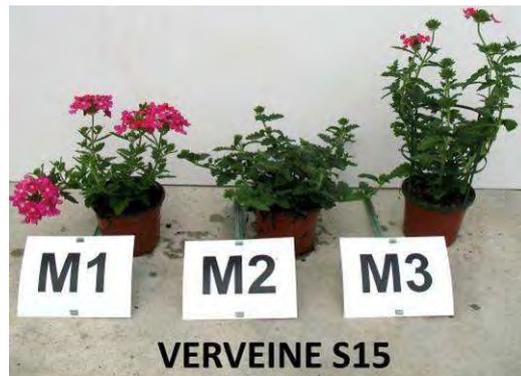
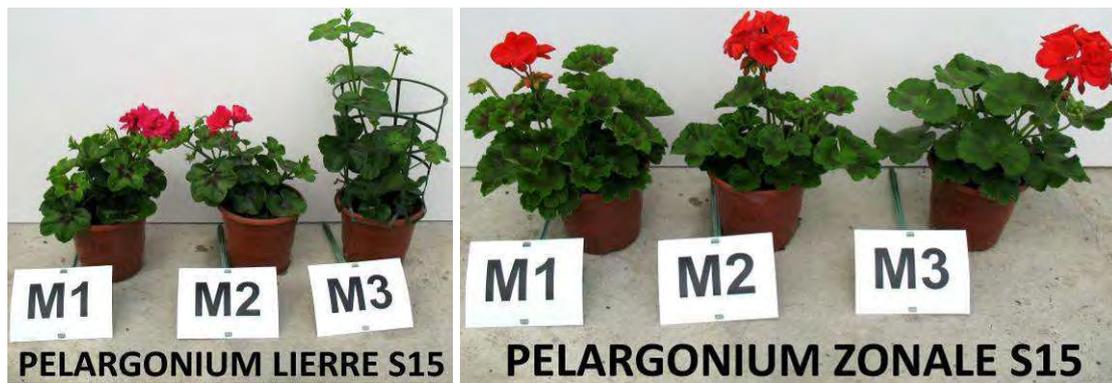
En résumé, les meilleures qualités de plantes se retrouvent dans les modalités Tunnel et serre Venlo. Pour les variétés moins sensibles aux basses températures comme le *Petunia* Potunia Neon, les différences sont moins visibles et la qualité est équivalente dans la serre Optima.



Figures 17

et 18 : Illustration du premier groupe de plantes, deuxième semaine de mai





Figures 19 à 23 : Illustration du 2^{ème} groupe de plantes, dernière semaine de mars



Figures 24 à 26 : Illustration du 3^{ème} groupe de plantes, dernière semaine de mars

Dépenses énergétiques

DONNEES METEOROLOGIQUES

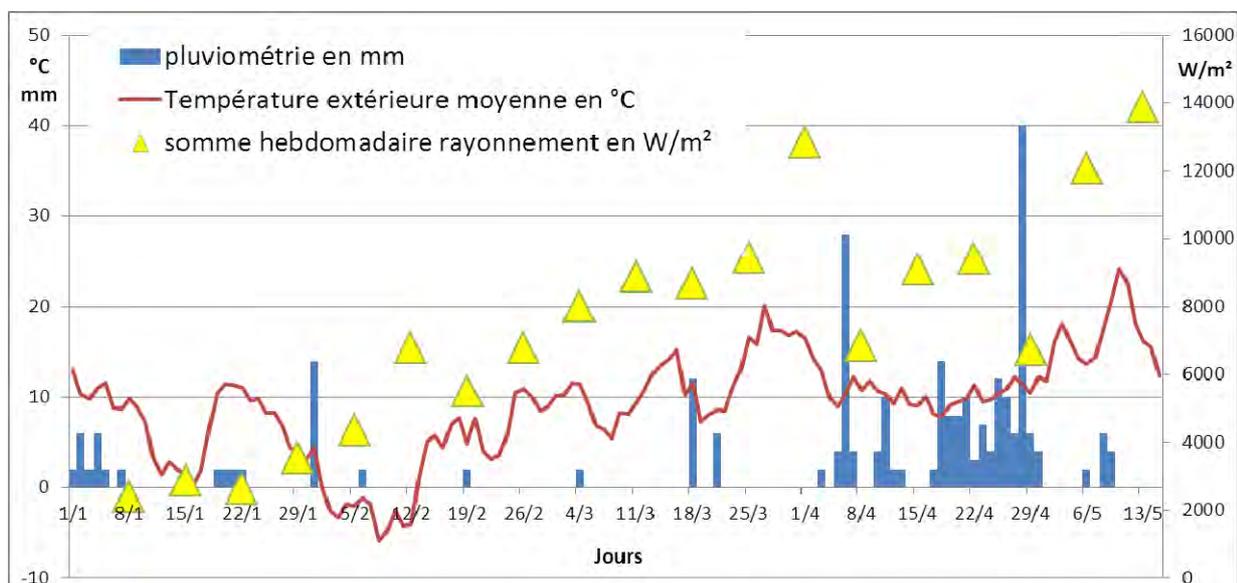


Figure 27 : Températures moyennes extérieures journalières, rayonnement solaire et pluviométrie sur la période de l'essai.

Sur le graphique ci-dessus (figure 27) sont représentées les synthèses de la pluviométrie journalière, du cumul du rayonnement solaire par semaine et de la température extérieure moyenne journalière. Ce bilan est réalisé du 1^{er} janvier au 13 mai 2012. En ce qui concerne l'ensoleillement, celui-ci est faible sur le mois de janvier, augmente progressivement sur février et mars puis chute sur le mois d'avril. La pluviométrie particulièrement importante sur ce dernier mois (190 mm cumulés) explique le manque de rayonnement. Ce qui différencie l'année 2012 par rapport aux deux années précédentes est la moyenne très basse des températures les deux premières semaines de février ainsi que sur le mois d'avril. La superposition des courbes sur la figure suivante illustre les écarts entre les 3 années.

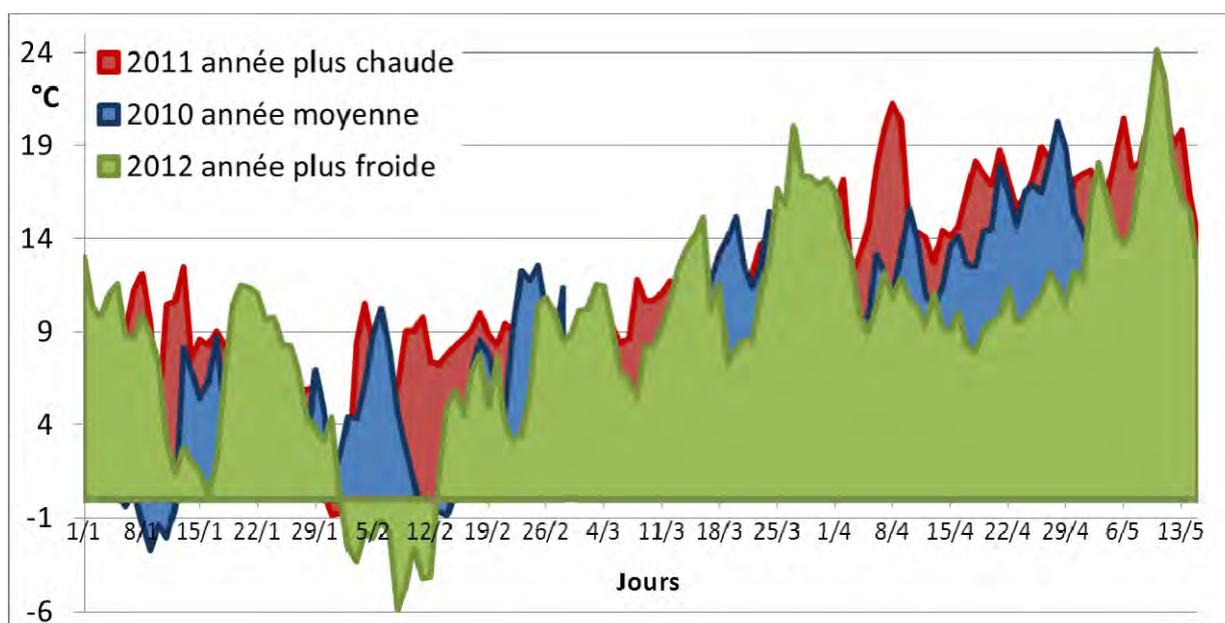


Figure 28 : Comparaison des températures moyennes journalières sur la période de l'essai de 2010 à 2012.

MESURES DE TEMPERATURES DANS LES CULTURES

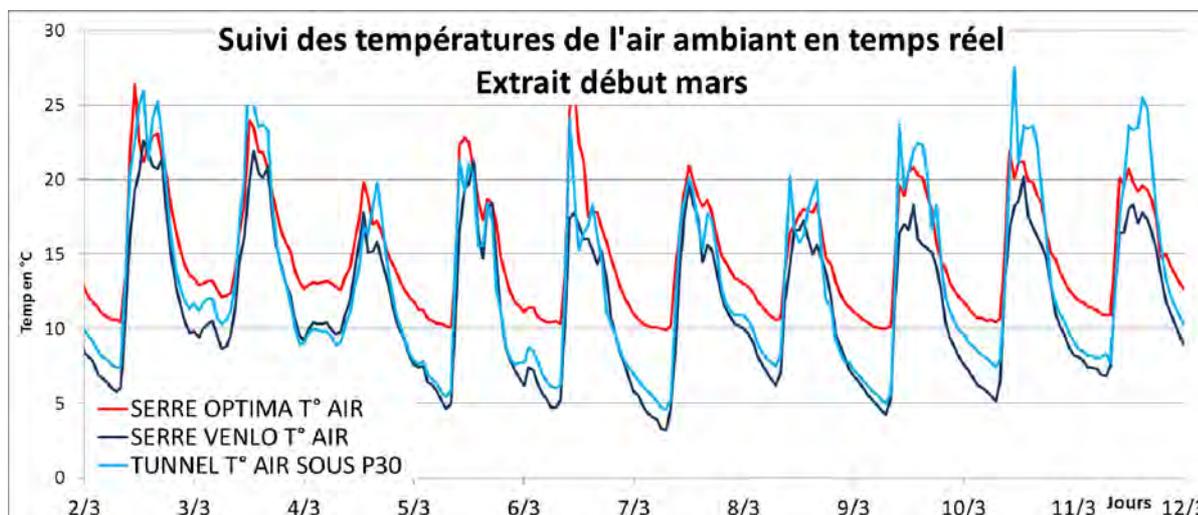


Figure 29 : Comparaison des températures de l'air dans les 3 modalités sur le début du mois de mars

Le suivi des températures de l'air ambiant sous tunnel et dans les deux zones de serre nous montre les différences de variations de températures entre les modalités. Sur ce début du mois de mars, les températures dans la serre Optima vont de 10°C la nuit (consigne de chauffage minimale) à plus de 25°C en journée (aération limitée pour un ensoleillement important). Celles de la serre Venlo varient de 4°C la nuit à 22°C en journée (aération optimale) et celles du tunnel vont de 5°C la nuit (efficacité du P30) à plus de 25°C en journée (aération limitée sous tunnel). Globalement, les écarts de températures les plus importants sont mesurés dans le tunnel compte tenu de l'aération manuelle difficile à maîtriser en journée. Par ailleurs, grâce au maintien des températures sous une ou deux couches de P30, l'itinéraire de culture sous tunnel ne présente pas les températures minimales de l'essai.

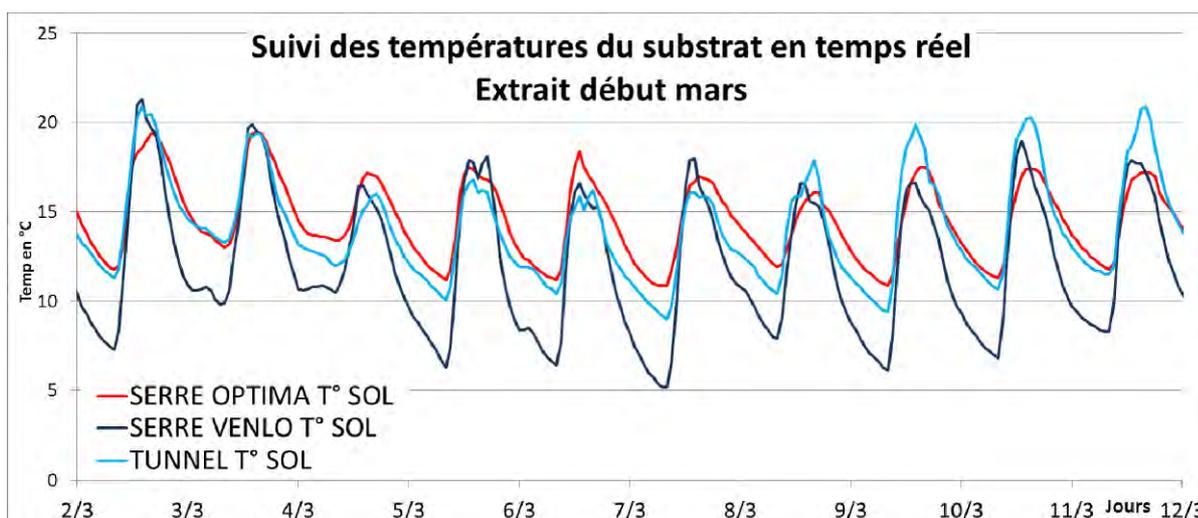


Figure 30 : Suivi des températures de substrat au sein des cultures sur le début du mois de mars

Sur la même période, les températures dans les pots sont mesurées dans les 3 modalités. A nouveau, les températures minimales sont observées dans la serre Venlo, l'écart avec le tunnel est de 4°C pour les températures les plus basses. Ce résultat confirme le retard de croissance pour certaines variétés dans la serre Venlo par rapport au tunnel et le manque de gain en qualité commerciale dans cette modalité.

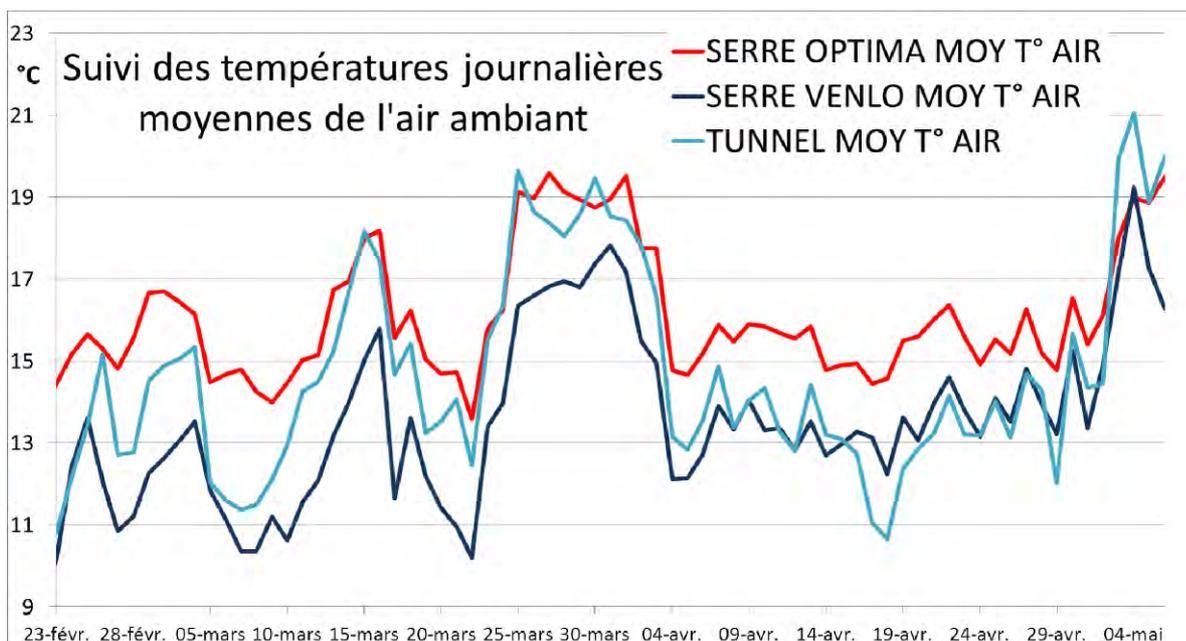


Figure 31 : Synthèse des températures moyennes de l'air de février à mai dans les 3 modalités

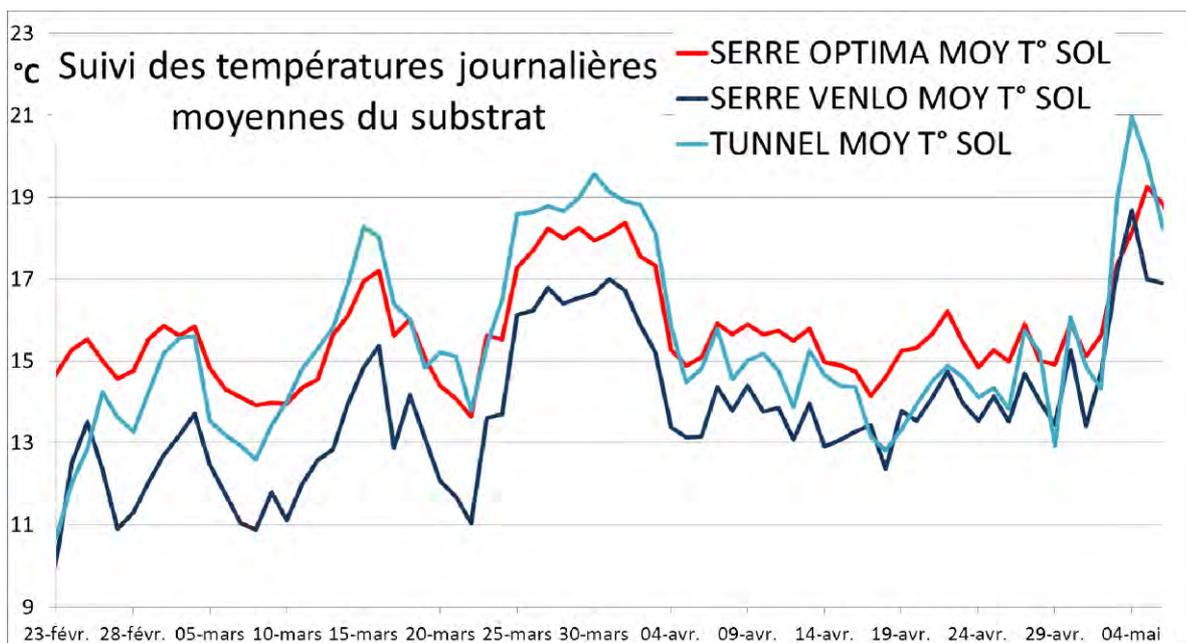


Figure 32 : Synthèse des températures moyennes des substrats de février à mai dans les 3 modalités

Le bilan des températures moyennes de l'air et à l'intérieur des pots sur toute la durée de l'essai confirme les données précédentes. Les courbes bleu foncé correspondant à la serre Venlo se situent au-dessous des deux autres pendant les périodes les plus froides. Les températures maximales sont mesurées dans la serre Optima et dans le tunnel ce qui traduit une aération moins efficace dans ces modalités.

BILAN ENERGETIQUE

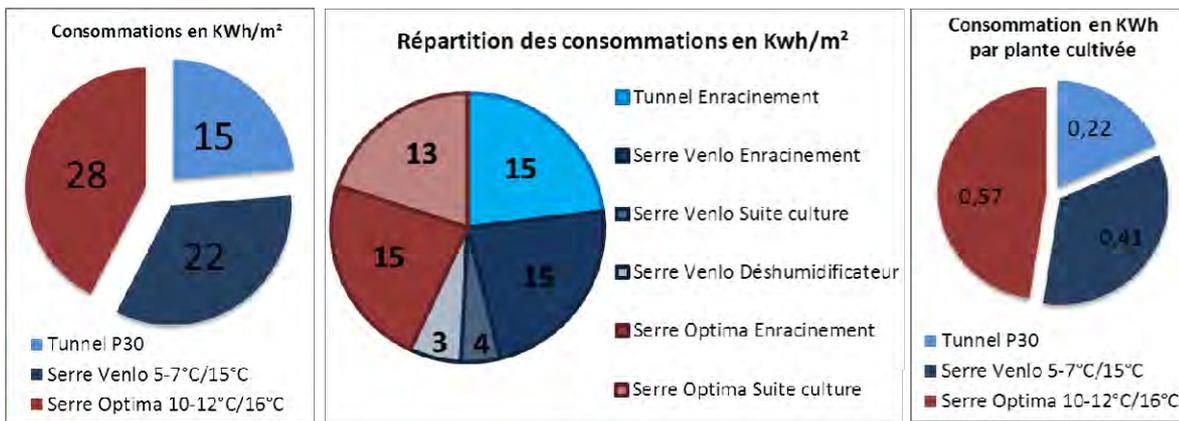


Figure 33 : Consommation du chauffage pour les 3 modalités de janvier à avril 2011

L'année 2012 est particulière par rapport aux autres années. Les deux premières semaines de février ont été particulièrement froides par rapport à 2010 et 2011. Les courbes des températures (figure 34) indiquent une moyenne négative du 1^{er} au 13 février entrainant une consommation en chauffage très importante sur cette période. Elle représente plus du double de la consommation mesurée en 2010, année dans la moyenne du site.

Ces données se retrouvent sur les graphiques synthétisant les consommations globales des modalités sur la durée de l'essai. La période de froid correspond à la phase d'enracinement située dans la serre Optima pour les 3 modalités, représentant 15 KWh/m². A partir du transfert des plantes, la consommation chute sur les semaines suivantes. Au total, nous obtenons 7 KWh/m² supplémentaires dans la serre Venlo (dont 3 KWh/m² pour le déshumidificateur), soit 32% de la consommation globale pour cette modalité. 13 KWh/m² sont enregistrés dans la serre Optima, soit 46% de la consommation globale.

En résumé, le calcul par plante cultivée sur l'essai 2012 nous donne 0,22 KWh dans le tunnel et 0,41 KWh dans la serre Venlo soit respectivement 61% et 28% d'économie par rapport à la serre Optima témoin.

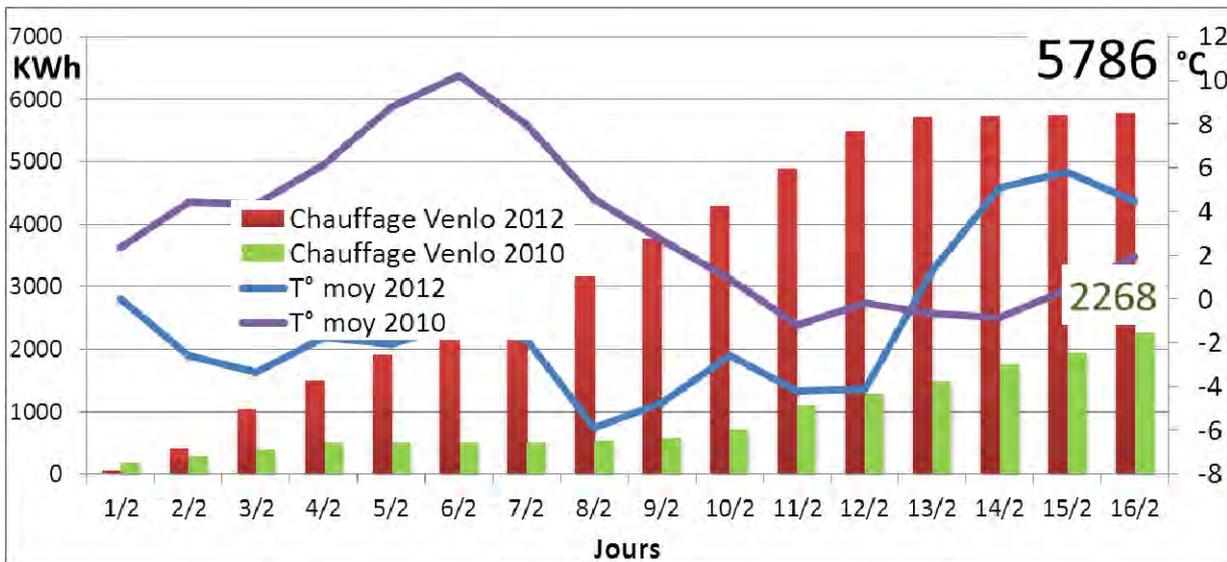


Figure 34 : Consommation en chauffage dans la serre Venlo sur les deux premières semaines de février en 2010 et 2012

Conclusion

L'étude des économies de chauffage par diminution des consignes de températures sur les cultures de plantes annuelles fleuries de printemps est entièrement dépendante des conditions climatiques de l'année. Dans la pratique courante, les producteurs assurent une phase d'enracinement de deux ou trois semaines avec des températures plus élevées après empotage des mottes racinées. Selon les moyennes de températures sur plusieurs années dans le sud-ouest, cette phase correspond aux vraies périodes de froid. En 2012, les relevés météorologiques correspondent à ce schéma ce qui explique les consommations en chauffage plus faibles après la phase enracinement et donc l'économie d'énergie plus limitée dans la serre froide. En revanche, le gain en qualité obtenu en baissant les consignes de températures est bien réel sans nécessiter de régulateurs de croissance supplémentaires. Par ailleurs, l'essai a permis de mettre en valeur l'intérêt du P30 pour protéger les plantes la nuit et contrôler leur croissance par thigmomorphogénèse.

Dans la continuité de cette expérimentation, le travail doit se poursuivre en améliorant cette pratique. Dans un premier temps, il est prévu d'optimiser l'utilisation du P30 sur les plantes en concevant un enrouleur fonctionnel à bas coût. Dans un second temps, l'énergie nécessaire pour la phase d'enracinement doit être réduite. Pour cela, les plantes seront placées directement en serre froide (un minimum de 3°C sera assuré), en parallèle un voile de P30 favorisera l'enracinement la nuit. Le témoin sous serre Optima assurera la comparaison en consommation d'énergie en tant que référence.

Mc Ht M t t

28, Rue du chêne 88700 Roville aux Chênes

Tél. : 03.29.65.18.55 - Fax : 03.29.65.00.10

arexhor@astredhor.fr

SIRET 353 126 865 00032 – APE 0130Z

**ETUDE DE CONDUITES CLIMATIQUES ECONOMES EN
ENERGIE EN PRODUCTION DE FLEURS COUPEES ET DE
PLANTES EN POTS SOUS ABRIS**

**DIMINUTION DES TEMPERATURES DE CHAUFFAGE ET
UTILISATION DE DESHUMIDIFICATEURS
THERMODYNAMIQUES**

- Décembre 2012 -

I. INTRODUCTION

Objectif de l'essai

Associer la déshumidification des serres à une conduite économe en énergie afin de mesurer l'effet de la déshumidification sur la consommation énergétique et sur la qualité sanitaire des végétaux

Acquis des années précédentes

Depuis 2006, la Station Arexhor Grand Est réalise des essais ayant pour objectif l'économie d'énergie dans les serres horticoles. Dès 2006, Priscilla Angelot montre qu'il est possible d'économiser de l'énergie en repotant plus précocement mais en chauffant moins. Ainsi une économie allant de 39% à 68% est réalisée lorsque les températures de consignes sont abaissées de 12°C à 8°C. En 2007, l'étude est poursuivie et complétée par un essai seuil de tolérance, qui consiste à diminuer progressivement les températures de consignes pour atteindre une température de consigne assez faible ne nécessitant plus de chauffage. Cet essai a montré que les plantes réagissaient bien à cette chute de température. Ensuite en 2008, Aurélien Aigle poursuit dans la lancée des deux années précédentes et complète par un essai intégration des températures extérieures. Cet essai est concluant. En 2009, il a été conclu qu'il était possible de produire des plantes à moins de 4€/m². Enfin, l'année dernière, Eulalie Lepain a montré qu'il était possible de produire des plantes à 1°C (après la phase d'enracinement de 3 semaines à 12°C) bien que ces dernières présentent un port plus compact et un léger retard de floraison.

Dans cette optique d'abaisser encore le coût du chauffage, mais également de réduire les risques de maladies fongiques dû aux basses températures, cette année est mis en place un essai déshumidification des serres. Déshumidification qui s'est montrée efficace notamment lors d'essais réalisés au sein du réseau.

Partenaires

- Porteur du projet : CATE
- Partenaires :
 - o Plantes en pot : GIE
 - o Fleurs coupées : SCRADH

1ERE PARTIE

GAMME PRINTANIERE

BIDENS
CALIBRACHOA
FUCHSIA
NEMESIA
OSTEOSPERNUM
PELARGONIUM
PETUNIA
VERBERNA

II. MATERIELS ET METHODES

1. Modalités testées

M1 : Témoin : Rempotage semaine 5. 3 semaines à 12°C jour, 10 °C nuit et aération à 22°C. Puis les températures de consignes baissent à 7°C jour et 5°C nuit avec une aération à 15°C. **Sans déshumidification.**

M2 : Témoin : Rempotage semaine 5. 3 semaines à 12°C jour, 10 °C nuit et aération à 22°C. Puis les températures de consignes baissent à 7°C jour et 5°C nuit avec une aération à 15°C **Avec déshumidification.**

M3 : Rempotage semaine 5. 3 semaines à 12°C jour, 10 °C nuit et aération à 22°C. Puis culture menée sous bitunnel en hors gel (température 1°C).

2. Conditions de l'essai

2.1 Structure d'accueil et lieu

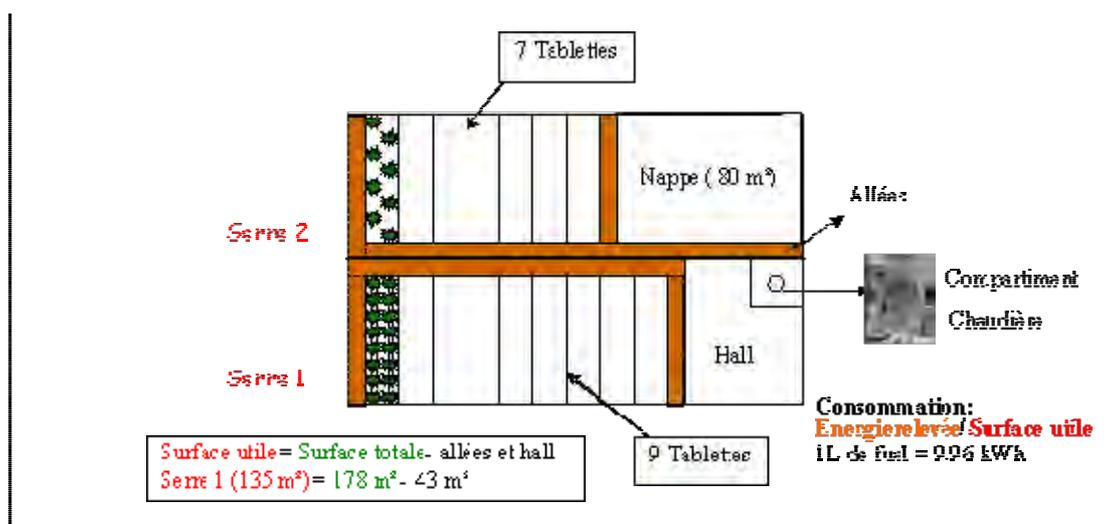
Station AREXHOR Grand Est – 28 rue du Chêne 88 700 Roville aux chênes

2.2 Typologie de la parcelle d'essai

Les plantes de cet essai sont cultivées dans 3 lieux différents :

Tout d'abord une serre verre de la société Marchegay. Cette serre d'environ 500 m², orientée Nord/sud est divisée en 2 compartiments :

- La serre Optima qui est une serre verre de 178m² (135m² de surface utile) possédant à la fois un chauffage aérien grâce à un système de thermosiphon en ceinture et en toiture et un chauffage basses températures via des tuyaux sous les tablettes. L'ombrage est réalisé par des écrans thermiques et l'aération par simple faitage. Enfin, la culture se fait sur des tablettes qui sont en nombre de 9, et l'irrigation est réalisée par sub-irrigation.
- La serre Jumelle qui est une serre verre de 250m² (175m² de surface utile) possédant un chauffage aérien grâce à 2 aérothermes et un chauffage basse température situé sous les tablettes. Comme pour la serre Optima l'ombrage est réalisé grâce à des écrans thermiques mais contrairement à la serre Optima, l'aération se fait via un faitage double, permettant une meilleure aération (mais également une moins bonne étanchéité). Cette serre possède à la fois 7 tablettes et une nappe d'arrosage Lysdrain. L'irrigation se fait donc par sub-irrigation pour les tablettes et par capillarité sur la nappe.



Les consignes des serres sont contrôlées par un ordinateur via le logiciel ARIA (Automatisme Régulation Industrielle et Agricole). La chaudière est dotée de compteurs calorifiques indiquant la consommation énergétique de chacune des serres et de chacun des systèmes de chauffage.

Enfin, le troisième lieu de culture est un bitunnel de 500 m^2 à parois plastiques doubles gonflables. L'aération se fait grâce à des ouvertures automatiques latérales et le chauffage est un chauffage à air pulsé. La culture se fait au sol et est irriguée par nappe d'arrosage. Le bitunnel se découpe en 5 travées séparées par des allées.

2.3 Matériel végétal

FIRME	GENRE	SERIE	Contenant
DUMMEN	BIDENS	Bidy Gonzales	10.5
DUMMEN	CALIBRACHOA	Aloha Tiki Soft Pink	10.5
DUMMEN	FUCHSIA	Dark Eyes	14
DUMMEN	NEMESIA	Nemo Orange Shades	10.5
DUMMEN	OSTEOSPERNUM	Swing Royal White	10.5
DUMMEN	PELARGONIUM	Survivor Dark Red	14
DUMMEN	PEL	iiiilet	14
DUMMEN	PETUNIA	Potunia Neon	10.5
DUMMEN	PETUNIA	Surprise Marine	10.5
DUMMEN	VERBERNA	Empress Hot Pink charme	10.5

2.4 Matériel : Déshumidificateur

Nom : Microdesu Basse températures de la société CMF

Type de déshumidification : Déshumidification par pompe à chaleur

Caractéristiques :

Capacité de déshumidification : 6.6L/H à 20°C à 85% d'humidité relative (HR)
3.5L/h à 10°C et 85% d'humidité relative

Débit d'air : 2500m³/h
 Puissance totale installée : 3.4kW
 Poids : environ 110kg
 Consignes hygrométriques et horloge programmables

Consignes de fonctionnement: La programmation du déshumidificateur s'est faite conjointement avec le GIE et est basée sur les précédents travaux réalisés par le CATE. Le déshumidificateur est programmé pour fonctionner au total 8h par jour de manière séquencée (1h à 2h de fonctionnement continu) et ceci entre 18h et 9h30 le lendemain matin. De plus, dans cette tranche horaire le déshumidificateur est réglé pour que le condensateur se mette en marche (processus de déshumidification en fonctionnement) lorsque l'hygrométrie atteint 75%. En dessous de 70% d'hygrométrie, le condensateur s'arrête seul le ventilateur fonctionne.

SEL 1 (valeur haute) : Hygrométrie = 75%
 SEL 2 (valeur basse) : Hygrométrie = 70%

Les plages horaires programmées sont:
18h- 20h00 3h50 – 4h30
 21h10 – 22h00 5h30 – 6h30
 23h30 – 0h30 7h30 – **9h30**
 1h40 – 2h40

La vague de froid s'est déroulée lors de la phase d'enracinement (phase avec les températures de consignes les plus élevées). Dans un souci d'économie, toutes les plantes ont été regroupées dans une seule serre et le déshumidificateur a été mis en fonctionnement environ 1 jour sur 2 (du 6 février (semaine 6) au 22 février (semaine 8)).

3. Conduite et déroulement de l'essai

3.1 Itinéraire cultural

Semaine 5	Rempotage, pots de 10,5 ou 14 Substrat : Klasmann 559* Fertilisation de fond : Multicote 14-7-24, 6 mois. Dose : 3,5g/l		
Semaine 5 à 8	Phase d'enracinement. Un même lieu de culture Consignes identiques pour toutes les modalités <u>Températures :</u> Jour : 12°C Nuit : 10°C <u>Aération : 22°C</u>		
A partir de la semaine 8	Lieu de culture divergent Consignes de températures et d'hygrométrie différentes.		
	M1	M2	M3
	Serre 7°C J/5°C N Aération 15°C	Serre 7°C J/5°C N Aération 15°C Déshumidification	Bitunnel Hors gel : 1°C

* Substrat Klasmann composé de ¼ de tourbe sphaigne blonde ¼ de tourbe sphaigne noire gelée, ¼ de fibre de tourbe et ¼ de fibre de bois.

3.2 Interventions culturales :

Les interventions culturales seront détaillées plantes par plantes dans la suite du compte rendu, au paragraphe résultats.

4 Mesures

4.1 Mesures réalisées

Point de vue agronomique :

- Mesure du développement de plantes par une mesure de hauteur et de diamètre
- Notation de la qualité commerciale des plantes
- Notation de la floraison
- Suivi des ravageurs et des maladies
- Suivi des traitements phytosanitaires réalisés.

Point de vue climatique :

- Relevé des températures extérieures et de la pluviométrie
- Relevé des températures et hygrométrie au sein des serres

Point de vue énergétique :

- Relevé des compteurs caloriques
- Relevé de la consommation électrique du déshumidificateur

Autre : relevé des quantités d'eau extraites

4.2 Méthode de mesure

Point de vue agronomique :

Les mesures de hauteur, de diamètre ainsi que la notation de la qualité des plantes et de la floraison sont réalisées à la fin de l'essai. La hauteur est en fait la mesure de la tige la plus longue. La mesure est effectuée à partir du collet de la plante jusqu'à l'extrémité de la tige sans la mesure de la feuille. De même le diamètre ne prend pas en compte les feuilles.

Les mesures de hauteur et de diamètre sont traitées statistiquement grâce au logiciel Statbox agri.

La note commerciale est une note comprise entre 1 et 3. 3 étant la note la plus élevée et 1 la moins haute. Cette note commerciale prend en compte les critères de développement de la plante (hauteur, diamètre) mais aussi le port (tiges tordues courbées, bon équilibre de la plante avec des tiges et des fleurs bien réparties, plante vacillante...). Elle permet donc de donner une appréciation générale sur la plante.

Pour la floraison le nombre de plantes fleuries est comptabilisé et traduit en pourcentage de floraison.

Point de vue climatique :

Le relevé des températures extérieures et de la pluviométrie se fait quotidiennement. Sont relevés les températures minimales, maximales et moyennes sur 24h.

De même, le relevé des températures des serres se fait quotidiennement. Les températures minimales, maximales, et moyennes du jour et de la nuit sont relevées ainsi que l'hygrométrie maximale, minimale et moyenne.

Point de vue énergétique :

Le relevé des compteurs calorifiques et de la consommation électrique du déshumidificateur est réalisé tous les jours. L'eau extraite est récupérée dans une grande bassine et la quantité d'eau est mesurée tous les jours grâce à un seau gradué.

Les compteurs calorifiques sont exprimés en kilowattheure. Dans la suite de l'étude ces kilowattheures seront traduits en kilowattheures/m². Pour les calculs, il a été estimé que 9.96 KWh=1L de fioul et que 1L de fioul coûte 0.80 euros.

La consommation électrique du déshumidificateur est relevée grâce à un compteur. Les valeurs obtenues sont en KWh. D'après les factures EDF de l'Arexhor, 1KWh coûte à la station 0.08310€

Pour les calculs il a été pris les données suivantes :

Serre 1 : 178m² et 135 m² de surface utile

Serre 2 : 250m² et 164 m² de surface utile

III.RESULTATS AGRONOMIQUES

Le compte rendu complet est disponibles auprès de

Marie Anne Joussement

AREXHOR GRAND EST

28, rue du Chêne

88700 ROVILLE AUX CHENES

Arexhor@astredhor.fr

Depuis 6 ans, les essais menés, à la station, sur l'abaissement des températures, l'intégration des températures et la culture à zéro énergie ont montré qu'il était possible de réduire le poste chauffage. Afin de compléter ces études et parce que les conduites économes en énergie peuvent engendrer un excès d'humidité qui favorise les maladies fongiques, la station s'est orientée cette année vers la déshumidification des serres grâce à un micro déshumidificateur thermodynamique. Le but étant d'étudier si coupler cultures à basses températures et déshumidification permettrait d'augmenter la réduction du chauffage dans les serres et de réduire les risques sanitaires.

1 Matériel

1.1 Lieux de cultures

Une serre verre divisée en deux compartiments:

- Une serre verre de 178m² (135m² de surface utile) possédant à la fois un chauffage aérien grâce à un système de thermosiphon en ceinture et en toiture et un chauffage basses températures via des tuyaux sous les tablettes. L'arrosage est réalisé par sub-irrigation.
- une serre verre de 250m² possédant un chauffage aérien grâce à 2 aérothermes (air pulsé) et un chauffage basse température situé sous les tablettes. L'arrosage est le même que la serre précédente.

- Le bitunnel est un tunnel plastique à double paroi gonflable, chauffé à 1°C par air pulsé. Les plantes sont cultivées au sol et l'arrosage se fait par nappe d'arrosage.

1.2 Matériel végétal

Divers taxons représentatifs de la gamme des horticulteurs sont utilisés : Bidens, Calibrachos, Dahlias, Euphorbes, fuchsias, Némésias, Osteospernums, Pelargoniums, Pétunias, Sanvitalias, Verveines.

1.3 Microdéshumidificateur

Nom : Microdesu Basses températures de la société CMF

Type de déshumidification : Déshumidification par pompe à chaleur

Caractéristiques :

Débit d'air : 2500m³/h

Puissance totale installée : 3.4kW

Poids : environ 110kg

Capacité de déshumidification : 6.6L/H à 20°C à 85% d'humidité relative (HR)
3.5L/h à 10°C et 85% d'humidité relative



Consignes hygrométriques et horloge programmables

Pour cet essai, le déshumidificateur est programmé pour fonctionner de 18h à 9h30 de manière séquentielle, avec un fonctionnement d'environ 1h à 2h puis un arrêt de 1h à 2h. Au total, il fonctionne 8h par jour. De plus, des consignes hygrométriques sont définies : la déshumidification commence dès 75% d'humidité dans la serre et s'arrête lorsque cette dernière descend sous 70%.

2 Itinéraire cultural

	<p>Phase d'enracinement. Un même lieu de culture Consignes identiques pour toutes les modalités Températures : Jour : 12°C Nuit : 10°C <u>Aération</u> : 22°C</p>		
A	Lieu de culture divergent Consignes de températures et d'hygrométrie différentes.		
	M1	M2	M3
	Serre 7°C J/5°C N Aération 15°C	Serre 7°C J/5°C N Aération 15°C Déshumidification	Bitunnel Hors gel : 1°C

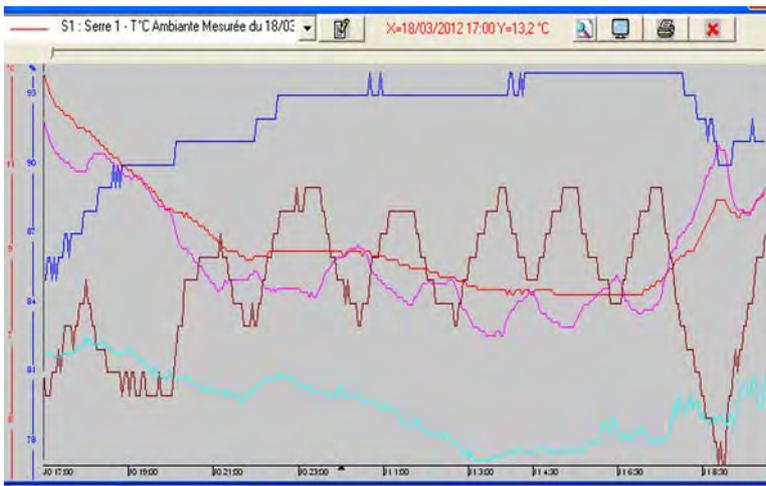
3 Résultats agronomiques

•	A
	<p>Le développement de la variété Aloha est trop poussant sous serre. Placé sous bitunnel, la culture à froid permet d'économiser un pincement ou l'application de régulateur de croissance.</p> <p>Les variétés Trailing se comportent bien sous bitunnel ou sous serre. Quelle que soit la</p>

	<p>variété à hautes températures. Tous les salarbas sont commercialisés à l'automne. Pas d'impact de la déshumidification sur la croissance.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variété aloha à cultiver sous bitunnel • Variétés Trailing peuvent être cultivées sous serre basses températures ou sous bitunnel
Dahlia	<p>Le dahlia est une plante dont la croissance est ralentie par les basses températures. Un effet négatif est observé sur les plants cultivés sous serre non déshumidifiée et même un léger retard de floraison. Bien que non monté dans les années où les salarbas sont plus secs, il a été observé que dans certains cas, il peut être intéressant.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A cultiver sous serre avec déshumidification en cas d'années propices aux botrytis ou oïdium.
Euphorbe	<p>Plante non cultivable à 1°C. Peut être cultivée en serre avec ou sans déshumidification. Pas de retard de floraison avec utilisation de la déshumidification.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A cultiver sous serre basses températures
Fuchsia	<p>La variété retombante Dark Eyes est souvent cultivée sous serre non déshumidifiée. Les rameaux sont plus tendres et plus sensibles. En serre non déshumidifiée, il y a moins de problèmes de mildiou. Les plants sous serre déshumidifiée sont plus petits. L'effet négatif du froid permet d'avoir de meilleurs résultats sous serre à l'arc de plants moins développés. Il est intéressant de noter que l'utilisation du régime de croissance.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A cultiver sous bitunnel <p>La variété Menton Jollies est une variété érigée. Les plants cultivés sous serre non déshumidifiée sont plus petits que ceux cultivés sous serre déshumidifiée.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A cultiver sous serre non déshumidifiée basses températures
Némésia	<p>La hauteur des némésias est variable en fonction des conditions de culture. Un effet négatif est observé sur les plants cultivés sous serre non déshumidifiée. La floraison est plus tardive. Les plants cultivés sous serre déshumidifiée sont plus petits. Les rameaux sont plus tendres et plus sensibles. Il est intéressant de noter que l'utilisation du régime de croissance.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A cultiver sous bitunnel
Ostéospermum	<p>Un effet négatif est observé sur les plants cultivés à 1°C. Il n'y a pas de différence entre la serre déshumidifiée et la serre non déshumidifiée. La floraison est plus tardive. Les plants cultivés sous serre déshumidifiée sont plus petits. Les rameaux sont plus tendres et plus sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A cultiver sous bitunnel pour une économie d'énergie
Pelargonium	<p>Pelargonium zonale (variété Suivre Dak Red) Un effet négatif de la déshumidification est observé sur le retard de floraison. Mais les plants sont toujours plus petits. A cultiver sous serre basses températures et sous bitunnel pour un échelonnement de la période de vente.</p> <p>Pelargonium Lierre (variété Pacific Light) Aucune différence significative n'est observée entre les plants cultivés sous serre déshumidifiée et les plants cultivés sous serre non déshumidifiée. Les plants cultivés sous serre déshumidifiée sont plus petits. Les rameaux sont plus tendres et plus sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A cultiver sous serre basses températures et sous bitunnel
Pétunia	<p>Pétunia Potunia et Pétunia Line Recife Pink Morn Les plants sont plus petits sous serre déshumidifiée que sous serre non déshumidifiée. Pas de retard de floraison impacté. Ils peuvent être cultivés aussi bien à 1°C qu'à 7°C.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peuvent être cultivés aussi

	<p>Pétunia Surprise Marine : Pétunia présente un développement différent de celui de la variété commerciale. Elle a fait du froid et est indispensable pour ne pas avoir appliqué de régulateur de croissance si on les plante sous serre tropicale. Les températures sont trop élevées pour elle.</p> <p>A cultiver sous bitunnel à 1°C.</p> <p>Pétunia Mariaco Line Bally Pink : Pétunia présente un développement différent de celui de la variété commerciale. Elle a fait du froid et est indispensable pour ne pas avoir appliqué de régulateur de croissance si on les plante sous serre tropicale. Les températures sont trop élevées pour elle.</p> <p>Plante à produire sous serre basses températures</p>
	<p>La déshumidification et le froid engendrent des plants plus petits plus compacts. Les plants mesurent à la fin de la période de culture. A l'inverse sous serre non déshumidifiée les plants sont plus grands et plus tardifs à la vente commerciale.</p> <p>A cultiver sous serre non déshumidifiée basses températures</p>
	<p>Les serres sous serre déshumidifiée présentent une température intermédiaire entre les serres non déshumidifiées et les serres à température réduite. Elle a fait du froid et est indispensable pour ne pas avoir appliqué de régulateur de croissance si on les plante sous serre tropicale. Les températures sont trop élevées pour elle.</p> <p>A cultiver sous serre basses températures et sous bitunnel pour échelonner la vente</p>

4 Impact de la déshumidification sur l'hygrométrie et la température de la serre



Les courbes de la serre sans déshumidification sont, à l'inverse, lisses. Naturellement, l'hygrométrie augmente au fur et à mesure que la nuit avance, tandis que la température diminue.

La figure ci-dessus présente les courbes de température et d'hygrométrie de la serre 1 (sans déshumidification) et 2 (avec déshumidification) durant la nuit du 18 au 19 mars 2012. Le graphique commence à 17h le 18 mars et fini à 10h le 19 mars.

Les courbes de températures et d'hygrométrie de la serre avec déshumidification sont oscillantes. A chaque fois que le déshumidificateur est en marche (expl : 18h à 20h) l'hygrométrie diminue rapidement et à l'inverse la température augmente.

5 Résultats économiques et énergétiques

Consommation du déshumidificateur. Journées types

	Journée de grand froid	Journée d'hiver pluvieuse	Journée douce non pluvieuse	Journée douce pluvieuse
Date	7/02	18/03	25/04	23/04

T moy 24h	10.4	6	12.1	7.
Pluométrie mm	0	132	0	48
Raonemen	8	86	23	361
Cons de du kwh	7	3	7	23
Coût €/heure	0.034	0.156	0.036	0.119

◆ Faible coût d'utilisation du déshumidificateur

Comparaison de la consommation énergétique de la serre 1 avec ou non déshumidification.

	Nuits sans déshumidification	Nuits avec déshumidification
Consommation totale kwh	173	137
Nm reschauesente is re Nes	8	60.4
Kwh/h	21.73	21.59

◆ Consommation identique pour chauffer la serre avec ou sans déshumidification

II. Conclusion

L'appareil Micro HortiDeshu s'est révélé facile d'utilisation. Bien que non raccordé à l'ordinateur climatique, le MicroDeshu grâce à son horloge programmable et ses consignes d'hygrométrie est autonome et n'a demandé aucune intervention en cours d'essai. Aucun problème particulier n'est survenu. Seule l'alarme de basse hygrométrie s'est déclenchée du fait d'une hygrométrie trop basse dans la serre mais cela n'a pas empêché le fonctionnement de l'appareil.

Le MicroDeshu présente une bonne efficacité puisque l'hygrométrie diminue rapidement à la valeur demandée. Seul point négatif, l'hygrométrie mesurée par le déshumidificateur est d'environ 5 à 10 points moins importante que l'hygrométrie mesurée par l'ordinateur climatique. Le même phénomène mais de manière moins marquée est présent pour la température mesurée.

Pour ce qui est de l'effet de la déshumidification sur les plantes, rien de significatif n'a été observé. Dans l'ensemble les plantes présentes dans la serre déshumidifiée sont un peu plus petites que celles sous serre non déshumidifiée. Cependant, la différence de taille est trop faible pour impacter réellement sur la valeur commerciale des plantes. De plus, le retard de floraison pour certaines plantes sous serre déshumidifiée est de l'ordre d'une semaine, ce qui n'empêche pas la production d'être commercialisable à la période voulue.

Quant au bénéfice de la déshumidification vis-à-vis des maladies fongiques, comme il n'y a pas eu de pression phytosanitaire, rien n'a pu être observé.

Enfin, d'un point de vue énergétique et économique, l'utilisation du déshumidificateur a montré que la température de l'air sous serre subissait des variations mais finalement la température moyenne reste stable. Ainsi, la déshumidification ne permet pas à proprement parlé d'augmenter la température de la serre et de chauffer moins. Aucune économie n'est donc réalisée. Le gain économique est réalisé par l'utilisation d'une conduite économe en énergie par rapport à une conduite traditionnelle avec des consignes de chauffage plus élevées. C'est ce couplage

déshumidificateur/conduite économe en énergie qui peut permettre un gain économique par rapport à une conduite traditionnelle. Puisque le coût de l'utilisation du Microdéshumidificateur est faible et sera moins important que le coût engendré par des consignes de chauffage de 2 à 4°C supérieures.

En conclusion, dans notre région, l'hiver est sec, l'hygrométrie est donc peu élevée. Ainsi, même dans le cadre de conduites économes en énergie où les températures de consignes sont abaissées et donc le risque de maladie fongique plus élevé que dans des conduites traditionnelles, la pression fongique reste faible et l'utilisation de la déshumidification par un déshumidificateur semble peu pertinente. L'utilisation d'un ventilateur pour brasser l'air pourrait simplement suffire. Cette solution moins coûteuse pourrait faire l'objet d'un essai qui consisterait à comparer l'effet du brassage simple de l'air par un ventilateur par rapport à une déshumidification grâce à un déshumidificateur.

Enfin, puisque l'hygrométrie et la pression fongique étaient faibles en hiver, cet essai est renouvelé sur une période de l'année plus pluvieuse avec une culture plus sensible aux champignons. Ainsi cet automne l'essai sera réitéré sur une culture de poinsettias.

2EME PARTIE
GAMME AUTOMNALE

Poinsettia

II. MATERIELS ET METHODES

2. Modalités testées

M1 : Témoin : Rempotage semaine 27 Consignes de températures de départ de 18°C jour/ 16°C nuit, avec une aération à 25°C. Les consignes de températures sont abaissées par la suite lorsque les poinsettias commencent à rougir (cf 3.3.1) **Sans déshumidification.**

M2 : Témoin : Rempotage semaine 27 Consignes de températures de départ de 16°C jour/ 14°C nuit, avec une aération à 25°C. Les consignes de températures sont abaissées par la suite lorsque les poinsettias commencent à rougir (cf 3.3.1) **Avec déshumidification.**

2. Conditions de l'essai

2.1 Structure d'accueil et lieu

Station AREXHOR Grand Est – 28 rue du Chêne 88 700 Roville aux chênes
Opérateurs : Mme Marie Anne Joussemet et M. Pierre Müller

2.2 Typologie de la parcelle d'essai

Identique à la partie 1, gamme printanière

2.3 Matériel végétal

Poinsettia Premium Red de chez DUMMEN
Poinsettia Bravo Bright Red de chez DUMMEN
Poinsettia Prima Red de chez DUMMEN
Poinsettia Bella Italia Red de chez DUMMEN

2.4 Matériel : Déshumidificateur

Le déshumidificateur est réglé de la même façon que pour la gamme printanière.

3. Conduite et déroulement de l'essai

3.1 Itinéraire cultural

	M1 : Serre 1 Conduite sans déshumidificateur	M2 : Serre 2 Conduite avec déshumidificateur
Rempotage	semaine 27.	
Fertilisation :	Osmocote Hight K 11.11.18 5/6 mois à la dose de 3g/l.	
Arrosage	Sub-irrigation	
Température	Chauffage à partir du 26/09/12 : 18°CJ/16°CN	Chauffage à partir du 26/09/12 : 16°CJ/14°CN
	30/10/12 : 16°CJ/14°CN	30/10/12 : 14°CJ/14°CN
	27/11/12 : 14°CJ/13°CN	27/11/12 : 13°CJ/13°CN
Aération	25°C	

Déshumidificateur		A partir du 15/09/12
Ferti-irrigation	Soluplant 11.11.18 Conductivité 0.8 mS. Du 18/09/12 au 2/10/12 1.2mS. Puis 1.5mS jusque S44. Puis 1,2 mS	
Distançage :	1 ^{er} le 6/08/12 2 ^{ème} le 20/08/12 3 ^{ème} le 6/09/12	
Pincement	Semaine 36 le 6/08/12	
Régulateur de croissance	Bonzi s35, S39 et s42 à la dose de 2ml :l en pulvérisation	Bonzi s35, S39 et à la dose de 2ml :l en pulvérisation
	Nitrate de calcium S40 et S41. Dose 2g/l	
Pythium	27/07/12 : Prévicur N dose 140l/ha en arrosage 27/07/12 : Santhal : 0.5ml/m ² en arrosage	
Sciaride	Trigard – 0.5g/m ² /l – 23/08/12	Entonem le 6/08/12 en arrosage. Préventif. Entonem le 21/09/12 en arrosage pot à pot
Aleurode		Eretmocerus et Amblyseus Swirskii le 30/10/12

4 Mesures

4.1 Mesures réalisées

Point de vue agronomique :

- Mesure du développement de plantes par une mesure de hauteur et de diamètre
- Notation de la qualité commerciale des plantes
- Notation de la floraison
- Suivi des ravageurs et des maladies
- Suivi des traitements phytosanitaire réalisés.

Point de vue climatique :

- Relevé des températures extérieures et de la pluviométrie
- Relevé des températures et hygrométrie au sein des serres

Point de vue énergétique :

- Relevé des compteurs caloriques
- Relevé de la consommation électrique du déshumidificateur

Autre : relevé des quantités d'eau extraites

4.2 Méthode de mesure

Les méthodes de mesures sont identiques à celles de la gamme printanière.

III.RESULTATS AGRONOMIQUES

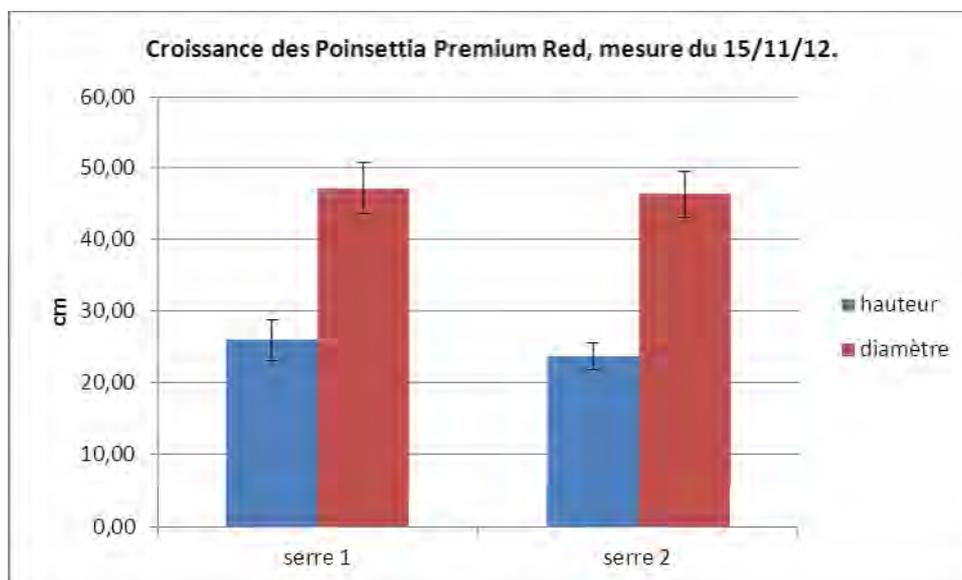
1 Etat sanitaire

La culture a relativement été propre quelle que soit la conduite. Il y a eu quelques sciarides mi-septembre en serre 2 contre lesquelles des Nématodes ont été apportés. Ensuite des Aleurodes sont apparus. D'abord en serre 1, où elles ont été traitées chimiquement et sont disparues rapidement. Puis en serre 2, le traitement contre les Aleurodes a été plus lent à mettre en place. Le lâcher d'auxiliaires a été tardif (fin octobre) c'est pourquoi la population d'aleurode a été plus importante dans cette serre. Cependant, la population d'aleurode n'a pas atteint un stade préjudiciable à la culture.

2 Résultats agronomiques

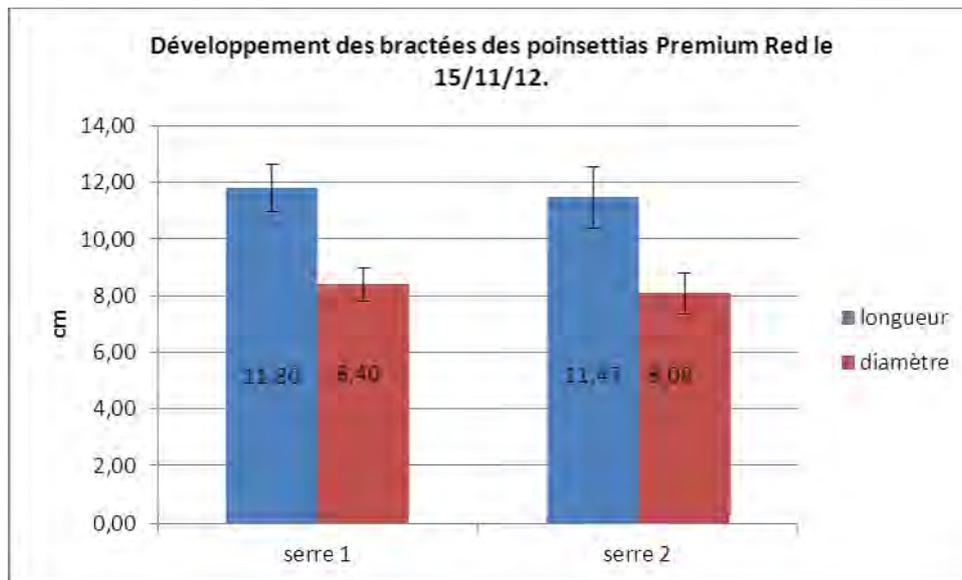
2.1- *Poinsettia Premium Red* de la société DUMMEN

a) Croissance



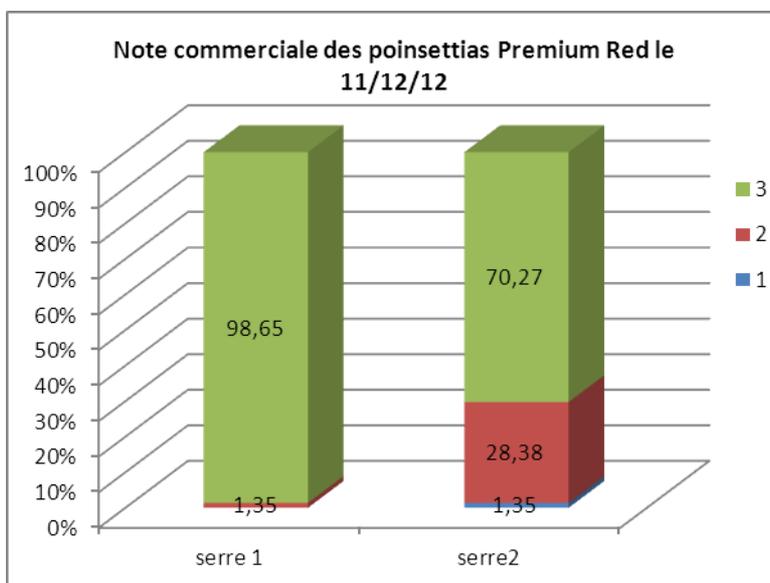
Le test de Newman-Keuls réalisé pour les mesures de hauteur ou de diamètre est non significatif au seuil de 5% d'erreurs dans les deux cas. Ainsi, la croissance des poinsettias cultivés sous serre 1 à des températures de consignes de 18°CJ/16°CN est identique à celle des poinsettias cultivés sous serre moins chaude avec déshumidificateur.

Attention cependant, si la puissance a posteriori à 5% de l'essai pour la mesure de hauteur est de 42%, la puissance de l'essai pour la mesure de diamètre quant à elle est très faible puisqu'elle est de 10%.



Le développement des bractées des poinsettias est identique pour les deux serres de culture. En effet, les tests de Newman-Keuls réalisés sont non significatifs au seuil de 5% d'erreurs. Cependant, comme dit précédemment, les puissances de l'essai pour les mesures de longueur et de largeur sont faibles. Pour la mesure de longueur de bractée la puissance est de 11% et celle de la largeur est de 25%. (valeur moyenne résultant d'une mesure de 3/4 bractées les plus grosses pour obtenir la longueur et la largeur maximales d'un échantillon de 30 plantes).

b) Note commerciale



Une différence est présente entre les deux serres. Les poinsettias situés dans la serre 2, moins chauffée et déshumidifiée ont un pourcentage de note commerciale 3 plus faible que ceux de la serre 1. Cependant, plus de 50% du lot de la serre 2 est de qualité commerciale 3 et donc plus de la moitié du lot peut être vendu sans problème au prix le plus fort. De plus, ceux notés 2, sont de bonne qualité mais ils sont juste un peu plus petits. Ils sont donc tout à fait

vendables..

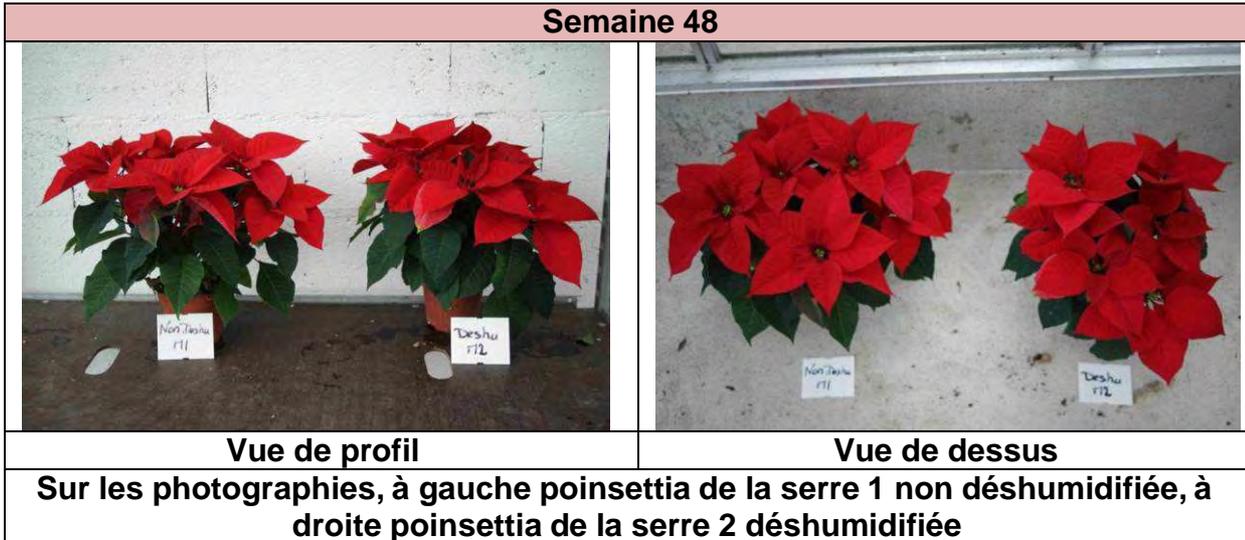


Figure 1 : Photographies des poinsettias représentatifs des classes commerciales. De gauche à droite, classe commerciale allant de 3 à 1. Vue de profil et vue de dessus.

c) Evolution du rougissement

Semaine 41	
	
Vue de profil	
Sur les photographies, à gauche poinsettia de la serre 1 non déshumidifiée, à droite poinsettia de la serre 2 déshumidifiée	
Semaine 44	
	
Vue de profil	Vue de dessus
Sur les photographies, à gauche poinsettia de la serre 1 non déshumidifiée, à droite poinsettia de la serre 2 déshumidifiée	

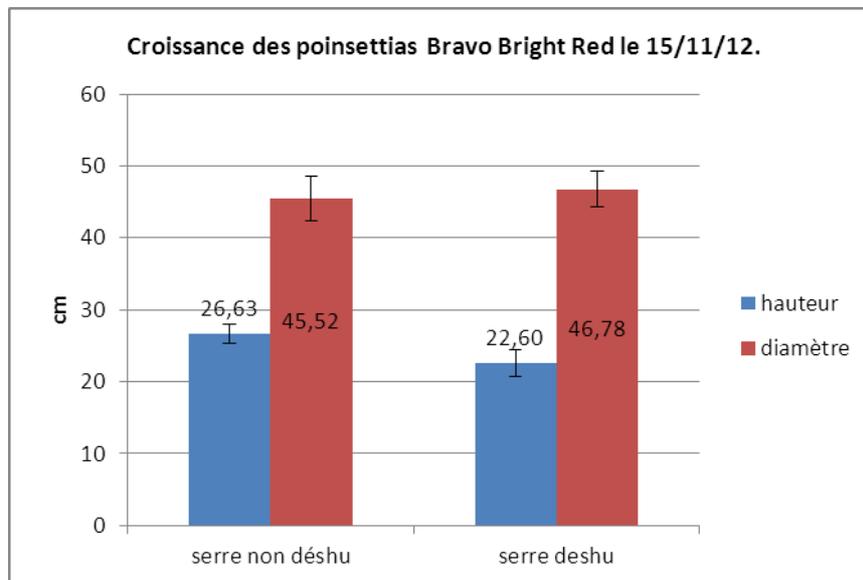
Semaine 48



En semaine 41, les poinsettias Premium Red placés dans les deux serres commencent à rougir.

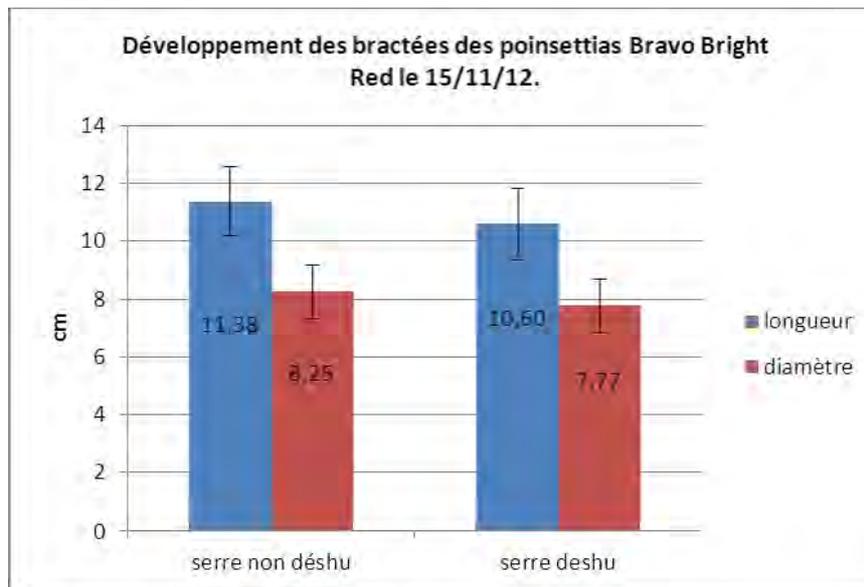
2.2- Bravo Bright Red de la société DUMMEN

a) Croissance



Le test de Newman-Keuls réalisé pour la hauteur est significatif au seuil de 5% d'erreurs. Les poinsettias cultivés en serre 2 avec déshumidification et des températures de consignes moins élevées que celles de la serre 1, sont significativement plus petits que les poinsettias de serre 1. La puissance de l'essai est de 91%.

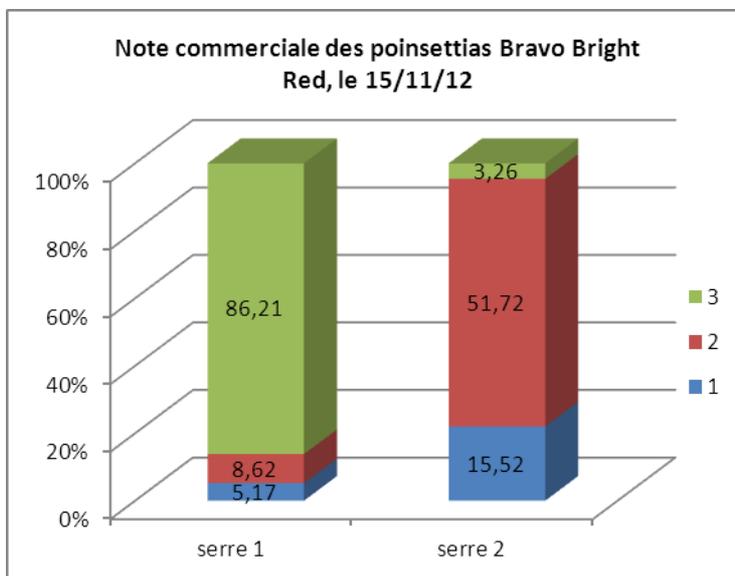
En revanche pour le diamètre, le test statistique de puissance égale à 36%, ne révèle aucune différence significative pour le diamètre des poinsettias.



Le test de Newman-Keuls réalisé pour la longueur des bractées a une puissance à postériori de 68%. Le test est significatif au seuil de 5% d'erreurs. Le 15/11/12, la longueur des bractées est plus importante pour les poinsettias cultivés sous serre 1 que sous serre 2.

En revanche, la largeur des bractées est non significativement différent puisque le test de Newman-Keul, avec une puissance à postériori de 58%, est non significatif.

b) Note commerciale



Les poinsettias sous serre 1 cultivés à températures plus élevées sont de qualité commerciale plus élevée puisque 86% du lot appartiennent à la classe 3, contrairement à ceux sous serre 2 qui appartiennent majoritairement à la classe 2. La grande différence entre les classes est essentiellement la taille. Ceux de la classe 2 sont « beaux » c'est-à-dire équilibrés, avec au moins 3 bractées mais sont plus petits que ceux de la classe 3. Ils n'en restent

pas moins commercialisables.



Figure 2 : Photographies des poinsettias représentatifs des classes commerciales. De gauche à droite, classe commerciale allant de 3 à 1. Vue de profil.

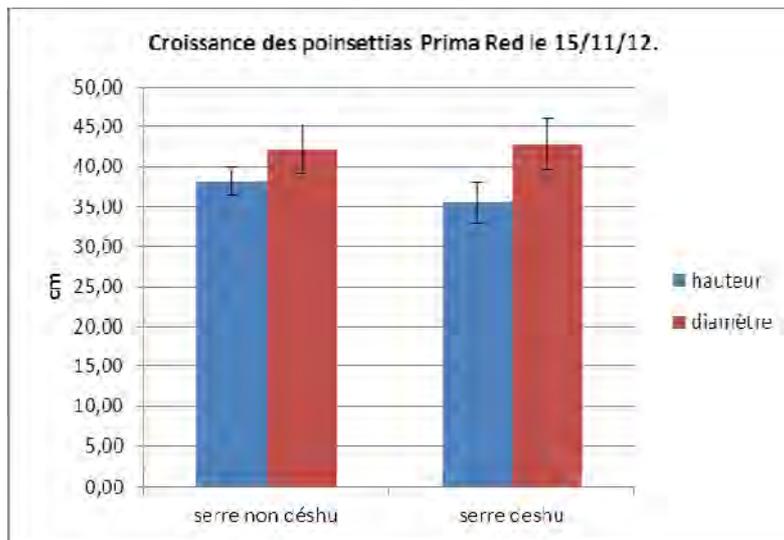
c) Evolution du rougissement

Semaine 41	
	
Vue de profil	
Sur les photographies, à gauche poinsettia de la serre 1 non déshumidifiée, à droite poinsettia de la serre 2 déshumidifiée	
Semaine 48	
	
Vue de profil	Vue de dessus
Sur les photographies, à gauche poinsettia de la serre 1 non déshumidifiée, à droite poinsettia de la serre 2 déshumidifiée	

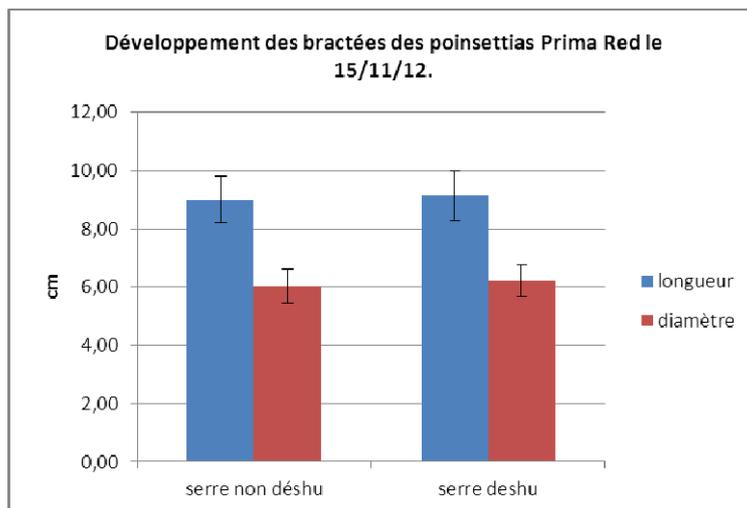
Les poinsettias Bravo Bright Red commencent à rougir plus faiblement en semaine 41 sous serre 2 que sous serre 1. En semaine 48, le rougissement est identique dans les deux serres mais les poinsettias sous serre 2 moins chauffée présentent une hauteur plus petite.

2.3- Prima Red de la société DUMMEN

a) Croissance

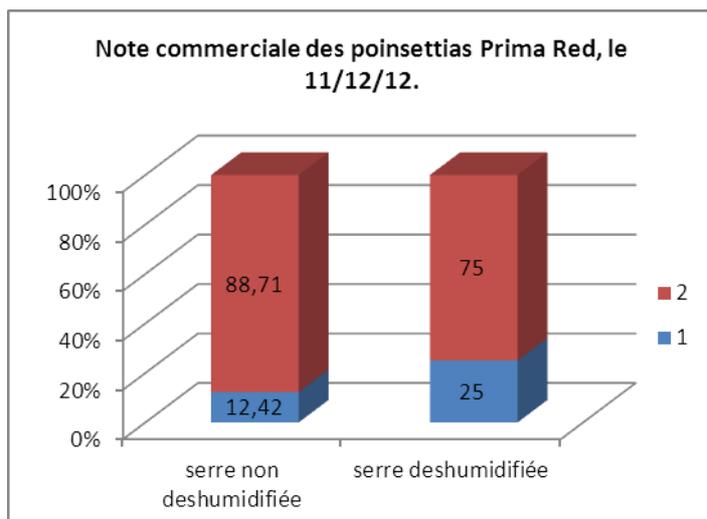


Aucune différence significative n'est montrée au seuil de 5% d'erreurs que ce soit pour le diamètre ou la hauteur des poinsettias. En effet les tests de Newman-Keuls réalisés sont non significatifs au seuil de 5%. Attention toutefois, la puissance des essais est respectivement de 6% et 25. Elle est donc très faible.



Les résultats sont les mêmes que pour le développement de la plante ; Les tests statistiques sont non significatifs au seuil de 5% d'erreurs mais ces derniers ont une puissance faible. En effet, la puissance a posteriori du test de Newman-Keuls pour la longueur des bractées est de 6% tandis que celle du test pour le diamètre est de 7%.

b) Note commerciale



Aucune différence dans la qualité commerciale des plantes n'est observée entre des poinsettias cultivés sous serre 1 à des températures de 18°C à 16°C, par rapport à des poinsettias cultivés sous serre 2 à des températures de culture de 16°C à 14°C.



Figure 3: Photographies des poinsettias représentatifs des classes commerciales. De gauche à droite, classe commerciale allant de 2 à 1. Vue de profil et vue de dessus.

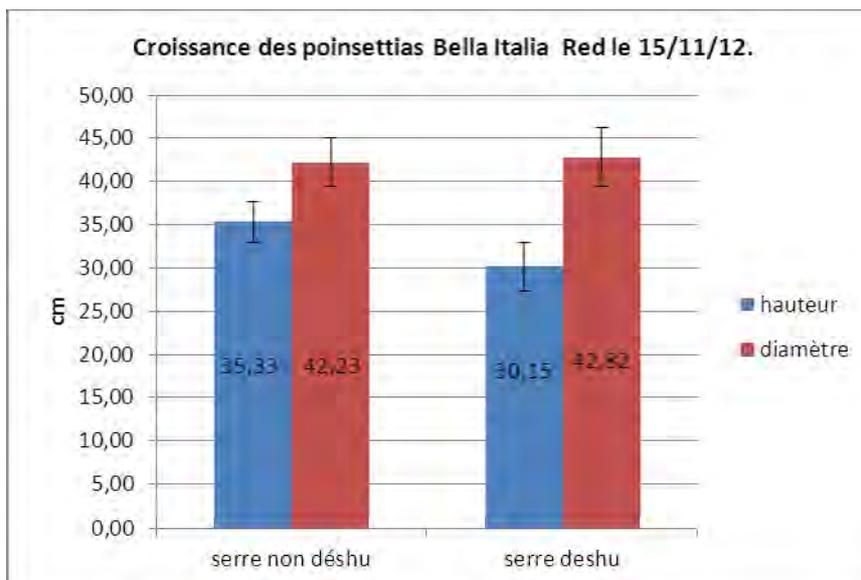
c) Evolution du rougissement

Semaine 41	
Vue de profil	
Sur les photographies, à gauche poinsettia de la serre 1 non déshumidifiée, à droite poinsettia de la serre 2 déshumidifiée	
Semaine 48	
Vue de profil	Vue de dessus
Sur les photographies, à gauche poinsettia de la serre 1 non déshumidifiée, à droite poinsettia de la serre 2 déshumidifiée	

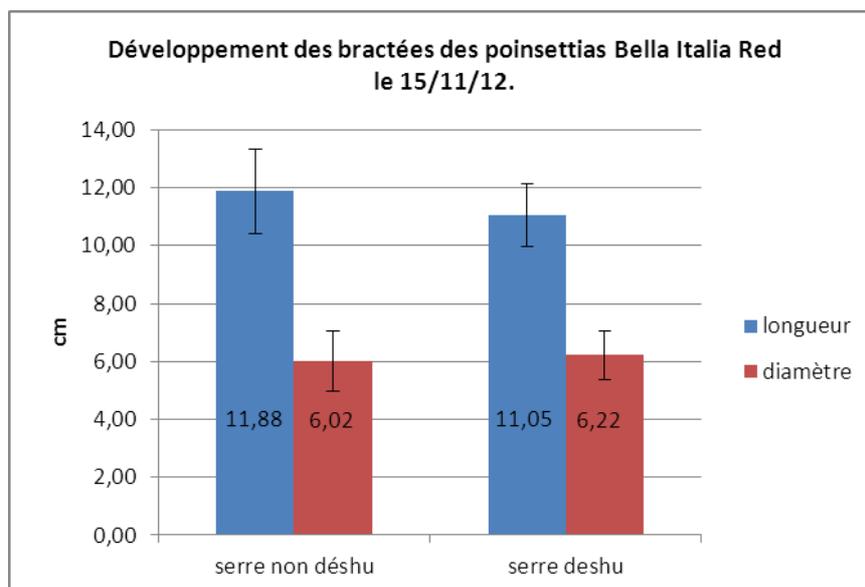
En serre 2 déshumidifiée, quelques nuances de rouge apparaissent sur le feuillage des poinsettias.

2.3- Bella Italia Red de la société DUMMEN

a) Croissance

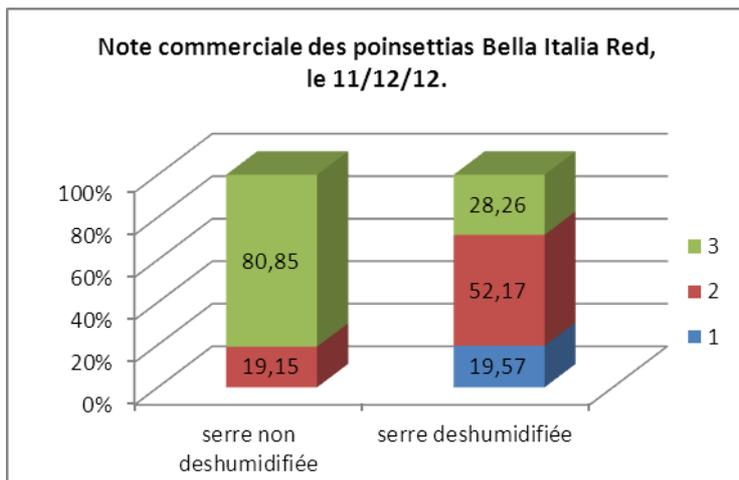


Les tests statistiques réalisés ne montrent aucune différence significative au seuil de 5% d'erreurs. La puissance de l'essai pour la hauteur est de 39% et celle pour le diamètre est de 26%. Les puissances sont donc plutôt faibles. Le 15 novembre, les poinsettias Bella Italia ont tous le même développement bien que les températures de consignes soient différentes.



Au seuil de 5% d'erreurs, le test de Newman-Keuls avec une puissance de 34%, est non significatif pour la longueur des bractées. A contrario, avec une puissance de 66%, le test est significatif au seuil de 5% d'erreur pour le diamètre des bractées. Ainsi, les bractées des poinsettias cultivés sous serre 1 se révèlent avoir un diamètre supérieur à celles des poinsettias placés sous serre 2.

b) Note commerciale



Les poinsettias cultivés sous serre plus chaude (n°1) ont un pourcentage de plantes appartenant à la classe 3 plus important que les poinsettias cultivés en serre plus froide (n°2).

En effet 80% d'entre eux sont de qualité commerciale 3 contre 28% pour les poinsettias de la serre 2

La majorité des poinsettias de la serre 2 appartiennent à la classe 2 qui diffère de la classe 3

essentiellement par le critère taille. Ceux de la classe 2 sont moins hauts et de diamètre moins développés. Cependant, ces poinsettias n'en restent pas moins tout à fait vendables. En revanche, sous serre 2, les poinsettias Bella Italia Red présentent des plantes appartenant à la classe 1. Cette classe regroupe les poinsettias « difformes » ou pas encore assez fleuris et donc impropres à la vente au moment de la notation.



Figure 4: Photographies des poinsettias représentatifs des classes commerciales. De gauche à droite, classe commerciale allant de 3 à 1. Vue de profil.

c) Evolution du rougissement

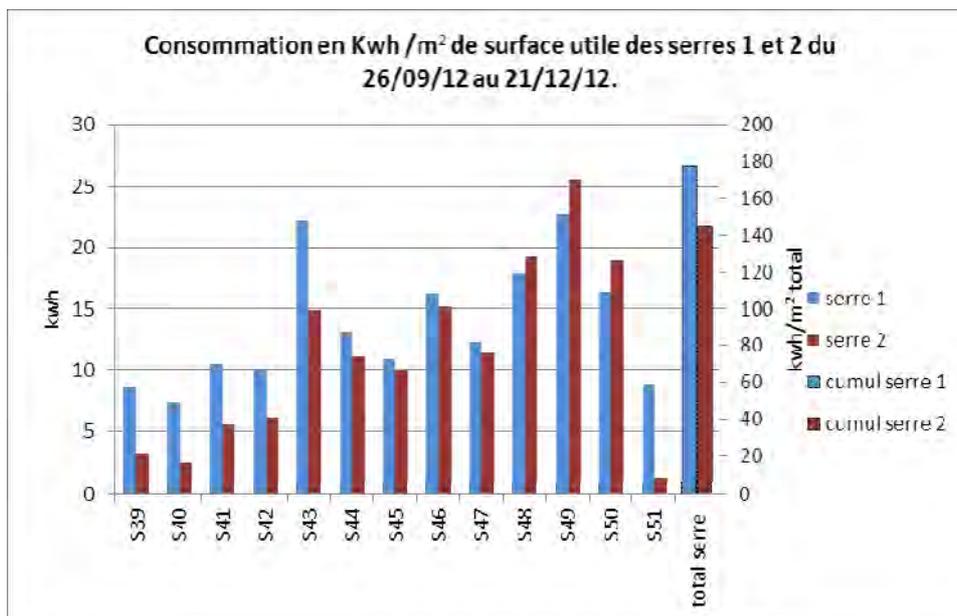
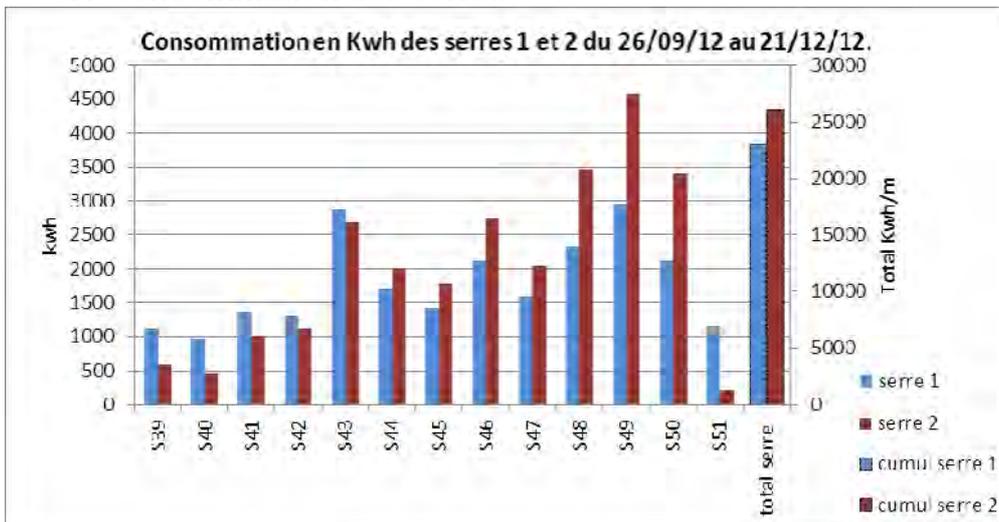
Semaine 41	
	
Vue de profil	
Sur les photographies, à gauche poinsettia de la serre 1 non déshumidifiée, à droite poinsettia de la serre 2 déshumidifiée	
Semaine 48	



A partir de la semaine 41, les poinsettias Bella Italia Red commencent à rougir faiblement, quelles que soient les consignes de températures de chauffage.

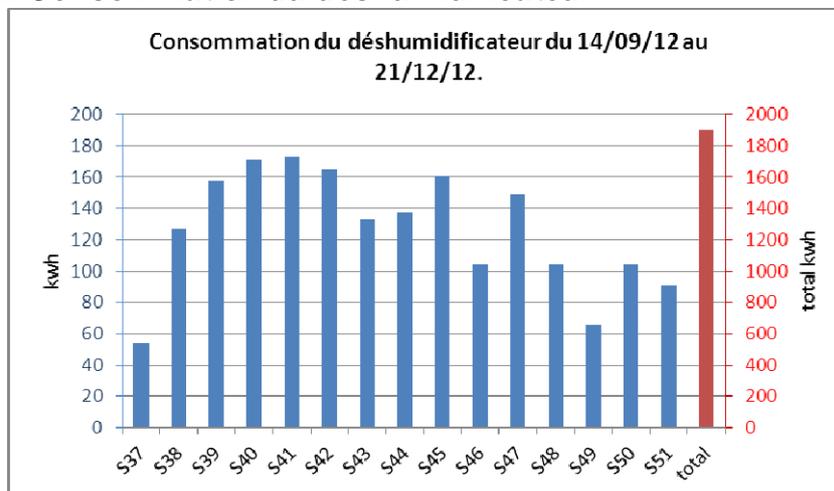
3 Résultats énergétiques et économiques

3.1 Consommation des serres



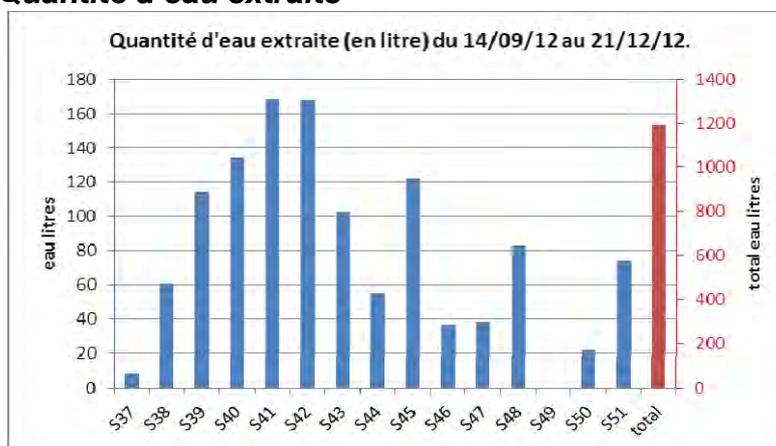
Sur la période totale de l'essai, la serre 2 a consommé 18% de moins de kwh/m² de surface utile que la serre 1, ceci en réduisant la température de chauffage d'environ 2°C.

3.2 Consommation du déshumidificateur



Au total le déshumidificateur a consommé 1898 kWh sur une période d'environ 15 semaines, à raison de 8h/jours. Soient 101 jours de fonctionnement et 808 heures d'utilisation. Finalement, le déshumidificateur consomme 2.349kwh/heure.

3.3 Quantité d'eau extraite



1189 litres d'eau ont été extraits grâce au Microdéshumidificateur Basses Températures sur les 15 semaines d'essai.

3.4 Calcul économique

Pour réaliser ce calcul les données suivantes ont été prises :

- Il est considéré que les serres sont entièrement occupées par une culture de poinsettias uniquement. Le calcul de coût de revient du chauffage par plante est donc basé sur ce fait.
- 1 tablette d'environ 14m² contient 100 poinsettias distancés (distançage fin de culture). Soit 7 poinsettias par m². Seul ce calcul d'occupation de la serre est utilisé pour le calcul économique.
- Enfin, les surfaces utiles des serres sont utilisées pour le calcul et non pas les surfaces totales.
Ainsi la serre 1 chaude a une surface utile de 130m²

La serre 2 froide a une surface utile de 180m².

1 litre fioul = 8kwh

1 litre fioul = 0.8€

1kwh électrique = 0.080€

		Serre 1 chaude	Serre 2 froide
	Surface utile	130	180
Chauffage	Consommation chauffage kwh	23038	26079
	Litre de fioul	2879	3259.8
	euros	2303.8	2607.9
	€/m ²	17.7	14.48
	€/plante	2.52	2.06
	Gain		-18.3%
Déshumidificateur	kwh		1898
	euros		151
	€/m ²		0.83
	€/plante		0.12
Coût total	€/plante	2.52	2.18
			-13.5%

Réduire les températures de consignes d'environ 2°C , permet, ici dans le cadre de l'essai, d'économiser 18% en ce qui concerne le chauffage. En ajoutant le coût du déshumidificateur, le gain diminue à 13,5%

IV CONCLUSION

Les poinsettias situés dans la serre 2 moins chauffée peuvent parfois, suivant la variété étudiée, avoir une qualité commerciale un peu moins bonne que ceux de la serre 1 ; Cependant, les poinsettias ont tous été vendus en gros au même prix. En effet, ici, la qualité commerciale est surtout basée sur la taille de la plante puisque très peu sont déséquilibrés ou ont un nombre de bractées inférieur à 3. Donc, tous ou presque sont vendables et de bonne qualité.

Ainsi, la diminution de chauffage couplée au déshumidificateur, a permis ici d'économiser 13,5% du coût de revient en euros/plante.

ANNEXE 1 Températures des serres

