



Station de l'Institut technique de l'horticulture



Station de l'Institut technique de l'horticulture



Station de l'Institut technique de l'horticulture



Station de l'Institut technique de l'horticulture

**ASTREDHOR  
PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE  
APPLIQUEE ET D'ETUDES 2013**

**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**

**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 :

**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 et 120 \$ le baril en janvier 2012, après avoir déjà 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 m<sup>2</sup> (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 évaluées. 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 :**
  - **Pour les plantes de serre chaude : Cyclamen, Poinsettia**
  - **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 repotage pour arriver à la même période au printemps et en sélectionnant les cultivars les plus résistants au froid.**

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.

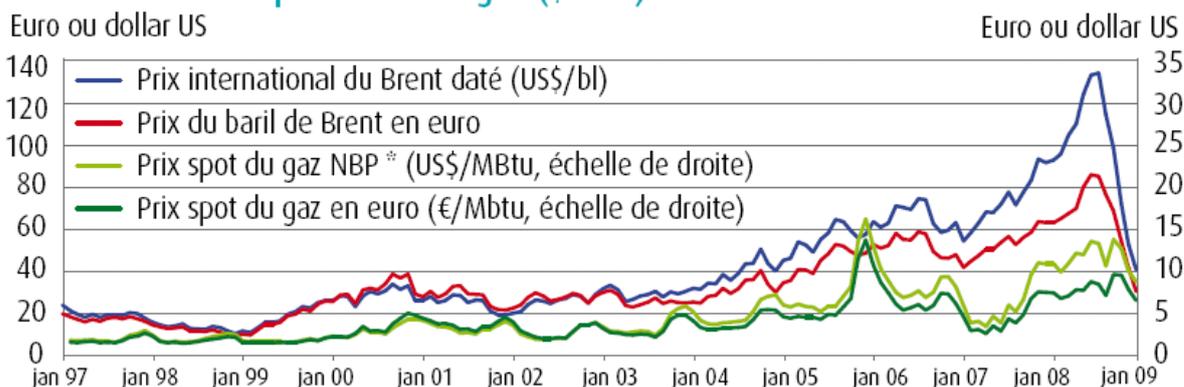
## II. SITUATION ACTUELLE DU SUJET DE RECHERCHE

### 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.

## Prix mensuels du pétrole et du gaz (\$ et €)



Depuis 2009, les cours sont repartis à la hausse pour atteindre à nouveau 120 \$ le baril au début de l'année 2012.

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 /m<sup>2</sup> d'abri chauffé (+ 8,5 KWh d'électricité /m<sup>2</sup> 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 /m<sup>2</sup> /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 thermique.

- 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 (phytomonitoring, 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 : déshumidificateur thermodynamique, échangeur double flux.

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 réaliser 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  $\frac{3}{4}$  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 /m<sup>2</sup>). 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 /m<sup>2</sup> 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) /m<sup>2</sup> de serre et de 13 KWh d'électricité pour le fonctionnement du déshumidificateur. Si nous avions 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 /m<sup>2</sup>. L'écart entre les 2 conduites en terme de coût /m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup>.

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 apparait :

- 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/m<sup>2</sup>.
- 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 symptôme 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**



**Pelargonium Sunrise XL Leon Rouge S15**



**Osteospermum Cape daisy Terracotta S15**



**Petunia Pegasus Table Burgundy S15**



**Pelargonium Royal Blue S15**



**Petunia Surfina Table Dark Red S15**



**Bidens Port Royal S15**



**Nemesia Angelart Raspberry S15**



**Verbena Vepita Fire 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 *Osteospermum*, 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.

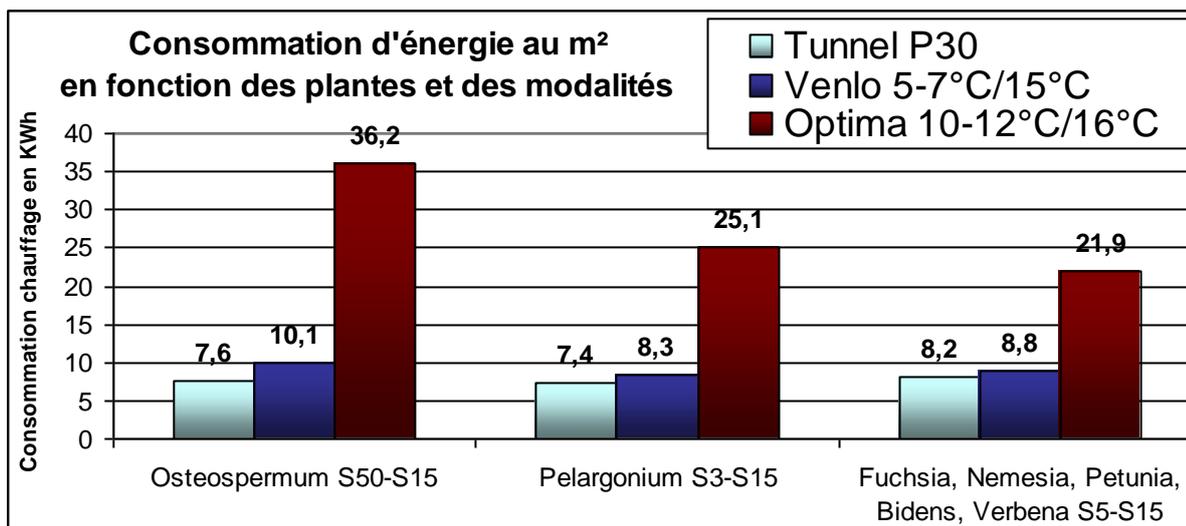


Figure 15 : Consommation du chauffage pour les 3 modalités de janvier à avril 2011

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 m<sup>2</sup> soit 0,1 KWh par plante (densité de 80 plantes au m<sup>2</sup> 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 culturaux 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 repotage 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 /m<sup>2</sup> pour le chauffage. La modalité 1 qui représente la méthode de production de référence (12°C jour – 10°C nuit) consomme 45,6 kWh/m<sup>2</sup>. Avec la modalité n°2, la consommation est de 22 kWh/m<sup>2</sup>. 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 rempotage 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%.

### I. 3. Résultats acquis en 2012 :

Les principaux acquis du programme réalisé en 2012 sont les suivants :

#### En fleurs coupées sur Giroflée d'hiver (CATE) :

Après avoir été expérimentée sur Lisianthus, espèce ayant des besoins importants en énergie, la déshumidification thermodynamique a été expérimentée sur une culture de Giroflée plantée à l'automne (semaine 42 de 2011) pour une production d'hiver (mars 2012). Cette espèce est moins exigeante en température que le Lisianthus mais exige tout de même pour ce créneau de production un chauffage minimum à 12°C. La déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique a été utilisée pour éviter

les excès d'hygrométrie et permettre de mettre en œuvre une conduite climatique économe en énergie basée sur un confinement important de la serre pour limiter les déperditions de chaleur.

Du fait que les besoins en température de ces espèces sont inférieurs à ceux du Lisianthus, l'intérêt du déshumidificateur est moindre en période où le climat est doux à l'extérieur. Par contre, un très bon état sanitaire du feuillage a cependant été obtenu pour cette culture qui est en principe assez sensible au mildiou dès que l'hygrométrie est importante.

Les données sont en cours d'analyse.

#### En Rosier pour la fleurs coupées (SCRADH) :

La comparaison a été poursuivie entre une culture de rosier conduite sous serre plastique DPG avec déshumidification par déshumidificateur thermodynamique par rapport à une culture sous une serre verre adjacente conduite avec les mêmes consignes climatique mais avec une déshumidification classique par chauffage et aération. Cette comparaison porte sur 3 variétés : Milva, Dukat, Sweet Avalanche.

La conduite du climat est une conduite économe en chauffage avec des consignes variant dans le temps de 5°C à 15°C en fonction du stade phénologique des tiges et des conditions climatiques naturelles pour une récolte en coupe.

L'hiver 2010-2011 avait été mis à profit pour acquérir et installer le matériel de déshumidification dans la serre 7, et pour procéder aux premières observations de fonctionnement, en attente de validation définitive du programme.

En mars 2011 des plantations de MILVA avaient été réalisées afin de compléter la comparaison entre les serres, déjà réalisée sur DUKAT et SWETT AVALANCHE.

Notons que sur le premier semestre 2011 la première impression avait été plutôt positive d'un point de vue technique puisque la culture en serre avec déshumidificateur avait une bonne qualité.

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).

#### a) Qualité et rendement des plantes dans les modalités de conduite dites « économiques »

- 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.

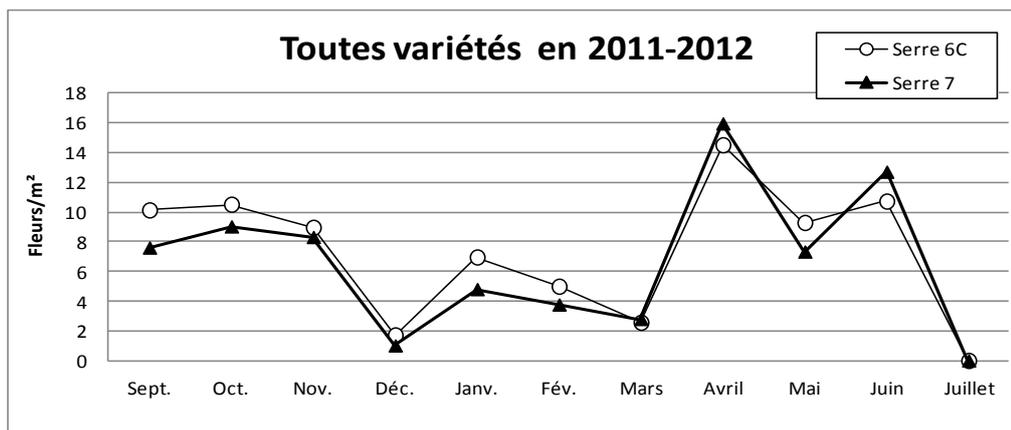
Les différences de production s'expliquent plus par la différence de structure des serres que par l'utilisation du déshumidificateur.

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. 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.



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

#### b) Un impact avéré du déshumidificateur sur le climat

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

Si la valeur technique de l'appareil n'est pas à discuter, il reste à valider son adaptation à une serre de 450m<sup>2</sup> de rosier en période très humide (à voir en automne 2012) et son intérêt économique.

#### c) Des conduites économes en énergie prometteuses mais un intérêt du déshumidificateur économiquement limité.

Les conduites économes appliquées aux serres 7 (avec déshumidificateur) et 6 (sans déshumidificateur) ont atteint les objectifs fixés, à savoir moins de 50 kwh/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>. Pour comparaison, la consommation du témoin conduit en intégration classique a été de 107 Kwh/m<sup>2</sup> pour la même période.

La gestion économe permettant 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 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.

Jusqu'au début décembre (1ère phase d'usage de l'appareil), les consommations énergétiques pour le chauffage des unités 7 et 6 ont été semblables avec respectivement 11.7 et 10.3 kwh/m<sup>2</sup>. Mais il fallait ajouter à cela 4.4 kwh/m<sup>2</sup> d'énergie électrique pour le fonctionnement de l'appareil en serre 7, énergie qui est plus coûteuse qu'avec 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/m<sup>2</sup>, 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 6 kwh/m<sup>2</sup> d'énergie électrique.

Les conditions hivernales exceptionnelles ont particulièrement faussé la différence de consommation entre les 2 unités, avec une consommation très basse dans la serre 6. Toutefois il est à craindre que le gain apporté par le déshumidificateur durant ces 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.

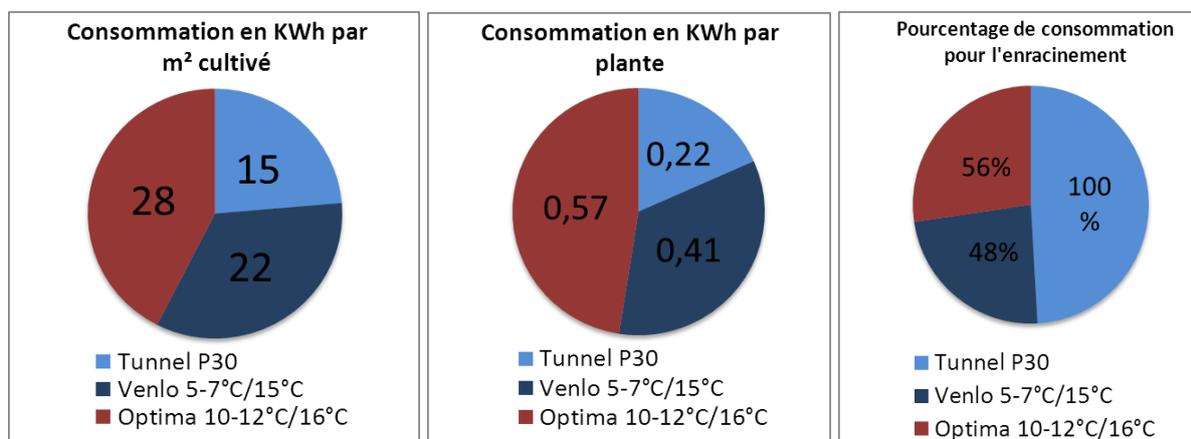
#### Pour la gamme de plantes à massif de printemps en condition océanique (GIE PFSO)

Pour cet essai en plantes en pot, les modalités étudiées ont été identiques à 2011 :

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.

D'importantes différences d'enracinement sont notées entre les variétés. Certaines pourraient passer plus rapidement à la phase à basse température comme le Nemesia, l'Osteospermum, le Petunia ou le Calibrachoa.

Sur Osteospermum, Fuchsia et Pelargonium, un gradient de croissance est observé entre les différentes modalités avec des plantes plus petites sous Tunnel et des plantes plus développées dans la serre à 10-12°C. Des différences plus importantes sont notées pour d'autres espèces comme les Fuchsia (10 cm d'écart entre chaque modalité). Un contraste existe donc entre les plantes sensibles au froid telle que les Petunia type retombant (Surprise Marine), Calibrachoa et Verveine et celles très peu sensibles comme les Petunia type compact (Potunia Neon), Nemesia, Bidens pour lesquelles peu de différences de croissance et de floraison sont observées. Les plantes cultivées à froid sont dans l'ensemble plus compactes et le retard de floraison est estimé à 1 à 2 semaines. Au niveau des consommations d'énergie pour le chauffage et la déshumidification, les valeurs suivantes ont été mesurées :



La consommation au m<sup>2</sup> passe du simple au double entre le tunnel et la serre témoin à 10-12°C. Le fonctionnement du déshumidificateur a nécessité 6 KWh/m<sup>2</sup>. Compte tenu du distançage, la consommation à la plante passe du simple au triple entre le tunnel et la serre témoin.

En chauffage, les 3 semaines d'enracinement représentent la moitié de la consommation pour la serre témoin (contre un tiers en 2010 et 2011) et la serre Venlo (contre 63 % en 2010 et 85% en 2011), et la totalité pour le tunnel.

Le déshumidificateur thermodynamique n'a pas diminué la consommation d'énergie pour le chauffage au cours de la période post-enracinement.

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

Une gamme printanière de plantes à massif a également été observée dans l'est de la France pour étudier les effets de conduites à températures basses avec ou sans déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique. 3 modalités ont été étudiées pour des rempotages effectués semaine 5 et pour une commercialisation prévue semaine 17:

**Modalité 1 :** Culture pendant 3 semaines à 10°C nuit / 12°C jour, puis 5°C nuit / 7°C jour (sous serre).

**Modalité 2 :** Culture pendant 3 semaines à 10°C nuit / 12°C jour, puis 5°C nuit / 7°C jour, avec déshumidification (sous serre).

**Modalité 3 :** Culture pendant 3 semaines à 10°C nuit / 12°C jour, puis culture hors gel (1°C) sous bitunnel hors-gel.

La période de grand froid qui a marqué l'hiver 2012 n'a pas entraîné de dégâts par le gel car elle s'est interrompue juste avant le passage en condition hors-gel pour la modalité cultivé sous bitunnel.

Pour la modalité sous serre à 5°C avec déshumidificateur, l'appareil utilisé a eu une bonne efficacité pour diminuer l'hygrométrie de la serre qui chute rapidement à la valeur demandée lors de la mise en fonctionnement. De plus, son fonctionnement engendre une augmentation de la température d'environ 1 à 2°C et sa consommation électrique est relativement faible.

Sur la gamme variétale étudiée, la déshumidification thermodynamique ne semble pas avoir d'impact sur la qualité des plantes et la croissance est identique à celle observée dans la modalité témoin.

Bien que spécialement conçu pour une utilisation à basses températures, la pertinence de son utilisation lors de période froide reste à observer. En effet, lorsque les températures extérieures sont très basses, le chauffage de la serre suffit à gérer l'humidité de la serre est qui est déjà naturellement peu élevée.

La conduite sous bitunnel a confirmé son intérêt en 2012. La croissance des plantes est plus modérée que sous serre mais les plantes présentent une forte compacité qui est considéré comme un atout intéressant. La floraison intervient 1 à 2 semaines plus tard que pour la conduite de référence. Le choix variétal est très important car certaines variétés se comportent mieux dans ces conditions que d'autres qui semblent moins adaptées aux températures froides. La grande majorité de la consommation d'énergie s'opère lors de la phase d'enracinement à 10-12°C. La aussi, toutes les variétés n'ont pas la même vitesse d'enracinement.

### 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. TRAVAUX DE L'ANNEE 2013

#### IV. 1. Plan de recherche :

##### 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 à nouveau 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 en pleine terre en condition océanique (au CATE).** Après le Lisianthus et la Giroflée d'hiver, ce seront le **Mufler** (espèce peu exigeante en température) et la Célosie (espèce exigeante en température) qui seront étudiées dans le cadre de ce programme. **Ces espèces** sont sensibles aux excès d'hygrométrie qui se traduisent par un développement de maladies sur le feuillage. Une conduite économe en énergie basée sur des consignes de chauffage plus basses que les références (8°- 12°) 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.

**b) en plantes en pots :**

- **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°-7° ou par un schéma sous abri plastique sans chauffage (sauf hors gel dans l'Est). Jusqu'à présent, dans ces conduites économes en énergie, une phase d'enracinement de 3 semaines à 10-12°C a été conservée avant de passer les plantes à des températures basses. Dans ces conduites économes, cette phase d'enracinement est devenue la principale cause de consommation d'énergie. En 2013, différents facteurs seront étudiés pour chercher à diminuer la consommation d'énergie pendant cette phase d'enracinement : types de jeunes plants, dates de rempotage et températures d'aération.

Pour la conduite sous serre à 5°-7°C, la déshumidification sera réalisée par un déshumidificateur thermodynamique.

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

- **pour la gamme automnale comme le Cyclamen 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 10-12°C à une conduite chauffée avec les mêmes consignes de chauffage associée à une déshumidification par déshumidificateur thermodynamique.

## **IV.2. - Travaux et résultats de chaque station**

## IV.2.1 – travaux et résultats du Scradh sur Rosier pour la fleur coupée

### 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.

Durant l'hiver 2010-2011, 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). La campagne 2011 (2011-2012) a été l'occasion de caractériser d'un point de vue technique, énergétique et agronomique ce type de pilotage de l'appareil et ses effets sur la culture.

Durant la campagne 2012 (2012-2013), la même étude a été réalisée mais en optimisant l'usage de l'appareil. Il a ainsi été possible de le faire fonctionner tout le temps, y compris durant les périodes avec une consigne <10°C. Le protocole et les premiers résultats jusqu'en février 2013 avaient été détaillés dans le précédent

compte rendu (référence SC-12-FC-24). Nous présenterons en première partie les résultats complets de cette campagne.

Pour 2013 (2013-2014) le protocole prévoyait l'étude de la différence de consommation entre les 2 serres dans le cadre d'une gestion identique de la déshumidification. Les résultats arrêtés à février 2014 seront présents dans la deuxième partie de ce rapport.

## **1. RESULTATS COMPLETS DE LA CAMPAGNE 2012-2013**

### **1.1. LE PROTOCOLE 2012-2013**

En 2012 nous avons obtenus des consommations de 26 à 36 kWh/m<sup>2</sup> avec un automne excessivement doux (2011-2012). 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/m<sup>2</sup>).

D'un point de vue purement technique, la validation de l'adaptation de la puissance de l'appareil aux besoins de déshumidification de la culture devait être confirmée. De plus, le déshumidificateur devait être exploité au mieux afin d'envisager un possible amortissement.

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

- 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).

- Serre 7 ABC : Unité de serre plastique DPG équipée d'un déshumidificateur MICRO HortiDESHU (fabriquant 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 CO<sub>2</sub> froid, avec une consigne CO<sub>2</sub> serre fermée de 600 ppm.

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 m<sup>2</sup> dispose d'un déshumidificateur, le second (n°6C) de 150 m<sup>2</sup> 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.

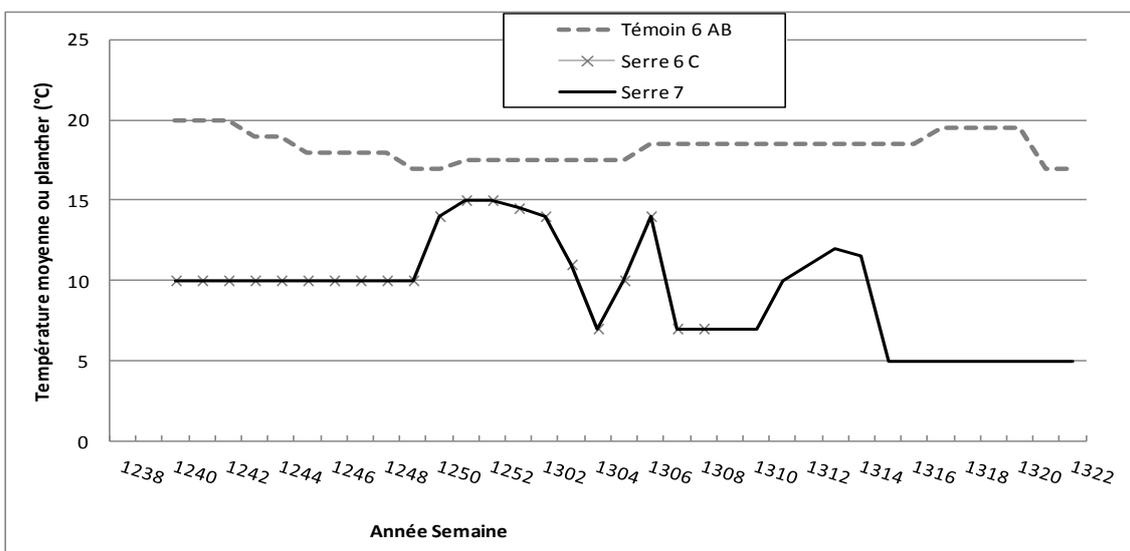
Variétés en culture dans les 2 compartiments : Sweet Avalanche et Milva.

La surface totale de l'essai est de 600 m<sup>2</sup> pour les comparaisons climatiques et énergétiques. Elle est estimée à 150 m<sup>2</sup> pour les comptages et notation de la récolte.

## **1.2. DETAILS DES CONSIGNES CLIMATIQUES DANS LES SERRES 7 ET 6C**

### **1.2.1. CONSIGNES DE CHAUFFAGE**

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

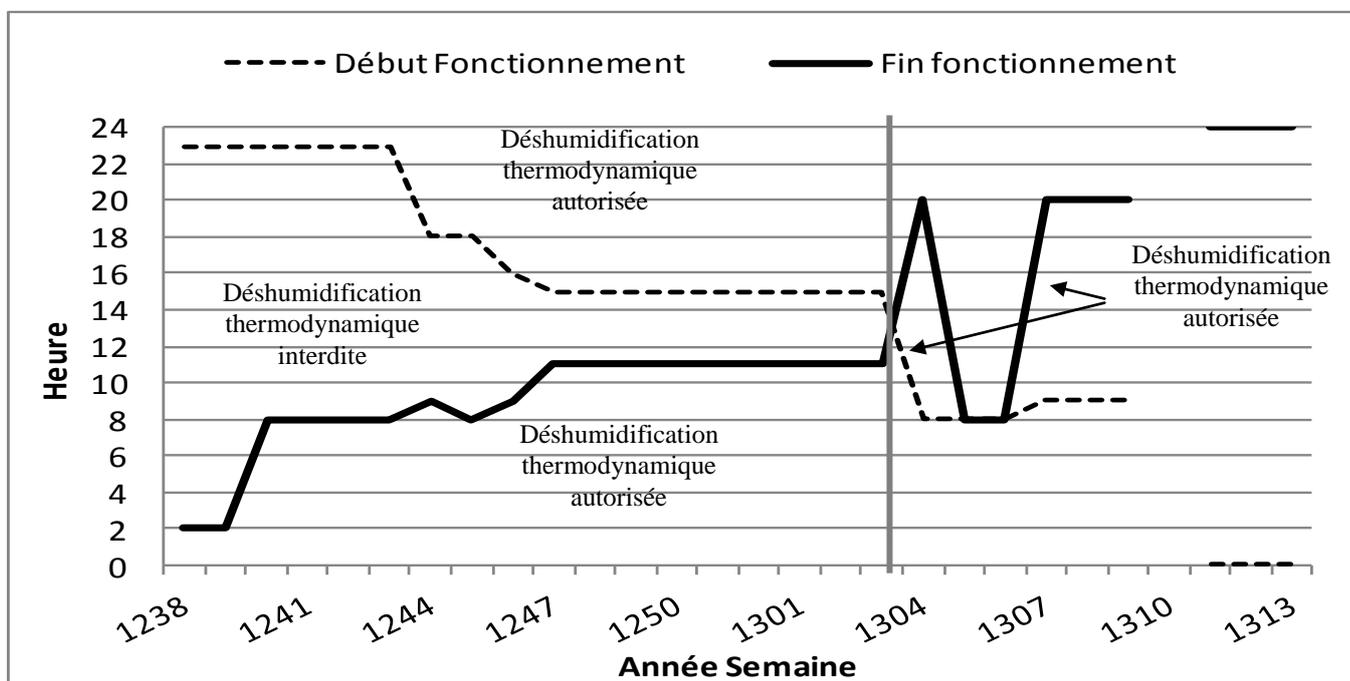


Consignes de chauffage dans les serres avec conduite économique (6C et 7) et dans le Témoin (6 AB). (Année Semaine 1248 : année 2012 semaine 48)

### 1.2.2. CONSIGNES D'HUMIDITE RELATIVE

Le fonctionnement de l'appareil a été autorisé en journée, y compris durant les périodes où les consignes de chauffage de nuit descendaient en dessous 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).

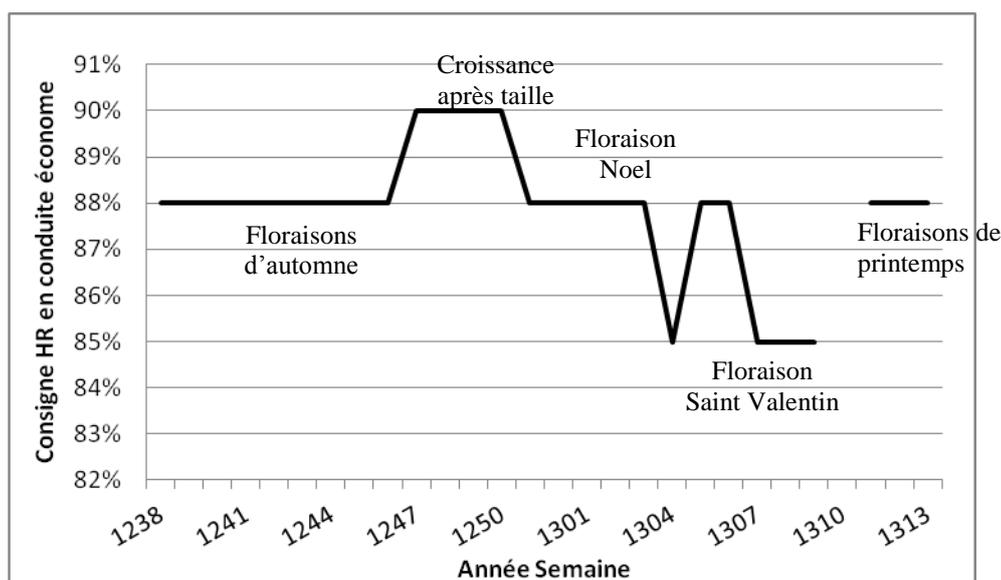
A partir de la semaine 14-2013 (début avril), le fonctionnement de l'appareil a été stoppé afin d'étudier la différence de comportement 'naturelle' des 2 serres (protocole 2014). Ainsi, à partir de septembre 2012 les consignes ont été les suivantes :



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.

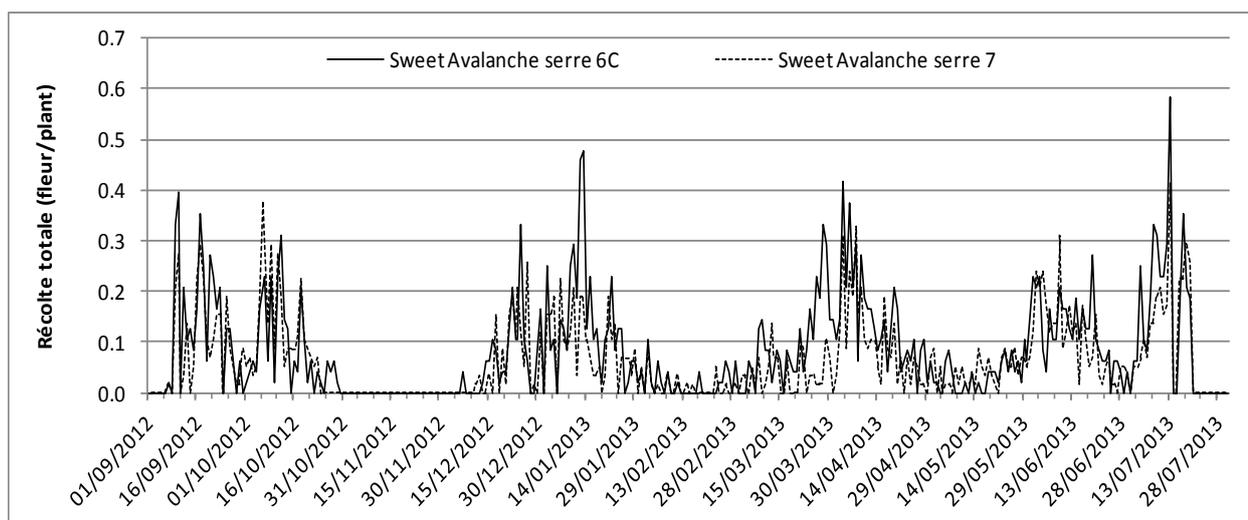


Evolution de la consigne HR dans les serres 7 et 6 au cours du temps (Année Semaine 1248 : année 2012 semaine 48)

### 1.3. RESULTATS AGRONOMIQUES 2012-2013 ET ETAT SANITAIRE

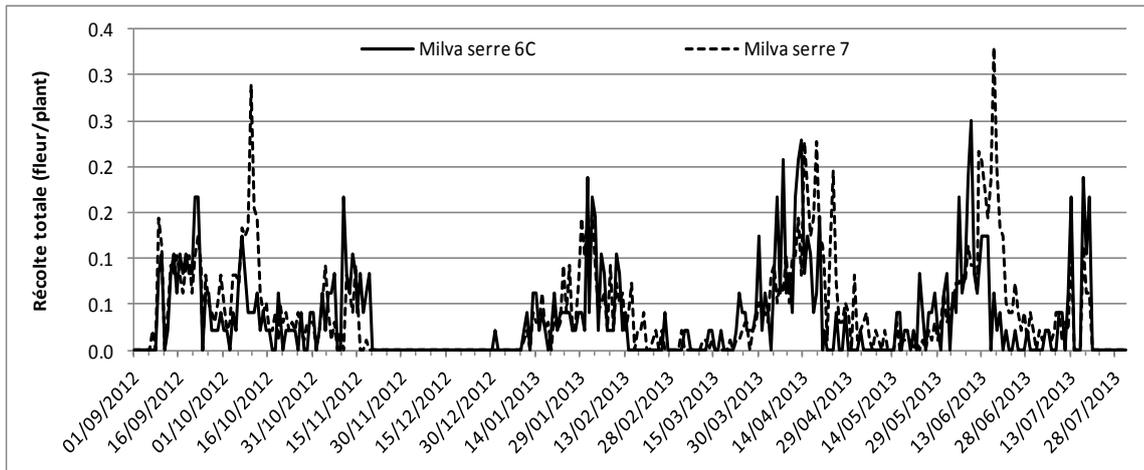
Le rappel de la stratégie adoptée afin d'étaler la production de fleurs pour faciliter son écoulement commercial permet d'expliquer les vagues de production observables sur les 2 figures suivantes.

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. Jusqu'à la fin février les vagues de production sont quasiment simultanées dans les 2 serres. La vague de Mars/avril n'est pas plus précoce dans la serre 6C mais plus importante, et celles de juin et juillet sont simultanées dans les 2 serres. Notons que la vague de Noël est arrivée un peu en retard (de près de 10 jours).



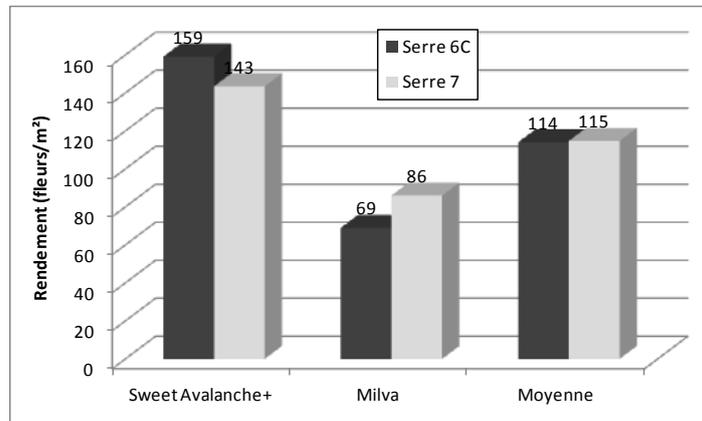
Visualisation des vagues de production de la variété Sweet Avalanche dans les 2 serres

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, suivie par des vagues en avril, juin et juillet. Notons que ces vagues sont plus groupées que pour Sweet Avalanche.

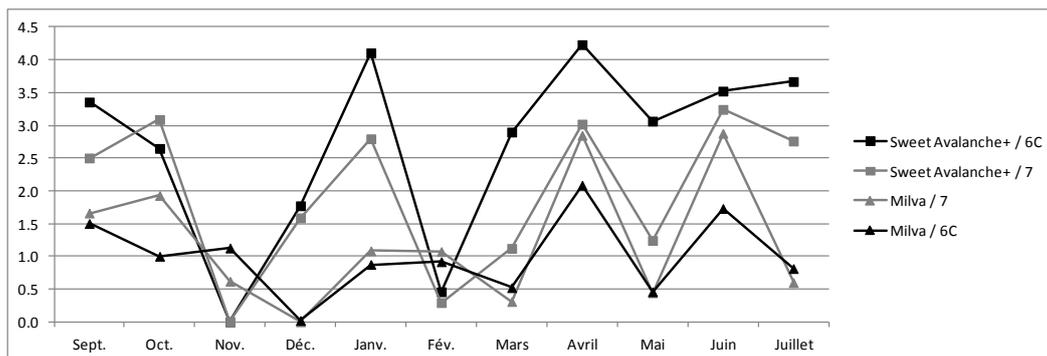


Visualisation des vagues de production de la variété Milva dans les 2 serres

Les résultats de production de septembre 2012 à juillet 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 juillet 2013



Evolution du rendement par serre (fleur/plant) durant la campagne 2012- 2013 pour la variété Sweet Avalanche+

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

Parcelles	2012				2013						
	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07
Sweet A. 7	2.5	3.1	0	1.6	2.8	0.3	1.1	3.0	1.2	3.2	2.8
Sweet A. 6	3.4	2.6	0	1.8	4.1	0.5	2.9	4.2	3.1	3.5	3.7
Milva 7	1.7	1.6	0.8	0	1.1	1.3	0.3	2.8	0.4	2.9	0.6
Milva 6	1.5	1	1.1	0	0.9	0.9	0.5	2.1	0.5	1.7	0.8

<b>Serre 7</b>	<b>2.1</b>	<b>2.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.8</b>	<b>2.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.7</b>	<b>2.9</b>	<b>0.8</b>	<b>3.1</b>	<b>1.7</b>
<b>Serre 6</b>	<b>2.5</b>	<b>1.8</b>	<b>0.6</b>	<b>0.9</b>	<b>2.5</b>	<b>0.7</b>	<b>1.7</b>	<b>3.2</b>	<b>1.8</b>	<b>2.6</b>	<b>2.2</b>

Parcelles	%	% 1 <sup>er</sup>	% 2 <sup>ème</sup>	Long	Fleur/plant
	Extra	Choix	Choix	en cm	Total
Sweet A. 7	46	45	9	60	21.6
Sweet A. 6	60	34	5	65	29.7
Milva 7	67	29	3	68	13.4
Milva 6	68	29	2	69	11.0
<b>Serre 7</b>	<b>56.4</b>	<b>36.8</b>	<b>5.9</b>	<b>64.1</b>	<b>17.5</b>
<b>Serre 6</b>	<b>64.0</b>	<b>31.6</b>	<b>3.4</b>	<b>66.9</b>	<b>20.4</b>

Comme précédemment, le rendement Sweet Avalanche de la serre 6 est supérieur à celui de la serre 7. Les fleurs y sont plus longues et de meilleure qualité, avec un plus fort taux d'extra et un plus faible taux de 2<sup>ème</sup> choix. A l'inverse, le rendement sur Milva est sensiblement supérieur dans la serre 7.

Les différences observées entre parcelles depuis le début de l'essai 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.

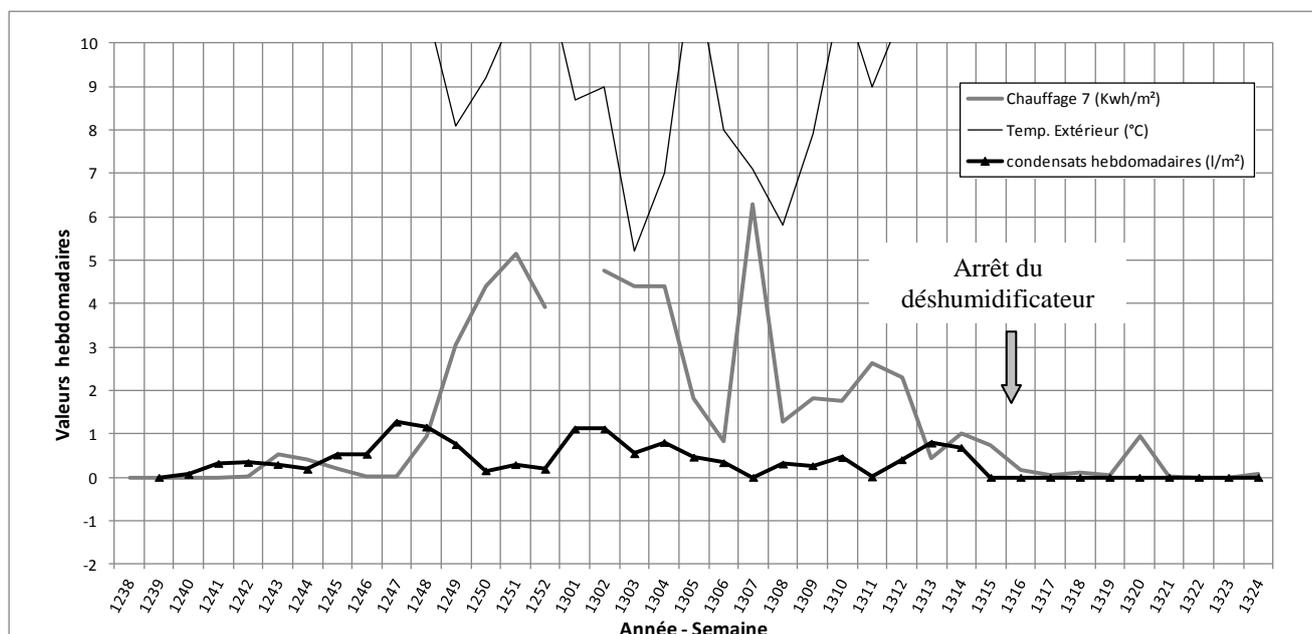
D'un point de vue sanitaire, malgré un automne 2012 très doux et humide, et un printemps 2013 très humide (Cf. annexe), la qualité des roses a été normale et aucun symptôme de botrytis n'a été signalé en serre, ni lors de la vente des fleurs à la SICA MAF d'Hyères.

#### 1.4. RESULTATS DE LA COMPARAISON CLIMATIQUE

L'essentiel des résultats et les conclusions principales ont déjà été présentés dans le précédent rapport (SC-12-FC-24). Nous ne présenterons ici que le complément d'analyse réalisé sur les mois de mars à juillet.

Le printemps 2013 s'est caractérisé par une baisse notable des températures en février, mai et juin (annexe II) et une pluviométrie importante jusqu'en mai.

Comme la différence de consommation énergétique entre les 2 serres était faible malgré un temps frais et pluvieux nous avons souhaité profiter du printemps pour commencer à caractériser la différence 'naturelle' entre les 2 compartiments dès le mois d'avril. Pour cela le déshumidificateur a été éteint et les 2 serres ont été gérées de façon identique dès la semaine 15.



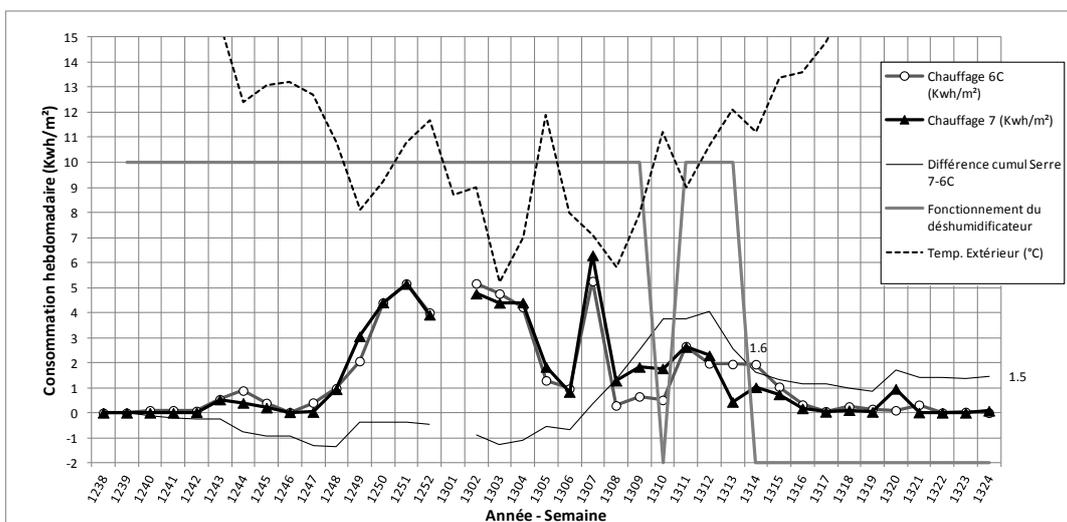
Evolution de la température extérieure, du volume de condensat et du chauffage en serre 7 (Année Semaine 1248 : année 2012 semaine 48).

Les analyses de la température, des paramètres HR/DH et de la teneur en CO2 ont déjà été présentées et rien de nouveau ne peut être apporté de mars à juillet.

### 1.5. RESULTATS ENERGETIQUES

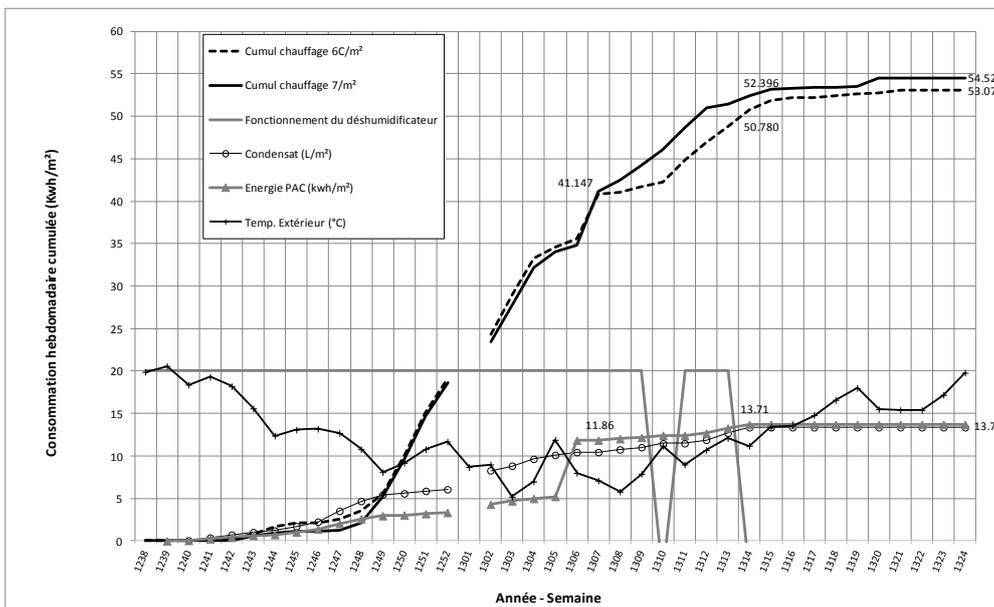
Le coup de froid en février a accentué la différence de consommation entre la serre 7 (moins enclavée) et la 6C sur les semaines 8 à 10 (figure ci-après). Par contre les fortes pluies de mars ont entraîné une forte utilisation du chauffage dans la serre 6C pour la déshumidification, alors que la montée des températures entraînait la baisse de la consommation en serre 7.

En semaine 15 l'appareil a été éteint en serre 7. Suite à la hausse constante des températures, le chauffage n'était plus utilisé que pour la déshumidification, comme cela se note en semaine 20 dans la serre 7 (plus humide).



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 consommations cumulées, 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 mars 2013 (S 1314), la consommation de chauffage/ déshumidification de la serre 6 est de 50.78 kWh/m<sup>2</sup> d'origine 'gaz'. Pour la serre 7, cette consommation est de 52.90 kWh/m<sup>2</sup> à laquelle il faut ajouter 13.71 kWh/m<sup>2</sup> d'énergie électrique.

La consommation d'ensemble est supérieure à celle de 2011-2012 mais nous n'avons dépassé que de peu notre objectif de 50 kWh/m<sup>2</sup>.

Contrairement à la précédente campagne, la consommation de chauffage de la serre 7 gérée avec le déshumidificateur est quasiment 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 ?

Au 1<sup>er</sup> avril, en considérant équivalents les 'kWh gaz' et les 'kWh électriques' (ce qui est faux car les kWh gaz sont moins coûteux), la serre 7 a consommé 15.3 kWh/m<sup>2</sup> de plus que la serre 6, soit 37 % d'énergie en plus. Pour obtenir une rentabilité de la gestion avec la PAC il faudrait réaliser une économie d'énergie, et donc que la différence de consommation 'naturelle' entre les 2 serres soit au minimum de 37 %.

Sur la période avril à juillet, où l'humidité était problématique en avril/ mai, le chauffage des serres 7 et 6C n'a servi qu'à la déshumidification. La différence sur la période a été de 1.45 kWh/m<sup>2</sup>, ce qui est très faible. L'étude 2014 (campagne 2013-2014) permettra de mieux caractériser la différence 'naturelle' entre les serres.

## **1.6. BILAN ACTUEL**

Sur l'ensemble de l'année 2012, nous avons démontré 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.

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 tout de même une hausse de la consommation électrique.

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 techniques positifs, conformes aux attentes.

Par contre, la rentabilité d'un tel investissement reste encore une inconnue. Il faudrait en effet que le coût de l'énergie gaz économisée soit au moins supérieur au coût de fonctionnement de l'appareil (énergie électrique) pour envisager une possibilité d'amortir le déshumidificateur.

Il est donc indispensable de connaître précisément la différence de comportement entre les 2 serres. Sur la base des chiffres 2013, il faudrait que la différence de consommation énergétique soit au moins supérieure à 37%. L'étude 2013-2014 s'avère donc importante.

## **2. PROTOCOLE ET PREMIERS RESULTATS DE LA CAMPAGNE 2013-2014**

### **2.1. LE PROTOCOLE 2013-2014**

Pour conclure économiquement sur l'intérêt de l'investissement il est indispensable de connaître finement le comportement des serres utilisées. L'objectif de la campagne de mesure hivernale 2013-2014 sera donc d'abord d'évaluer la différence de consommation énergétique entre les 2 serres, gérées de façon identique. Ensuite nous reprendrons l'étude comparative des 2 modes de gestions de la déshumidification (programme 2014).

### Modalités pour la phase de septembre 2013 à avril 2014 :

- Serre 6 C : Serre verre de référence, avec conduite économe en intégration des températures avec une moyenne mobile.
- Serre 7 ABC : Unité de serre plastique DPG avec conduite économe en intégration des températures avec moyenne mobile.

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

- 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).
- 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'.
- Consignes de ventilation hivernale susceptibles de 18°C nuit/ 24°C matin et 28°C après midi.
- Apport de CO<sub>2</sub> froid, avec une consigne CO<sub>2</sub> serre fermée de 600 ppm.

### Mesures et observations :

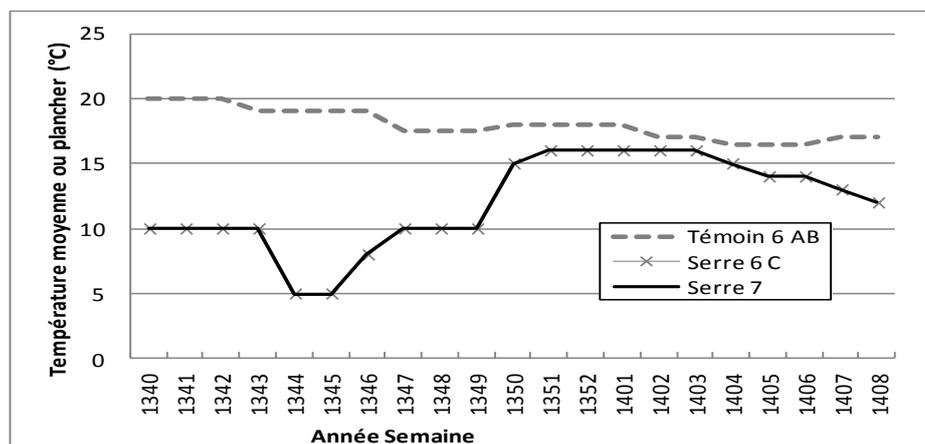
Les mesures sur la qualité sanitaire des fleurs seront maintenues afin de valider la bonne gestion des cultures. Mais nous observerons surtout les consommations énergétiques.

- 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 m<sup>2</sup>, % 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).

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

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/m<sup>2</sup>, soit un coût énergétique total proche de 2 €/m<sup>2</sup>.

Les consignes et le mode de gestion sont identiques dans les 2 serres. Leur évolution est présentée dans la figure ci-après.



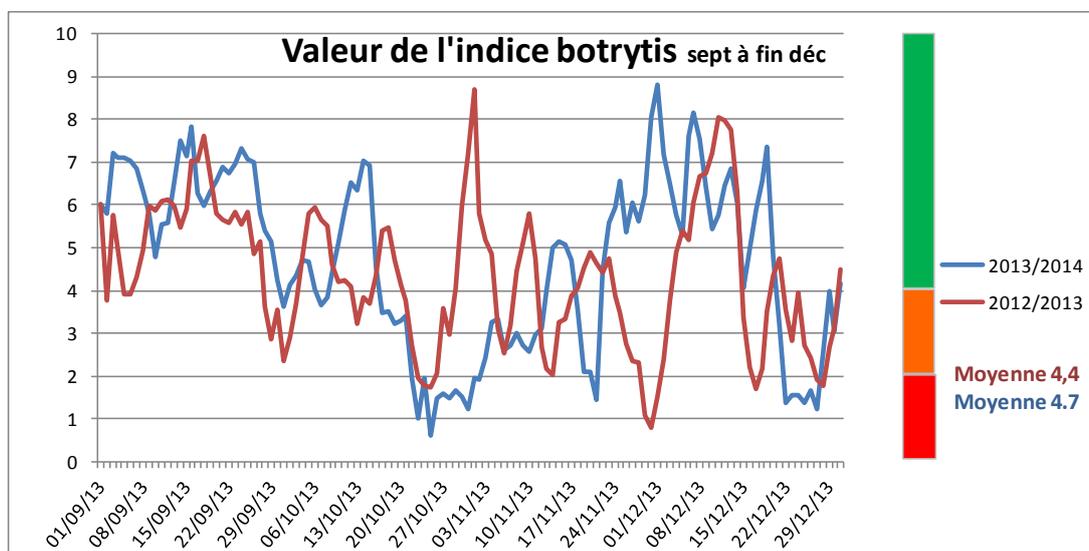
Consignes de chauffage dans les serres avec conduite économique (6C et 7) et dans le Témoin (6 AB). (Année Semaine 1348 : année 2013 semaine 48)

Vu le climat exceptionnellement doux, il était inutile de réduire les consignes au début 2014. La déshumidification est gérée à la fois par la gestion des ouvrants et par des trains d'eau chaude plus ou moins intensifs (voir protocole).

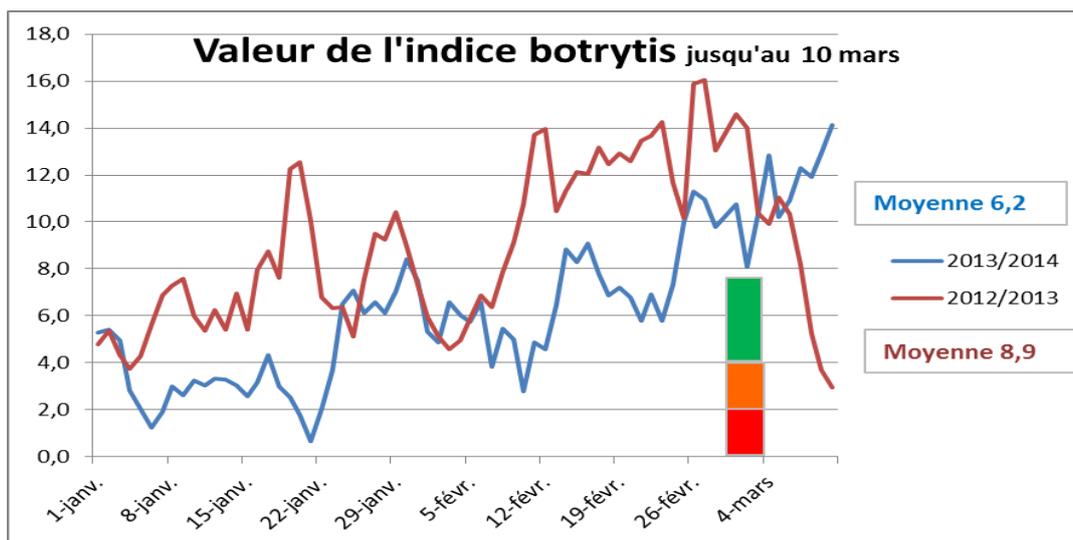
### 2.3. EVOLUTION DU RISQUE BOTRYTIS

Le risque botrytis est estimé à partir d'un indice calculé. Plus la valeur est faible, plus le risque est élevé : de 0 à 2 le risque est très fort, de 2 à 4 il est fort, et plus de 4 il est négligeable.

Si l'automne a été particulièrement doux et a nécessité peu de chauffage, le climat exceptionnellement humide a entraîné un risque Botrytis élevé durant toute la fin de l'année et notamment de la mi-octobre à la fin novembre (voir figure ci-après). En 2012-13 le risque avait été moins présent et plus tardif (décembre).



Evolution de l'indice de risque Botrytis en fin 2013 (source Chambre d'Agriculture du Var).



Evolution de l'indice de risque Botrytis en début 2014 (source Chambre d'Agriculture du Var).

Le début d'année 2014 a été particulièrement délicat avec un indice rouge à orange pendant le mois de janvier, nettement inférieur par rapport à l'année dernière. Sur l'ensemble des 3 premiers mois la valeur de

l'indice a été nettement inférieure à celle de l'année 2012, alors qu'elles étaient proches pour la fin de l'année 2013 (voir tableau ci-après).

Répartition de l'indice de risque Botrytis de Septembre à Mars 2012-13 et 2013-14

Risque	Nombre de jour sur la période / 2012-13	Nombre de jour sur la période / 2013-14
orange	46	45
rouge	10	24
vert	135	122

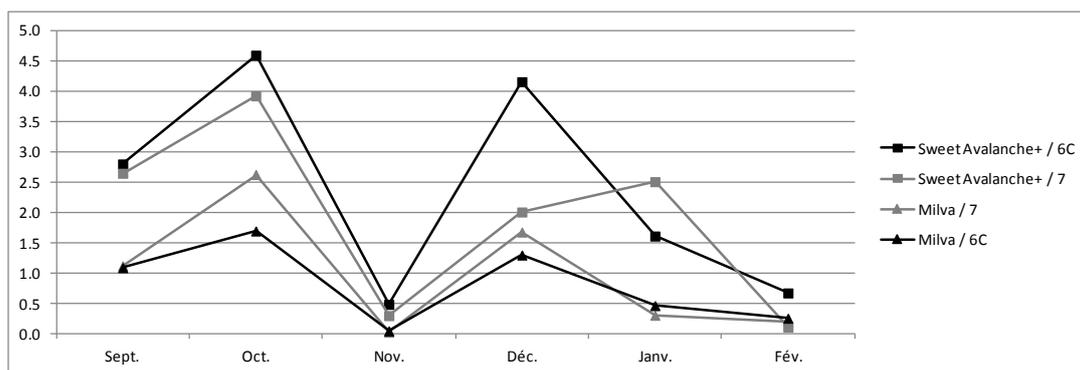
Les températures de septembre à mars ont été plus élevées en 2013-14 qu'en 2012-13, et nous avons donc moins chauffé. Par contre cela a été compensé par un risque botrytis plus important, et les besoins en déshumidification n'ont pas été négligeables.

La situation 2013-2014 est donc favorable pour une comparaison de besoins en déshumidification entre les serres 7 et 6C.

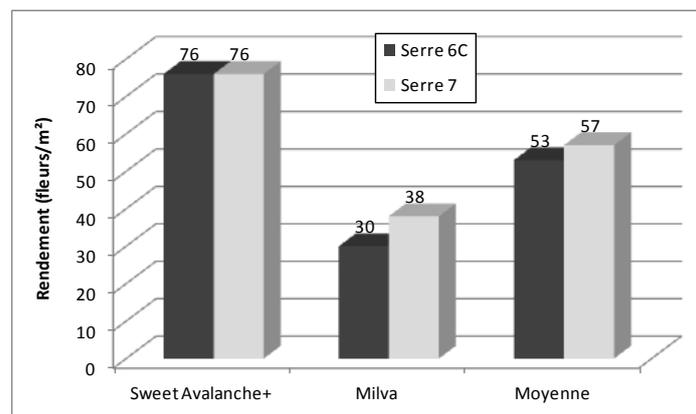
## 2.4. ETAT SANITAIRE DES CULTURES ET RENDEMENT

Durant la période aucun symptôme de botrytis n'a été observé dans les cultures dont la qualité était conforme aux attentes.

Arrêtés à la fin février, les rendements sont conformes à ce que l'on a observé depuis le début de l'essai (figures ci-après).



Evolution du rendement par serre (fleur/plant) durant la campagne 2013- 2014 pour la variété Sweet Avalanche+

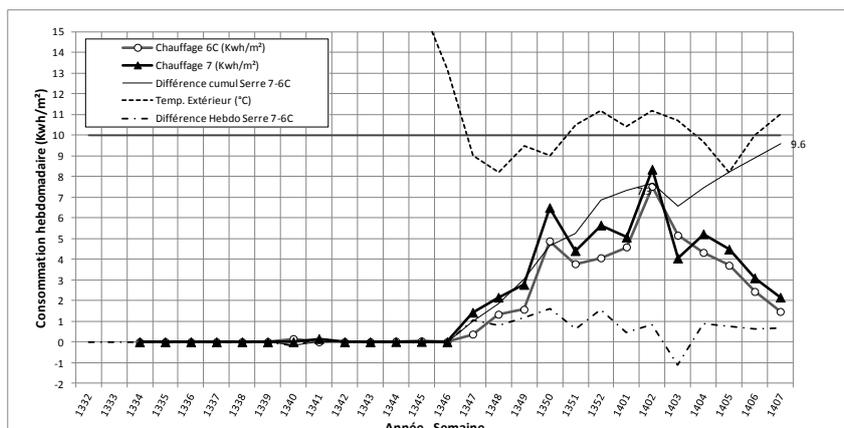


Rendement total par serre et par variété de septembre 2012 à juillet 2013

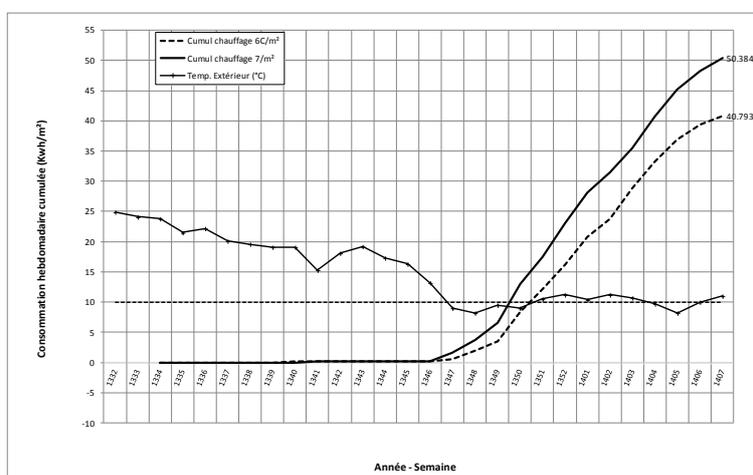
## 2.5. PREMIERS RESULTATS ENERGETIQUES

Jusqu'en semaine 46, la consommation énergétique a été nulle. Ce n'est qu'après, avec la baisse sous 10°C de la température extérieure et l'humidité présente, que l'on note une consommation.

Hormis au début janvier (semaine 14-03), la serre 7 consomme toujours plus que la 6C. Toutefois cette différence n'est que de  $\pm 1 \text{ kWh/m}^2$ . En fin février, la différence de consommation totale (cumul sur la période) est de  $9.6 \text{ kWh/m}^2$ .



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

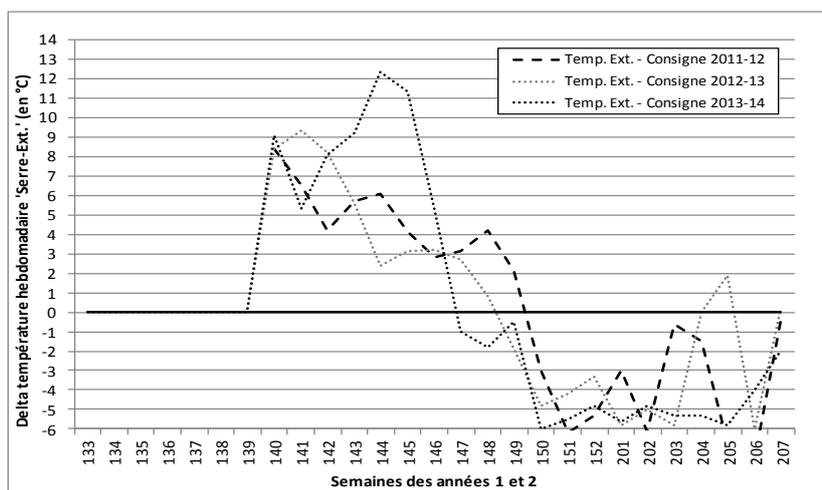


Evolution du cumul des consommations énergétiques pour le chauffage par thermosiphon selon les serres.

Sous l'effet du climat doux et humide, l'objectif de conduite économe avec  $50 \text{ kWh/m}^2$  sera difficile à atteindre pour cette campagne 2013/2014, car nous sommes déjà à  $50.39 \text{ kWh/m}^2$  en serre 7, et  $40.80 \text{ kWh/m}^2$  en serre 6C. Cela indique par contre que la période d'étude est assez propice à la comparaison serre 7 / serre 6C sur la thématique de l'énergie nécessaire pour la déshumidification.

En février (semaine 2014-07), la serre 7 a consommé  $\pm 23.5\%$  de plus que la serre 6C, dans le cadre d'une conduite et d'une gestion identiques. Nous sommes encore loin des  $37\%$  nécessaires estimés en 2012. Mais la différence observée est-elle extrapolable aux données 2012-13 ?

Les besoins énergétiques concernent le chauffage pur lorsqu'il s'agit de maintenir la consigne minimum de température dans la serre. Lorsque la température extérieure est inférieure à la consigne le chauffage démarre, et cela est mesuré minute par minute. L'étude des moyennes hebdomadaires est donc fortement imprécise mais peu suffire pour comparer les 3 années du programme (figure ci-dessous).



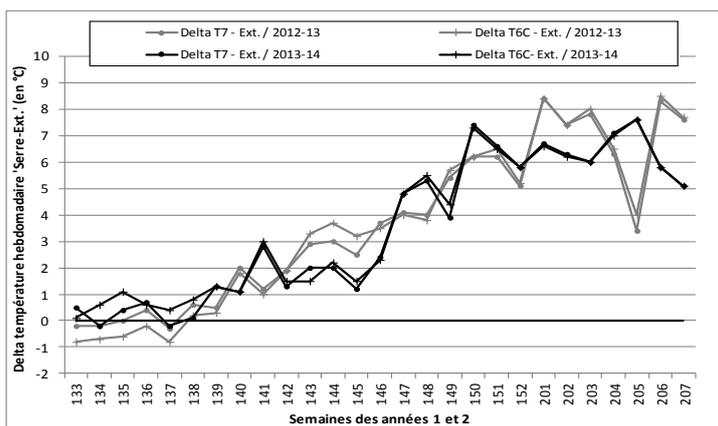
Evolution de la différence entre la température extérieure et la température de consigne (133 : année 1 semaine 33, 201 : année suivante, semaine 1).

Les 3 courbes suivent une dynamique très proche mais il apparaît que l'année en cours est l'année pour laquelle la nécessité de chauffer a été la plus précoce (semaine 47 contre 48 et 50). De plus, en période de chauffage, l'écart entre la consigne et l'extérieur est toujours le plus important (entre -5 et -6°C). Hormis en semaine 4 et 5 de 2013, la campagne 2012-2013 n'est guère plus favorable.

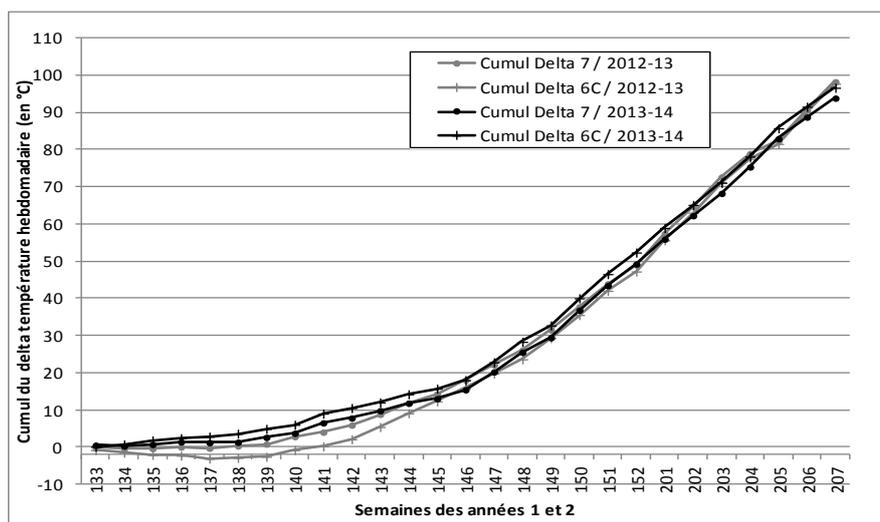
Cela s'explique aussi par une gestion un peu différente du climat de la serre. Le climat étant très favorable (avec peu de températures basses), les plantes ont continué de pousser et nous n'avons pas beaucoup réduit la consigne minimum en début 2014 (voir figures pages 3 et pages 10). Ainsi, malgré des températures douces, l'écart Extérieur-Consigne' est resté élevé, proche de celui de 2012-13.

Si l'on observe les différences de température entre l'extérieur et la serre (valeurs mesurées) on s'aperçoit que les 2 compartiments ont bien été gérés de la même façon (figures ci-après).

Le delta de température entre les serres et l'extérieur suit une évolution semblable en 2012-13 et 2013-14, à l'exception de la période 42 à 47. L'automne ayant été très chaud, la température des serres était également élevée d'où un faible delta. Nous avons observé précédemment que durant cette période la consommation énergétique a été nulle.



Evolution de la différence de température entre les serres et l'extérieur (133 : année 1 semaine 33, 201 : année suivante, semaine 1).



Evolution du cumul de la différence de température entre les serres et l'extérieur (133 : année 1 semaine 33, 201 : année suivante, semaine 1).

Ainsi, les besoins de chauffage ont été semblables entre les années 2012-13 et 2013-14 pour les périodes où le chauffage était fortement nécessaire, soit grossièrement à partir de la semaine 47-2013.

Nous avons vu également que les besoins de déshumidification ont été supérieurs en 2013-2014, aussi il est probable que les écarts énergétiques mesurés entre les 2 serres en 2013-14 soient extrapolables à l'année 2012-13. D'ailleurs la consommation de la serre 6C en semaine 7-2014 est de 40.80 kWh/m<sup>2</sup> contre 41.14 kWh/m<sup>2</sup> en semaine 7-2013.

En adoptant cette hypothèse, la valeur de référence pour la différence de besoins énergétiques entre la serre 7 et la 6C en semaine 07 pourrait être 23.5%, ce qui est insuffisant. En 2012-2013 (figure page 8), la consommation énergétique de la serre 7 gérée classiquement aurait donc dû être de 41.15 x 1.25 = 51.44 kWh/m<sup>2</sup> au lieu des 41.15 mesurés dans le cadre d'une gestion avec le déshumidificateur. Pour économiser les 10.31 kWh/m<sup>2</sup> de gaz nous aurions donc dépensé 11.86 kWh/m<sup>2</sup> d'énergie électrique.

Cela n'aurait pas généré d'économie, rendant l'amortissement de la machine impossible. Ainsi, compte tenu des valeurs mesurées actuellement il est fort probable que ce mode de déshumidification soit techniquement intéressant mais économiquement non rentable. Les valeurs relevées en 2014 permettront de disposer de données plus complètes et de conclure sur ce point.

### 3. BILAN ACTUEL ET PERSPECTIVES

L'efficacité technique de l'appareil ne fait aucun doute mais l'intérêt économique semble bien compromis.

Il semble en effet que l'économie d'énergie 'gaz' générée par l'usage du déshumidificateur ne couvre pas la dépense énergétique pour le fonctionnement de l'appareil. Compte tenu de la différence de coût entre ces 2 sources d'énergie, et il apparaît peu probable de réussir à économiser de l'argent en travaillant avec le déshumidificateur.

Impossible dès lors d'envisager un amortissement de l'investissement, ni même le paiement de l'entretien de la machine, qui n'est pas négligeable.

Les données complètes de la campagne 2014 permettront probablement de valider ces premiers résultats.

## IV.2.2 – Résultats du CATE sur différentes espèces de fleurs coupées

### 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 a surtout été évaluée sur *Lisianthus*, espèce exigeante en température. En 2012, un essai identique a été réalisé sur Giroflée, Tournesol et Célosie. Si les premiers résultats sont très encourageants sur *Lisianthus*, cette stratégie reste à évaluer pour une gamme plus large d'espèces de fleurs coupées aux exigences différentes.

En 2013, cette évaluation est donc réalisée sur 2 cultures successives de fleurs coupées qui font l'objet d'une rotation dans la même serre : le Muflier et la Célosie. Le Muflier est moins exigeant 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 m<sup>2</sup> 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 2 cultures successives :

- Une culture de Muflier (gamme de variétés Cool) pour la période allant de la semaine 45 de 2012 à 18 de 2013.
- Une culture de Célosie pour la période allant de la semaine 18 à la semaine 31 de 2013. Cette espèce a des besoins élevés en températures. Sa culture sous serre en été permet de limiter l'utilisation du chauffage. Toutefois, si le cycle de culture débute à la sortie de l'hiver ou se poursuit sur septembre et octobre, le chauffage de la serre est nécessaire.

#### Conduites climatiques retenues

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

Culture	Muflier	Célosie
Période	De novembre 2012 à fin avril 2013	De mai à fin juillet 2013
Température de chauffage J / N	12°C à 6°C	14°C / 12°C
Température d'aération J / N	20°C à 8°C	24°C à 18°C
Période de fonctionnement	De novembre à fin janvier. Ensuite,	De mai à fin juillet.

du déshumidificateur	diminution des consignes de chauffage et forte aération	
Seuil d'hygrométrie pour la mise en marche du déshumidificateur	Seuil machine : 75 % soit seuil ordi climatique (mesure psychrométrique) : 85 %	Seuil machine : 75 % soit seuil ordi climatique (mesure psychrométrique) : 85 %
Nombre d'heures de fonctionnement Programmées du déshumidificateur et mode de fonctionnement	De 5 à 8 heures /24H la nuit, au lever du jour et le jour	De 5 à 10 heures /24H la nuit, au lever du jour et le 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.

Pour la culture de Mufflier, le déshumidificateur thermodynamique n'a pas été utilisé entre février et fin avril car la culture exigeait des températures plus basses que la période précédente et avec la nécessité d'aérer fortement pour maîtriser la végétation. De ce fait, il n'a pas été nécessaire d'utiliser le déshumidificateur et celui-ci aurait été placé dans des conditions de température inférieure à ses exigences de fonctionnement ( $T^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$  pour cet appareil). Remarque : il existe des déshumidificateurs thermodynamiques adaptés pour fonctionner à une  $T^{\circ}$  inférieure à  $10^{\circ}\text{C}$ .

### Système de culture

- Culture en pleine terre sur des planches de 1 m de large à une densité de 64 plantes/m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> avec aération au faitage (1 ouvrant de chaque côté) et chauffage par tube d'acier.
- Occupation continue de la serre par les 2 cultures successives.

### Dispositif

Essai système à 1 facteur et 1 répétition. Parcelles expérimentales de 15 m<sup>2</sup> soit 960 plants/parcelle. 5 modalités. 5 parcelles. 17 m<sup>2</sup> /parcelle élémentaire soit 1088 plants. 85 m<sup>2</sup> de planche cultivés au total, soit 136 m<sup>2</sup> de serre.

### 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 m<sup>2</sup>.

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/m<sup>2</sup>.

Palissage par 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.

Amendement lors du travail du sol : DCM Vivisol (12.5 kg /100 m<sup>2</sup>) + DCM Antagon (12.5 kg /100 m<sup>2</sup>)

Fertilisation en cours de culture : par solution nutritive (2 bacs) à une EC apport = 1,2-1,6 mS :cm en fonction des besoins.

Désherbage manuel.

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

### Mufflier :

Plantation : semaine 45 / 2012.

Récolte : avril 2013.

Fourniture des plants : Florensis Cut Flowers.

Période	novembre	De décembre à mi-janvier	De mi-janvier à fin février	De fin février à mi-mars	A partir de mi-mars
Température de chauffage J / N	12°C / 12°C	10°C / 10°C	8°C / 8°C	7°C / 7°C	6°C / 6°C
Température d'aération J / N	20°C / 20°C	16°C / 16°C	10°C / 10°C	8°C / 8°C	10°C / 8°C
Remarque	Pas d'éclairage photosynthétique				

#### Célosie. Variétés de la gamme Chief (boules)

Plantation : semaine 18/2013.

Récolte : juillet 2013.

Fourniture des plants : Florensis Cut Flowers.

Période	Mai	Juin	Juillet
Température de chauffage J / N	14°C / 14°C	12°C / 12°C	12°C / 12°C
Température d'aération J / N	24 °C puis 20°C / 20°C	18°C / 18°C	18°C / 18°C
Remarque	Pas d'éclairage photosynthétique		

#### Déshumidificateur thermodynamique

Machine du type ETT Micro Hortidésu :

Débit d'air nominal soufflage en vrac :	2 500 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 :	programmateur 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 des 2 espèces cultivées ont été les suivants :

Cultures - Espèces	Nombre de fleurs récoltées /m <sup>2</sup> de planche	Nombre de fleurs commercialisées / m <sup>2</sup> de planche	% de fleurs commercialisables /nombre plants plantés	% d'extra /nombre de fleurs récoltées	% de 1 <sup>er</sup> choix /nombre de fleurs récoltées	% de 2 <sup>ème</sup> choix /nombre de fleurs récoltées	% de déchets
Muflier d'hiver	58,5 fleurs /m <sup>2</sup>	41,2 fleurs /m <sup>2</sup>	64,4%	64,3 %	7,1 %	0 %	29,6 %
Célosie	41,2 fleurs /m <sup>2</sup>	14,8 fleurs /m <sup>2</sup>	23,2 %	17,1 %	18,9 %	0 %	64,0 %

Pour les Mufliers, la présence de pucerons apparus très brutalement juste au moment de la floraison a diminué la % de fleurs commercialisables. Environ 30 % des fleurs comptabilisées en déchets l'ont été à cause de la présence de pucerons.

Pour les célosies, le rendement en fleurs commercialisables est beaucoup trop bas et le taux de déchets trop élevé. Ce mauvais résultat trouve son origine dans 2 causes. D'une part, de nombreuses inflorescences étaient déformées (35 % des tiges en déchets) probablement du fait des conditions climatiques particulières du printemps 2013 qui ont été anormalement froides. Il en a résulté un déséquilibre dû à la vigueur trop forte des plantes. D'autre part, la présence de pucerons a été très importante au moment de la récolte (65 % des tiges en déchets). Cette attaque a eu lieu très tardivement et a eu un caractère très explosif. Les Thrips ne sont pas à l'origine des problèmes de déformations des inflorescences car ils ont été très peu présents pendant toute la culture.

Des différences de comportement sont observées entre les différentes variétés pour chaque espèce. 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.

Espèce	Période de plantation	Période de récolte	Durée du cycle de la plantation à la fin de la récolte
Muflier	Sem 45 /2013	Avril 2013	24 semaines
Célosie	Sem 18 /2013	Juillet 2013	13 semaines

Le chiffre d'affaires généré par les 3 cultures récoltées en 2012 a été de 15,7 €/m<sup>2</sup> de planche pour les mufliers, de 1,2 €/m<sup>2</sup> de planche pour les célosies.

#### 4.2. – Etat sanitaire des cultures

En dehors des problèmes physiologiques et de ravageurs décrits ci-dessus et malgré une gestion de l'aération visant à limiter les ouvertures pour éviter les déperditions d'énergie, l'état sanitaire des cultures a été bien contrôlé et cela, bien que le nombre de traitements fongicides réalisés ait été très faible : 2 traitements sur les jeunes plants après la plantation avec un produit contre le rhizoctone et un traitement préventif contre le Botrytis sur Mufflier. Il n'y a pas eu d'attaque d'*Oïdium*, de *Botrytis*, de Mildiou ou de *Sclerotinia*.

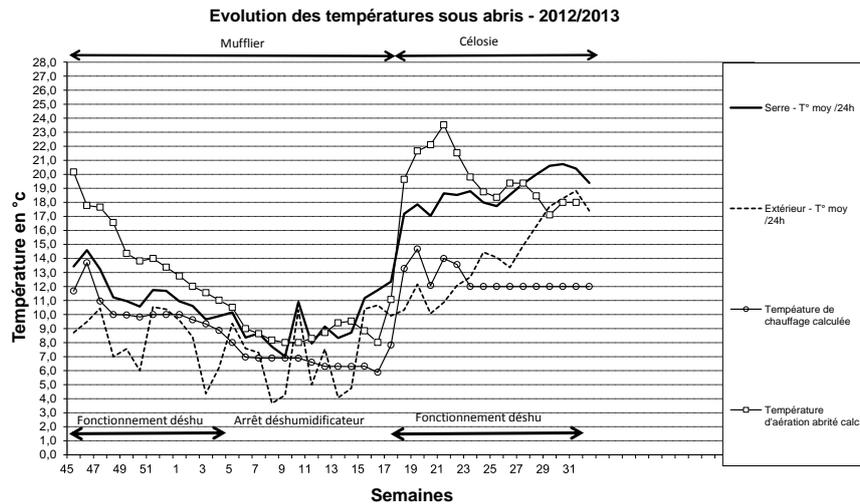
L'utilisation de la déshumidification thermodynamique pour limiter les excès d'hygrométrie et la présence de condensation sur la végétation, ont permis de diminuer sensiblement les risques de maladie.

La conduite d'irrigation a 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 du 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 possible a été d'un grand secours. L'utilisation de cet appareil a été importante pour les mufliers cultivés en période hivernale et en 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 2012-2013 a été marquée par des périodes où la température extérieure était plus froide que la normale.



Pour la culture de Mufflier, le déshumidificateur thermodynamique n'a pas été utilisé entre février et fin avril car la culture exigeait des températures plus basses que la période précédente et avec la nécessité d'aérer fortement pour maîtriser la végétation. De ce fait, il n'a pas été nécessaire d'utiliser le déshumidificateur et celui-ci aurait été placé dans des conditions de température inférieure à ses exigences de fonctionnement ( $T^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$  pour cet appareil). L'utilisation d'un déshumidificateur adapté à des températures inférieures à  $10^{\circ}\text{C}$  aurait permis d'aller plus loin dans la recherche d'économies d'énergie en appliquant les principes de la conduite économe en énergie mais à des niveaux de températures plus bas.

#### 4.4. – Etude de journées types

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

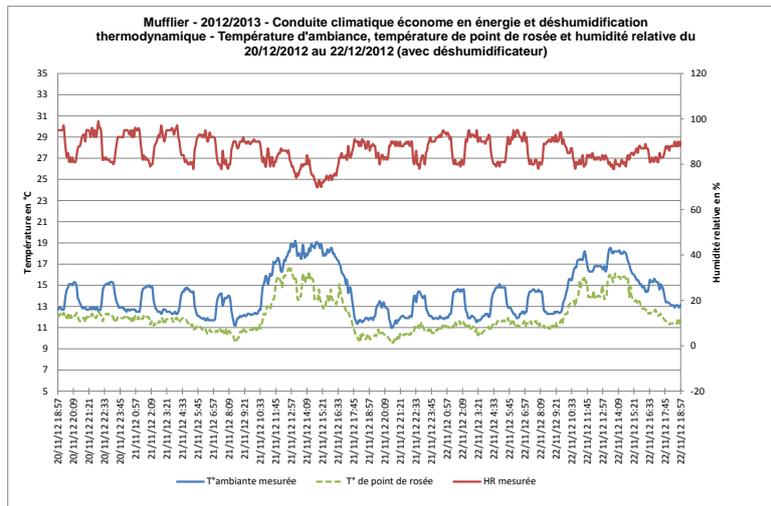
##### 4.4.1. – Du 20 au 22/12/12

L'analyse des données climatiques de la serre expérimentale le 20 au 22/12/12 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.

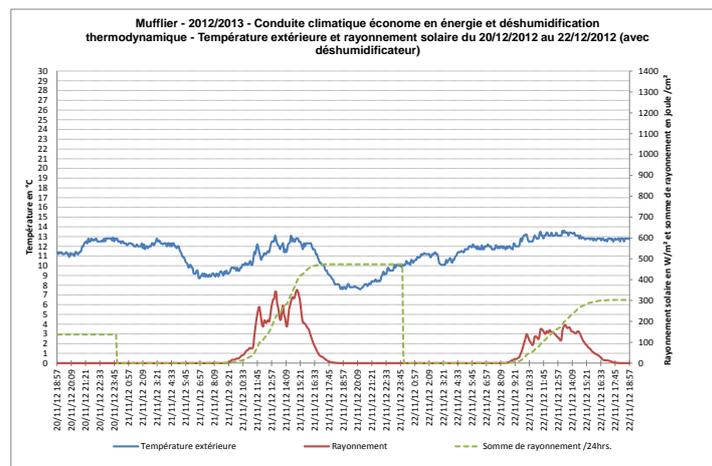
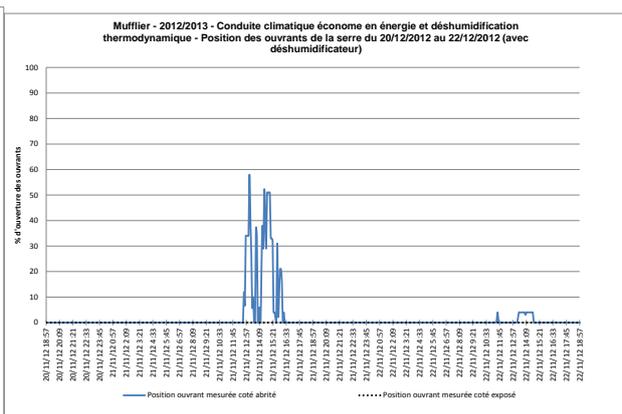
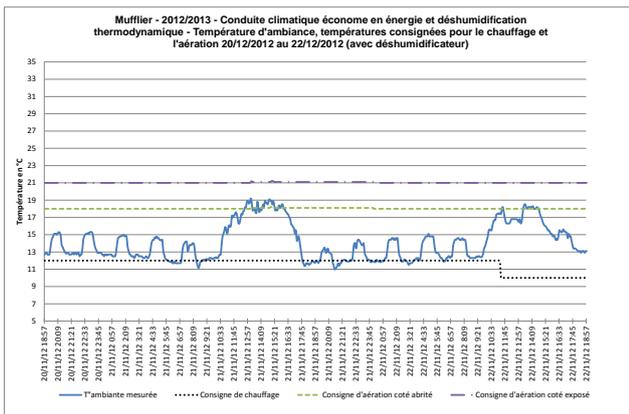
La mise en route du déshumidificateur est programmée pour 1 heure à chaque fois. La nuit, entre 2 périodes de fonctionnement, on laisse une période d'1 heure sans fonctionnement au minimum.

A chaque fois que le déshumidificateur se met en route, on peut observer une forte diminution de l'hygrométrie (d'environ 10 à 15 %), une augmentation de la température d'ambiance (de  $2^{\circ}\text{C}$  environ) 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. A chaque arrêt du déshumidificateur, l'hygrométrie revient très rapidement à un niveau élevé, de l'ordre de 90 à 95 % pendant la nuit et les risques de condensation deviennent importants.

Au cours de ces 2 journées, le rayonnement solaire a été correcte pour cette période l'année (474 et 303 joules/cm<sup>2</sup>) et les températures extérieures basses à douces ( $8$  à  $13^{\circ}\text{C}$ ). A l'exception d'une période d'ouverture pendant la journée du 21/12, les ouvrants de la serre sont restés fermés quasiment en permanence du fait des consignes d'aération élevées ( $18^{\circ}\text{C}$  du côté abrité du vent et  $21^{\circ}\text{C}$  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.

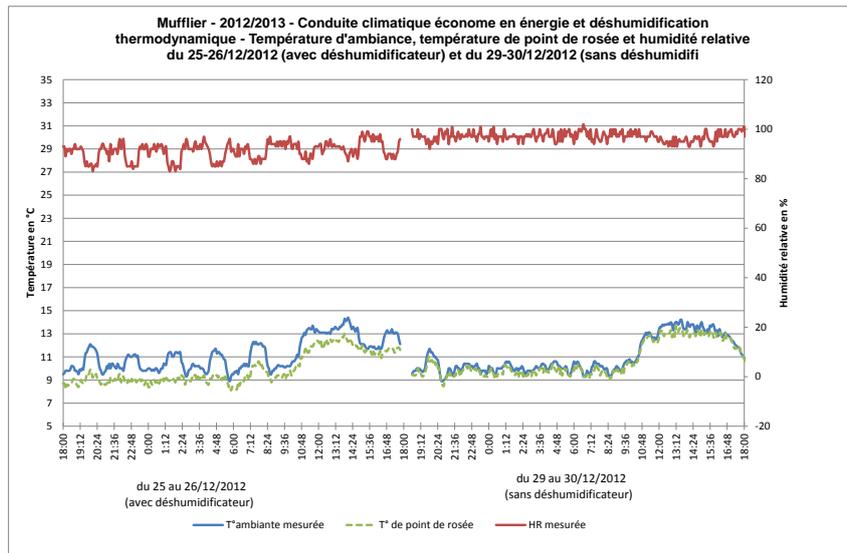


Au cours de ces journées, si le déshumidificateur thermodynamique n'avait pas fonctionné, l'hygrométrie serait probablement restée à plus de 90-95 % pendant une très grande partie de période et le risque de condensation aurait été plus important. Ainsi, pour cette période de 48 heures, la durée où un risque de condensation a été mesurée (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 été de 5H45. En l'absence de fonctionnement du déshumidificateur, cette durée aurait probablement été au minimum de 15H45. Dans la journée du 22/12, il n'y a pas eu d'augmentation significative de la température car l'ensoleillement était trop faible.



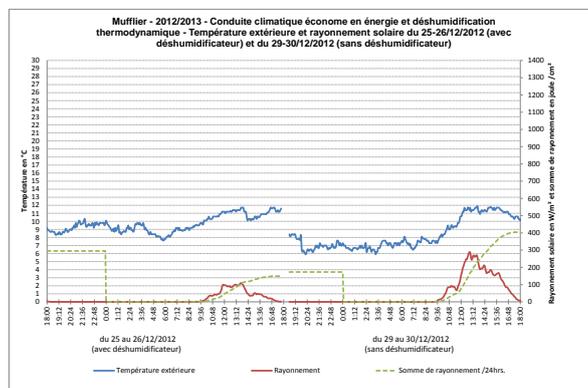
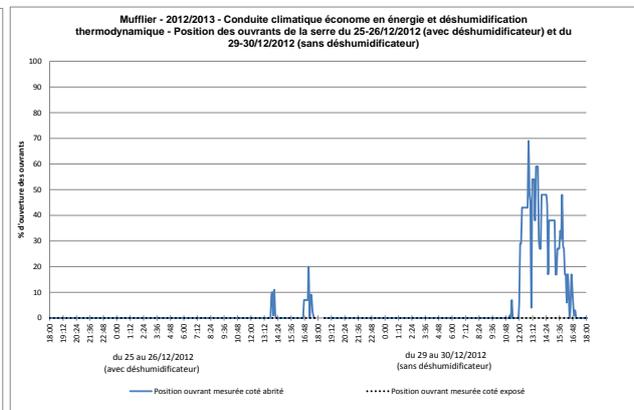
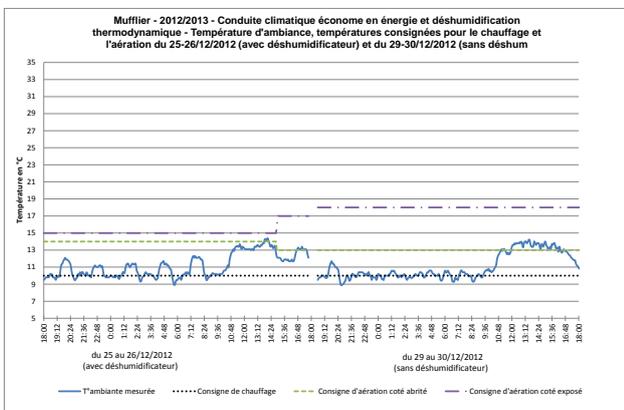
#### 4.4.2. – Du 25-26/12/12 et du 29-30/12/12

Les figures ci-dessous permettent de comparer une journée où le déshumidificateur thermodynamique est en marche par rapport à une journée où il ne l'ai pas pour des journées où les conditions météorologiques et la conduite du climat sont assez proches en dehors de ce facteur.



Pour la période du 25 au 26/12 au cours de laquelle le déshumidificateur a fonctionné (avec une programmation par intermittence d'1 heure de marche pour 1 heure d'arrêt pendant la nuit soit 5 heures la nuit et 3 heures le jour), on peut clairement observer l'effet de l'appareil sur l'hygrométrie de la serre. Lors des mises en marches de l'appareil, l'hygrométrie chute d'environ 10 %. En comparaison, pour la période du 29 au 30/12, sans fonctionnement du déshumidificateur, l'hygrométrie reste en permanence à des niveaux supérieurs à 90-95% la nuit mais aussi pendant la journée malgré une aération partielle de la serre.

Au cours de ces périodes, avec des températures extérieures de 6 à 12°C, le chauffage dont la consigne était de 10°C a peu fonctionné et n'a pas permis d'obtenir un dessèchement de l'air et cela, d'autant que l'aération a peu travaillé sauf dans l'après midi du 30/12 du fait d'un ensoleillement un peu plus important à ce moment. Le déshumidificateur trouve donc particulièrement bien son intérêt lorsque la température de la serre est supérieure à 10°C (température minimum nécessaire au fonctionnement de cette gamme d'appareil).



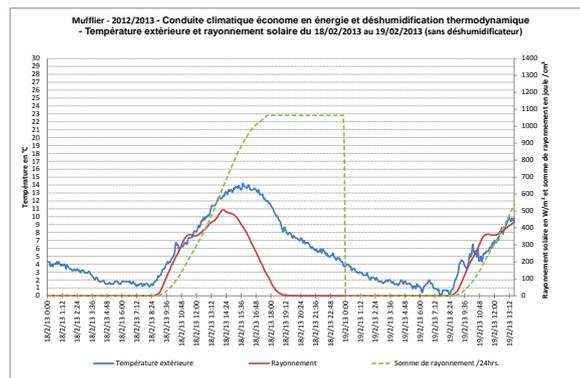
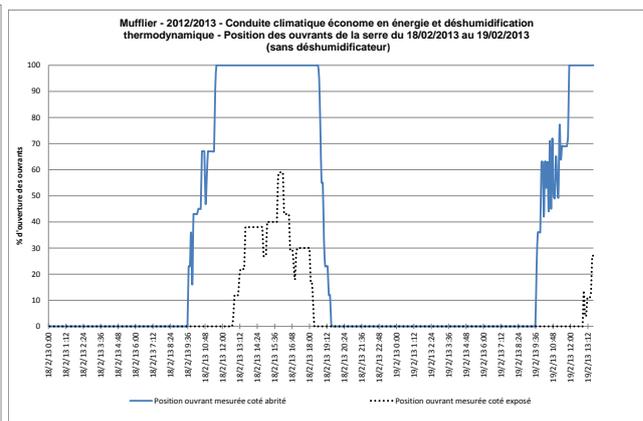
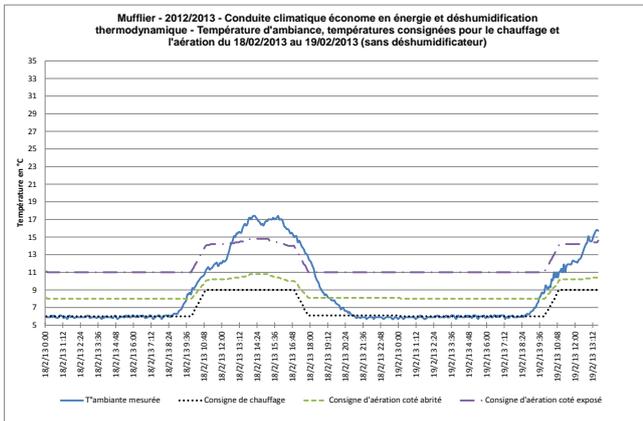
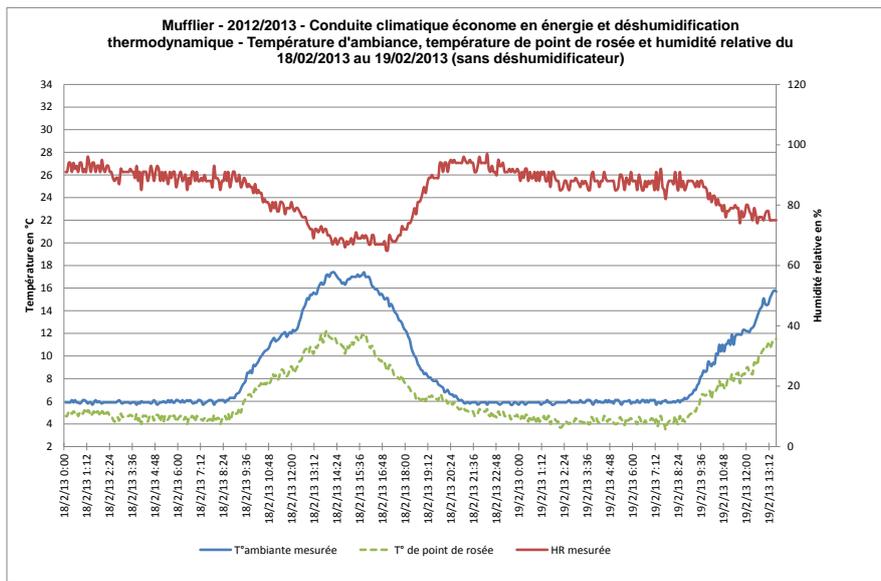
Grace au fonctionnement du déshumidificateur, le risque de condensation au cours de la période nocturne a été présent pendant 4H45 au cours de la période du 25 au 26/12 (pour une durée de cette période nocturne

de 15H00) et pendant 14H45 au cours de la période du 29 au 30/12 sans fonctionnement du déshumidificateur.

#### 4.4.3. – Du 18 et 19/02/13

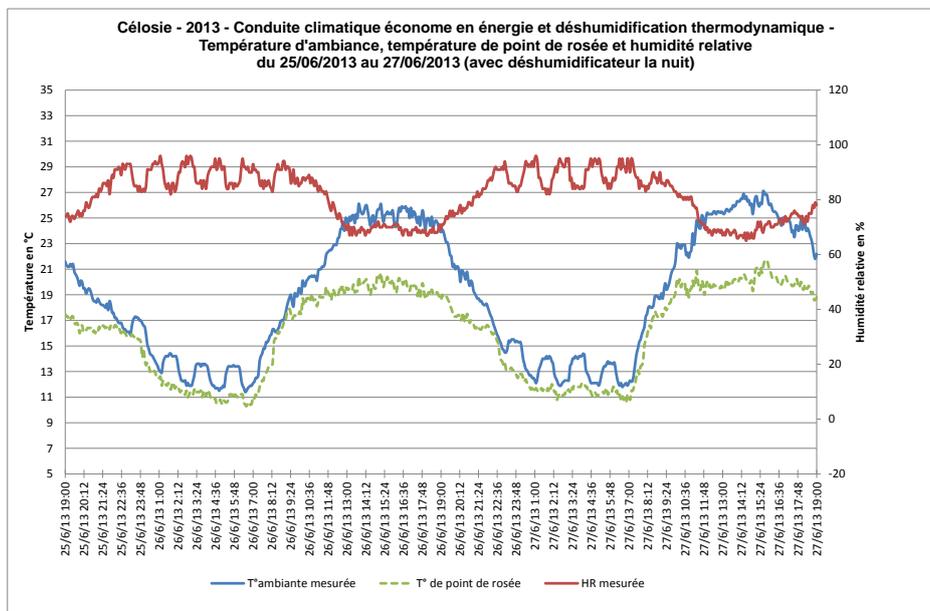
Dans la journée où les températures extérieures ont été douces avec un bon ensoleillement, le climat de la serre a été relativement sain avec une hygrométrie bien maîtrisée par une aération assez forte d'autant que les consignes de chauffage et d'aération ont été fortement abaissées par rapport aux périodes précédentes. Ces consignes ont été abaissées pour durcir la végétation qui devenait importante.

Par contre, la nuit, malgré des températures extérieures basses et en constante diminution jusqu'au lever du jour, le chauffage n'a pas fonctionné suffisamment pour déshumidifier l'air de la serre qui est resté à un niveau élevé (90 %) pendant toute la nuit car les consignes de chauffage étaient relativement basses (6°C). Avec de telles consignes de température, le fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique n'était pas possible. La consigne d'aération de 8°C pendant la nuit empêche à la serre de s'ouvrir.



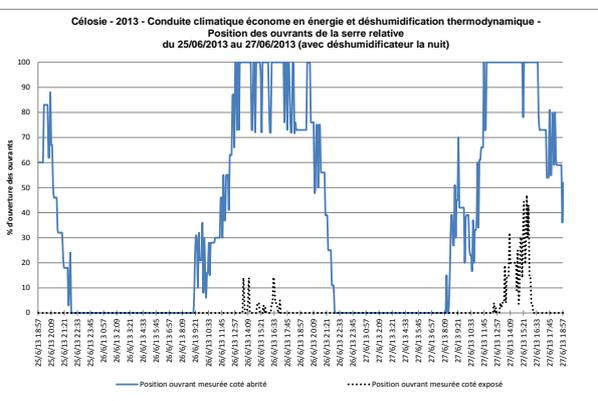
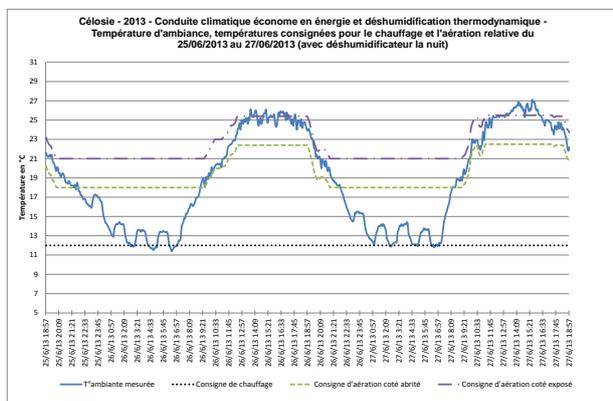
#### 4.4.4. – Du 25 au 27/06/13

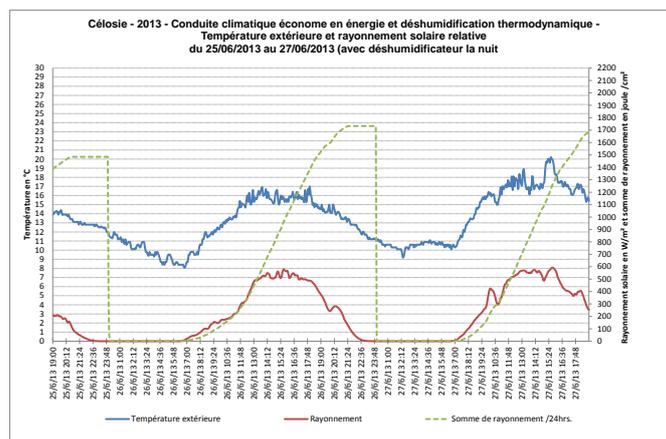
Cette période de la fin du mois de juin concerne la culture de célosie, espèce exigeante en chaleur. Les exigences de la plantes et les conditions de climat sont ici favorables à la mise en œuvre d'une conduite climatique économe en énergie avec une bonne maîtrise de l'hygrométrie au cours de la nuit grâce au fonctionnement du déshumidificateur. La consigne de chauffage est fixée à 12°C alors que la température extérieure descend à 8-9°C la nuit (température anormalement basse pour cette période de l'année). La consigne d'aération est gardée à un niveau élevé (22°C le jour et 18°C la nuit) pour conserver la chaleur accumulée dans la serre avec le soleil de la journée.



Cette consigne élevée le jour n'est pas un problème car l'ensoleillement et la température extérieure permettent l'aération de la serre à ce moment. Elle permet un bon renouvellement de l'air durant la journée tout en conservant des températures correctes dans la serre. La nuit, il n'y a pas d'ouverture de la serre de façon à ne pas trop abaisser les températures mais, l'hygrométrie est régulée par le fonctionnement par intermittence du déshumidificateur. Celui-ci fonctionne pendant une durée de 5 heures /nuit toujours par intermittence.

Cette conduite n'a pas entraîné de problème sanitaire. Par contre, les températures moyennes réalisées /24H bien qu'elles soient de l'ordre de 18 à 19°C /24H ont en fait été insuffisantes par rapport à l'équilibre de vigueur des plantes. Une température moyenne /24H plus élevée aurait été préférable pour maîtriser la vigueur et éviter par la suite les problèmes d'inflorescences déformées qui ont été observés. Les températures de nuit sont en fait restées à un niveau trop bas pour influencer favorablement la température moyenne /24H ou alors il aurait fallu accepter de monter à des températures supérieures à 25-26° dans la journée.





#### 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

Cette consommation électrique est restée modérée puisqu'elle s'élève à 10 KWh/m<sup>2</sup> entre la plantation des mufliers en novembre 2012 et la fin de la culture de célosie fin juillet 2013, pour une durée de fonctionnement programmée de 1 573 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 66,9 KWh /m<sup>2</sup> 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 114,4 KWh /m<sup>2</sup> pour la période de culture.

#### Consommation électrique pour la déshumidification de la serres - 2012/2013 pour la rotation Mufflier /Célosie

Espèce	Année	Mois	Consommation électrique / m <sup>2</sup> /semaine (KWh /m <sup>2</sup> /mois)	Consommation électrique cumulée /m <sup>2</sup> (KWh /m <sup>2</sup> )	Production d'eau (L /m <sup>2</sup> /mois)	Coût unitaire (€ /KWh)	Coût de fonctionnement hebdomadaire (€ /m <sup>2</sup> )	Coût de fonctionnement cumulé (€ /m <sup>2</sup> )	Nombre d'heure moyenne de fonctionnement programmées /jour	Seuil Hygrométrie pour démarrage déshumidificateur - seuil ordinateur climatique (en %)
Mufflier	2012	Novembre	1,1	1,1	0,9	0,070	0,080	0,08	8:00	85
	2012	Décembre	1,9	3,0	1,5	0,070	0,133	0,21	8:00	85
	2013	Janvier	0,6	3,7	0,4	0,070	0,043	0,26	8:00	85
	2013	Février	0,6	4,2	0,2	0,070	0,040	0,30	8:00	85
	2013	Mars	0,0	3,5	0,0	0,070	0,000	0,30	0:00	85
	2013	Avril	0,0	4,2	0,0	0,070	0,000	0,30	0:00	85
Célosie	2013	Mai	1,2	5,5	1,5	0,070	0,087	0,38	8:00	85
	2013	Juin	2,3	7,7	2,7	0,070	0,159	0,54	7:00	85
	2013	Juillet	2,4	10,2	4,9	0,070	0,171	0,71	5:00	85
<b>Total</b>			<b>10,2</b>		<b>12,1</b>	<b>0,070</b>	<b>0,71</b>			

#### Consommation énergétique pour le chauffage de la serre

##### Pour la rotation Mufflier / Célosie - 2012/2013 Culture des semaines 45 de 2012 à 32 de 2013

Type de conduite	Consommation énergétique en KWh/m <sup>2</sup>			Coût Total de chauffage et de déshumidification en €/m <sup>2</sup>
	Mufflier	Célosie	Total	
Période de culture <b>Conduite de référence</b> Gaz naturel (2)	Semaine 45/2012 à 17/2013 38,3	Semaine 18/2013 à 32/2013 76,1	Culture des semaines 45 de 2012 à 32 de 2013 114,4	Culture des semaines 45 de 2012 à 32 de 2013 4,8
<b>Conduite avec déshumidificateur</b> Gaz naturel (2) Electricité déshumidificateur (3) Total	30,8	36,1	66,9	2,8
	4,2	6,0	10,2	0,7
	35,0	42,1	77,1	3,5
Ecart entre la conduite étudiée et la conduite de référence en %	-8,6	-44,7	-32,6	-26,7

(1) valeur obtenue par simulation  
 (2) valeur obtenue par simulation  
 (3) Mesure par compteur électrique. Essai 2011

KWh gaz : 0,042 €/KWh  
 KWh électrique : 0,070 €/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 32 % par rapport à une conduite de référence.

En termes de coût, l'économie sur le poste énergie atteint 26 %.

Mais, selon les espèces et les époques de culture, la réalisation d'économie d'énergie pour le chauffage de la serre avec la conduite économe 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 au printemps, période où la conduite intégrée est plus facile à mettre en œuvre du fait du climat extérieur.

Pour les cultures Muflier qui est moins exigeante en température que la Célosie, la conduite économe d'énergie a permis de faire seulement 8 % d'économie d'énergie pour le chauffage de la serre. 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 températures, 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 mais ont un rendement énergétique un peu inférieur).

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 parasites 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.

**Risque de condensation sur les plantes**

**Pour la rotation Mufflier / Célosie - 2012/2013  
Culture des semaines 45 de 2012 à 32 de 2013**

Période	Risque de condensation	Mufflier			Nombre d'heures de fonctionnement programmées du déshumidificateur		Nombre d'heures d'ouverture des ouvrants						
		Semaine 45/2012 à 17/2013											
Jour	Elevé (1)	851	h	41	% de la durée des périodes de jour	309	h	15	% de la durée des jours	1079	h	51	% de la durée des jours
	Faible (2)	1249	h	60	% de la durée des périodes de jour								
Nuit	Elevé (1)	1294	h	62	% de la durée des périodes de nuit	515	h	25	% de la durée des nuits	292	h	14	% de la durée des nuits
	Faible (2)	806	h	38	% de la durée des périodes de nuit								
Total		4200	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 ( $T^{\circ}$  serre -  $T^{\circ}$  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 ( $T^{\circ}$  serre -  $T^{\circ}$  point de rosée  $> 1^{\circ}\text{C}$ )

Période	Risque de condensation	Célosie			Nombre d'heures de fonctionnement programmées du déshumidificateur		Nombre d'heures d'ouverture des ouvrants						
		Semaine 18/2013 à 32/2013											
Jour	Elevé (1)	370	h	29	% de la durée des périodes de jour	139	h	11	% de la durée des jours	996	h	79	% de la durée des jours
	Faible (2)	890	h	71	% de la durée des périodes de jour								
Nuit	Elevé (1)	583	h	46	% de la durée des périodes de nuit	450	h	36	% de la durée des nuits	273	h	21	% de la durée des nuits
	Faible (2)	677	h	54	% de la durée des périodes de nuit								
Total		2520	h										

Ainsi, pour la culture hivernale de muflier, 38 % 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 (14 % de la durée). Le fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique au cours des nuits (pendant 515 heures) a en fait permis de faire passer la durée de risque élevé de condensation d'environ 1809 heures à 1294 heures (soit 62 % de la durée des nuits) sur 2100 heures de nuits.

Pour la célosie, l'utilisation du déshumidificateur a été plus importante en proportion. 54 % des périodes de nuit ont été des périodes à faible risque de condensation. Le déshumidificateur a fonctionné pendant une durée de 450 heures soit 36 % de la durée des nuits alors que le nombre d'heures d'ouvertures des serres a été de 273 heures soit 21 % de la durée des nuits. Si le déshumidificateur n'avait pas fonctionné, la durée de la période nocturne à risque élevé aurait sans doute dépassée 1000 heures.

Ces chiffres laissent penser que le déshumidificateur thermodynamique a joué un rôle important sur la diminution du risque nocturne de condensation. Ces observations expliquent certainement en grande partie le bon état sanitaire des cultures.

La durée de fonctionnement du déshumidificateur pendant le jour a été relativement faible (11 % et 15 % de la durée du jour pour les mufliers et les célosies). Mais, l'aération a plus jouer son rôle puisque la proportion de cette période où les risques de condensation ont été élevés a été plus modérée (41 % pour les mufliers cultivés en hiver et 29 % pour les célosies cultivées au printemps).

## 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 et en 2013 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
Muflier	Sem 45 /2012	Avril 2013
Célosie	Sem 18 /2013	Juillet 2013

La conduite climatique étudiée a été réalisée 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/m<sup>2</sup> entre les semaines 42 de 2011 et 44 de 2012 et de 10,7 KWh/m<sup>2</sup> entre les semaines 45 de 2012 et 31 de 2013

Par contre, l'appareil utilisé dans cet essai nécessite une température minimum de 10°C pour pouvoir fonctionner normalement. En 2012, les températures de chauffage avaient été maintenues à ce niveau de façon à observer le fonctionnement du déshumidificateur lorsque les besoins en températures d'espèces comme les giroflées ou les tournesols n'étaient pas aussi élevés. De ce fait, les économies d'énergie observées n'ont pas été aussi fortes que souhaitées sur ces espèces. En 2013, lorsque les besoins en températures des cultures étaient inférieurs, la conduite a été modifiée en abaissant les consignes de chauffage et d'aération et en arrêtant le déshumidificateur lorsque les températures n'étaient pas suffisantes pour son fonctionnement. Ainsi, pour la culture de muflier réalisée en 2013, l'économie d'énergie a été de 8 %.

Sur Célosie, plante plus exigeante en températures mais cultivées en condition plus estivale, la conduite économe réalisée a permis d'arriver à une économie d'énergie de 44 % en 2013.

Un très bon état sanitaire du feuillage a 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, notamment au cours des périodes nocturnes.

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. Pour des espèces peu exigeantes en chaleur, un déshumidificateur fonctionnant dans la gamme de températures adaptées doit être utilisé pour pouvoir maximiser les possibilités de faire des économies de chauffage.

## 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 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.

### Matériel et méthodes

#### LOCALISATION DES ESSAIS

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

#### MATERIEL VEGETAL

5 variétés fournies par Volmary en semaine 6 et 8

*Pelargonium* Summer Idols Red

*Pelargonium* Grandeur Butterfly purple

*Calibrachoa* Calita Deep Yellow

*Petunia* Surfinia Purple

*Verbena* Samira Scarlet

Toutes les variétés sont pincées à réception ou suite au repotage en fonction du développement. La variété *Pelargonium* Grandeur Butterfly purple n'a pu être testée sur cet essai suite à une erreur de livraison.

#### MATERIEL TECHNIQUE



Compartiment de **Serre Optima** 200 m<sup>2</sup>  
Paroi et toiture en verre  
Tablettes de culture de 7m<sup>2</sup>  
Ecrans thermique  
Aérotherme et basse température  
Subirrigation

Figure 1 : Compartiment 5 Serre GIE FPSO



**Serre Venlo Optim'air** 500 m<sup>2</sup>  
Tablettes de culture de 7m<sup>2</sup>  
Paroi verre et toiture plastique  
Aérations latérales, aérothermes  
Subirrigation, déshumidification  
Protection P30 basses températures



Figures 2 et 3 : Serre Venlo Optim’Air et déshumidificateur Microdesu fonctionnant pour des températures minimales allant jusqu’à 3°C



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

Figure 4 : Tunnel plastique 176 m<sup>2</sup>



Figure 5 : Enrouleur manuel pour P30

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

### DISPOSITIF EXPERIMENTAL

MODALITES	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
ZONE	Venlo	Venlo	Tunnel	Venlo	Tunnel	Optima	Venlo	Tunnel	Optima	Tunnel	Venlo
DATE REMPOTAGE	S6	S6	S6	S6	S6	S6	S8	S8	S8	S8 mottes 55 mm	S8 mottes 55 mm
PHASE ENRACINEMENT A 10-12°C	NON	OUI 10 jours	OUI 10 jours	OUI 20 jours	OUI 20 jours	NON	NON	NON	NON	NON	NON
CONSIGNES CHAUFFAGE NUIT/JOUR	4°/ 7°C +P30	4°/ 7°C +P30	Nul P30	4°/ 7°C +P30	Nul P30	10°/ 12°C	4°/ 7°C +P30	Nul P30	10°/ 12°C		
CONSIGNES AERATION MAX	15 ° C	15 ° C	~ 15°C	15 ° C	~ 15°C	23°C	15 ° C	~ 15°C	23°C		

Facteur étudié : itinéraire cultural

Les modalités dépendent du type d’abris, des consignes de chauffage et d’aération, de la date de repotage et de la taille des mottes

### 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



Figure 6 : Enracinement des différentes variétés de la modalité 6 (serre chauffée à 10-12°C) deux semaines après le rempotage. De gauche à droite : pelargonium lierre, pelargonium zonale, calibrachoa, petunia, verveine



Figure 7 : Enracinement des différentes variétés de la modalité 1 (serre froide à 4-7°C) deux semaines après le rempotage

Contrairement aux années précédentes, une modalité a été placée directement en serre froide suite au repotage (M1) et protégée par du P30. L'enracinement de ces plantes a pu être comparé à celui obtenu en serre chaude (M6). Les figures précédentes montrent les différences entre ces deux modalités en fonction des variétés. De façon prévisible, celles placées au froid accusent un retard d'enracinement de l'ordre d'une semaine ainsi qu'un léger retard de croissance foliaire. Néanmoins, le P30 en serre froide permet des départs racinaires en deux semaines sans blocage apparent des parties aériennes.

### Croissance des plantes

#### Petunia Surfinia Purple

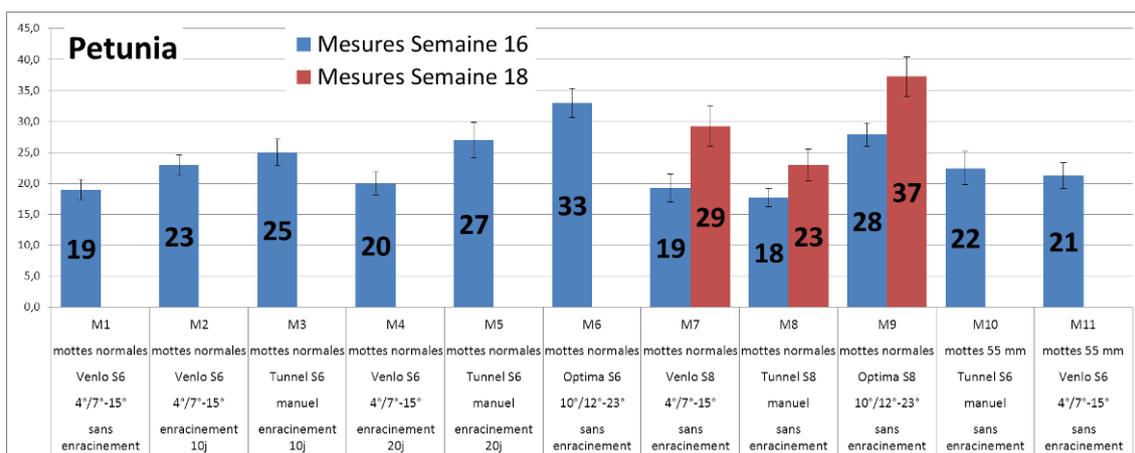


Figure 8 : Comparaison des hauteurs moyennes des petunia en fonction des modalités (semaine 16)



Figure 9 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 1, 2 et 3 (froid directement après repotage, froid après 10 jours chauffés, tunnel après 10 jours chauffés) en semaine 16



Figure 10 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 4, 5 et 7 (froid après 20 jours chauffés, tunnel après 20 jours chauffés, Froid repotage semaine 8) en semaine 16



Figure 11 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 8, 10 et 11 (tunnel rempotage semaine 8, Froid grandes mottes rempotage semaine 8, tunnel grandes mottes rempotage semaine 8) en semaine 16



Figure 12 : Comparaison de la modalité M9 (témoin chauffé) aux modalités 7 et 8 (froid rempotage semaine 8, tunnel rempotage semaine 8) en semaine 18

Les résultats obtenus cette année sont à interpréter en fonction des facteurs testés. Premièrement, en comparant les modalités 8 et 11, nous constatons que la taille des mottes de 55 mm permet d'avancer le développement des plantes d'environ une semaine. Sur la figure 11, ces deux modalités représentent respectivement des mottes normales et des mottes de 55 mm toutes deux repotées en semaine 8 et placées sous tunnel (aucun chauffage). L'écart de croissance est bien visible en termes de densité foliaire. Néanmoins, la formation des boutons est quasiment équivalente. Le faible gain en qualité obtenu avec ces mottes ne justifiera pas leur surcoût.

Ensuite, la comparaison entre les modalités 1 et 7 aborde le facteur « date de repotage ». La première modalité a été repotée en semaine 6, la deuxième en semaine 8, les deux lots étant placés directement dans la serre Venlo. Les plantes sont protégées toutes les nuits par un voile de P30. A la date de la notation, la hauteur moyenne entre les deux modalités est identique (19 cm selon la figure 8), en revanche les boutons de la modalité 1 sont plus développés que ceux de la modalité 7. La figure 12 montre que les petunia de cette dernière modalité sont commercialisables en semaine 19 tandis que ceux repotés en semaine 6 le sont en semaine 17. Ainsi, décaler de deux semaines la date de repotage décale d'autant la date de vente. Cette pratique permet tout de même d'obtenir une nouvelle série commercialisable et économisant le chauffage de la serre froide pendant deux semaines de février. A noter cependant le besoin d'un régulateur de croissance en semaine 17 pour la modalité 7 (non effectué au cours de cet essai).

Enfin, il reste à étudier l'influence de la période d'enracinement en serre chauffée sur la qualité finale de la plante. Pour ce facteur, il s'agit des comparaisons entre les modalités 2 et 4 placées dans la serre Venlo après 10 et 20 jours d'enracinement chauffé et entre les modalités 3 et 5 placées dans le tunnel après les mêmes durées d'enracinement. Concernant la serre Venlo, le volume foliaire des plantes ayant eu 10 jours chauffés est plus important que celui des plantes ayant eu le double ce qui est confirmé par les hauteurs moyennes (23 cm contre 20 cm). Au niveau de la floraison, aucune différence n'est observée entre les modalités. Si nous comparons avec la modalité 1 n'ayant pas eu de phase d'enracinement chauffé, les deux autres modalités accusent un retard de floraison.

Pour le tunnel, le développement foliaire est proportionnel à la durée d'enracinement, soit 25 cm de hauteur moyenne pour 10 jours contre 27 cm pour 20 jours. En revanche, nous observons une légère avance de

floraison pour les plantes ayant été placées plus rapidement sous tunnel. Le facteur « enracinement » nous permet également de comparer le comportement des plantes en fonction de leur localisation serre Venlo ou tunnel. Entre les modalités 2 et 3, la floraison est bien plus rapide sous tunnel, de l'ordre d'une dizaine de jours, les ramifications sont plus importantes et les feuilles plus petites. En résumé, pour le petunia Surfinia Purple, 10 jours d'enracinement avec des consignes de chauffage à 10-12°C sont suffisants et il n'y pas d'intérêt à allonger cette période. Avec les conditions météorologiques de cette année, cette phase d'enracinement a même été inutile pour des plantes cultivées sous serre froide et a retardé la floraison.

Calibrachoa Calita Deep Yellow

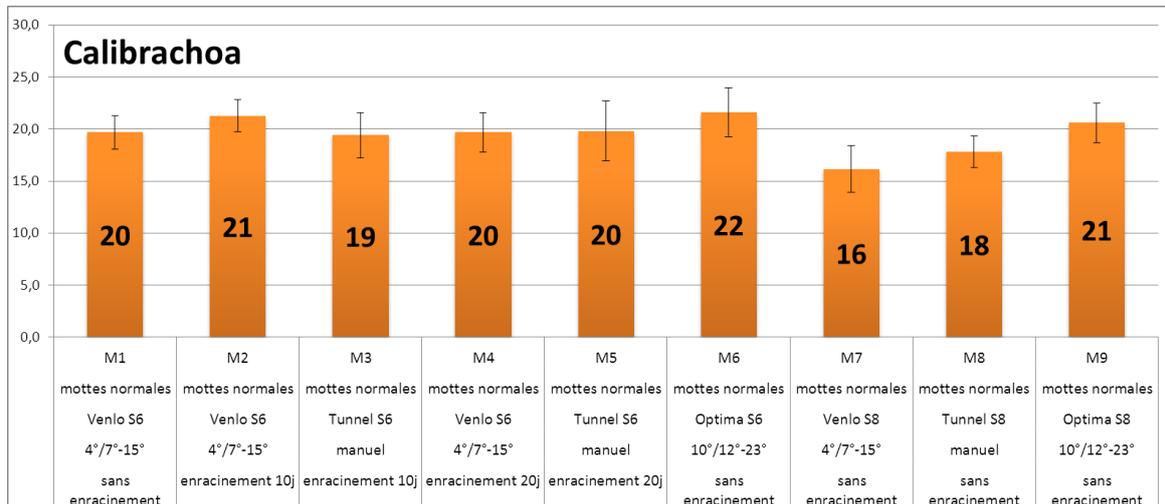


Figure 13 : Comparaison des hauteurs moyennes des calibrachoa en fonction des modalités (semaine 16)



Figure 14 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 1,2 et 3 (froid directement après rempotage, froid après 10 jours chauffés, tunnel après 10 jours chauffés) en semaine 16



Figure 15 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 4,5 et 7 (froid après 20 jours chauffés, tunnel après 20 jours chauffés, Froid rempotage semaine 8) en semaine 16



Figure 16 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) à la modalité 8 (tunnel rempotage semaine 8) en semaine 16

Contrairement au petunia, les mottes de 55 mm pour ce calibrachoa n'étaient pas proposées par le fournisseur donc ce facteur n'apparaît pas.

Concernant les dates de rempotage, les modalités 1 et 7 montrent une différence importante de développement. Les plantes repotées en semaine 6 atteignent 4 cm de plus en hauteur (figure 13). Le feuillage de la modalité 7 présente également un jaunissement dû certainement à une carence en fer. Le rempotage en semaine 8 a donc été plus difficile à maîtriser donnant un produit non commercialisable en semaine 16. Les mêmes plants reçus en semaine 8 mais placés sous tunnel (modalité 8) sont de bien meilleure qualité, en termes de floraison et de volume foliaire. Les calibrachoa ont mieux poussé avec un climat moins contrôlé et un confinement plus important en journée.

Concernant la durée d'enracinement, nous avons la série de modalités 1, 2 et 4 correspondant à un enracinement non chauffé, 10 jours et 20 jours chauffés (localisation serre froide ou Venlo). Dans ces conditions, un enracinement pendant 10 jours avant le transfert au froid donne le meilleur résultat (de l'essai) en considérant la qualité de la floraison et le développement foliaire. La modalité sans phase d'enracinement manque de volume et nécessiterait une semaine supplémentaire de culture. L'enracinement de 20 jours donne les plantes les plus jaunes et les plus petites. Dans le tunnel, la modalité la plus intéressante est M3 correspondant à 10 jours d'enracinement tandis que la modalité 5 accuse un retard de floraison malgré les 10 jours supplémentaires en serre chauffée.

### Verbena Samira Scarlet

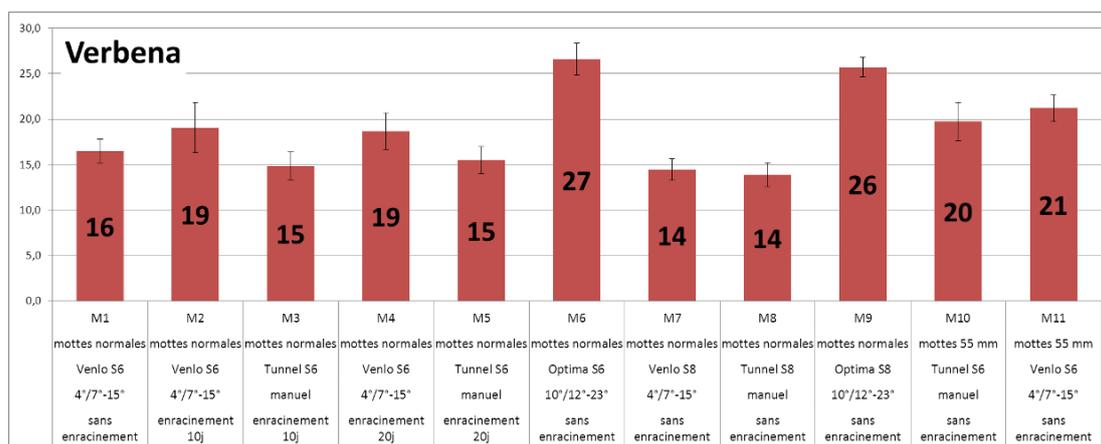


Figure 17 : Comparaison des hauteurs moyennes des verveines en fonction des modalités (semaine 16)



Figure 18 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 1, 2 et 3 (froid directement après repotage, froid après 10 jours chauffés, tunnel après 10 jours chauffés) en semaine 16



Figure 19 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 4, 5 et 7 (froid après 20 jours chauffés, tunnel après 20 jours chauffés, Froid repotage semaine 8) en semaine 16



Figure 20 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 8, 10 et 11 (tunnel repotage semaine 8, Froid grandes mottes repotage semaine 8, tunnel grandes mottes repotage semaine 8) en semaine 16

De même que pour le petunia, des mottes de 55 mm ont été testées sur la verveine Samira Scarlet, avec un repotage en semaine 8. Ce taxon est beaucoup moins vigoureux que le petunia ce qui donne un écart important de développement entre les modalités 7 et 8 correspondant à des mottes normales et les modalités 10 et 11. Ces dernières présentent des hauteurs moyennes d'environ 20 cm tandis que les autres plafonnent à 14 cm. Par ailleurs, les modalités 10 et 11 présentent une floraison commercialisable en semaine 16 alors que les mottes normales ont des boutons à peine colorés. Pour la verveine, il y a un intérêt à utiliser des mottes plus développées pour gagner en précocité sur la vente. Cependant, le surcoût lié aux mottes de 55 mm sera difficilement compensé par l'économie de deux semaines de chauffage.

En ce qui concerne les dates de rempotage, le couple de modalités 1 et 7 correspond à des mottes normales plantées en semaines 6 et 8, directement placées en serre froide (ou Venlo). Dans les deux cas, les plantes ne sont pas commercialisables à la date de notation, elles manquent de volume foliaire et de fleurs ouvertes. La croissance végétative est quasiment équivalente ce qui montre la difficulté de la verveine à bien enracciner au froid. En revanche, la modalité rempotée deux semaines avant l'autre présente des boutons plus avancés.

Enfin, concernant la durée d'enracinement, deux séries de modalités sont à étudier. La première comportant les modalités 1, 2 et 4 correspond aux plantes placées sous serre froide respectivement sans phase d'enracinement, avec 10 et 20 jours d'enracinement chauffé. Comme pour les précédents taxons, 20 jours de chauffage après le rempotage n'apportent pas d'intérêt sur la qualité de la plante par rapport aux 10 jours de la modalité 2. En revanche, placer directement les pots au froid ralentit la croissance et l'induction florale donc pour une vente fin avril, une phase d'enracinement de 10 jours à 10-12°C est indispensable.

La deuxième série de modalités traite des plantes placées sous tunnel après 10 et 20 jours d'enracinement. A nouveau, les deux modalités sont quasiment équivalentes en croissance et floraison donc chauffer 10 jours de plus est inutile. En comparaison avec les verveines sous serre froide, celles-ci sont de meilleure qualité compte tenu de la floraison plus développée. L'aération moins maîtrisée sous tunnel convient mieux à la verveine en raison d'une augmentation plus importante de la température de l'air que sous la serre Venlo.

### Pelargonium Summer Idols Red

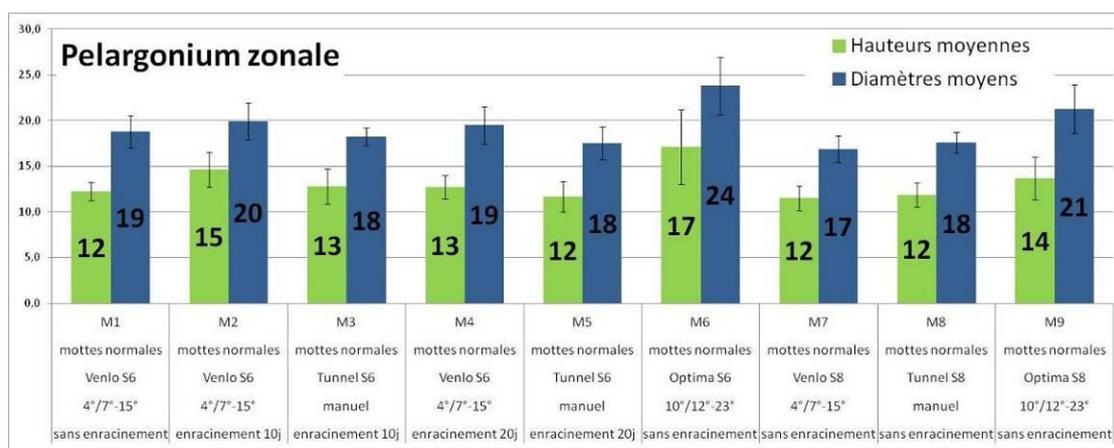


Figure 21 : Comparaison des hauteurs et des diamètres moyens des pelargonium en fonction des modalités (semaine 16)



Figure 22 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 1, 2 et 3 (froid directement après rempotage, froid après 10 jours chauffés, tunnel après 10 jours chauffés) en semaine 16



Figure 23 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) aux modalités 4, 5 et 7 (froid après 20 jours chauffés, tunnel après 20 jours chauffés, Froid repotage semaine 8) en semaine 16



Figure 24 : Comparaison des modalités M6/M9 (témoins chauffés) à la modalité 8 (tunnel repotage semaine 8) en semaine 16

Commençons par les dates de repotage, les modalités M1 et M7 comparent des mottes plantées respectivement en semaines 6 et 8 et placées dans la serre Venlo. Au niveau des mesures de hauteurs et de diamètres, les différences sont faibles : les diamètres moyens sont équivalents, la hauteur moyenne de la modalité 7 est deux centimètres plus faibles. Pourtant, sur les photographies, l'écart de développement est important en termes de volume foliaire et de floraison. La modalité 1 pourra être commercialisable la semaine suivante tandis que la modalité 7 ne sera pas en vente avant la semaine 19. Pour ce taxon, le décalage du repotage retarde d'autant de temps la commercialisation pour une culture sous serre Venlo. En revanche, si nous plaçons les pots sous tunnel en semaine 8 (modalité 8), le résultat est très différent. Nous obtenons une plante commercialisable dès la semaine 16, au volume foliaire moyen et floraison précoce. Les augmentations de température en journée favorisent nettement le développement du pelargonium sans pour autant altérer la régulation de croissance obtenue par les nuits froides.

En ce qui concerne les durées d'enracinement, nous devons comparer les deux séries de modalités M1, M2, M4 et M3, M5. La première reprend les plantes placées sous serre Venlo tandis que la deuxième se trouve sous tunnel. Pour la serre, une période de chauffage pendant la phase d'enracinement permet d'augmenter le volume foliaire de la plante et donc de gagner en qualité. La modalité 2 est plus équilibrée que la modalité 1 qui n'a pas eu de période de chauffage. Celle-ci n'a pas d'action sur la floraison. Chauffer 10 jours de plus (modalité 4), augmente encore le développement et la qualité. Cependant le gain obtenu n'est pas suffisant pour justifier la dépense énergétique supplémentaire ce qui confirme les résultats des taxons précédents. A noter l'aspect très différent des feuilles du pelargonium placé au froid par rapport aux modalités 6 et 9 qui sont restées sous serre Optima. Les zones foncées des feuilles sont beaucoup plus marquées au froid et les feuilles restent plus petites ce qui correspond à un autre critère de qualité.

Pour les plantes placées sous tunnel, nous retrouvons l'effet des 20 jours de chauffage (modalité 5) sur le volume foliaire par rapport aux 10 jours de la modalité 3. La plante gagne en nombre de feuilles et donc en qualité sans pour autant justifier la dépense énergétique supplémentaire.

# Dépenses énergétiques

## DONNEES METEOROLOGIQUES

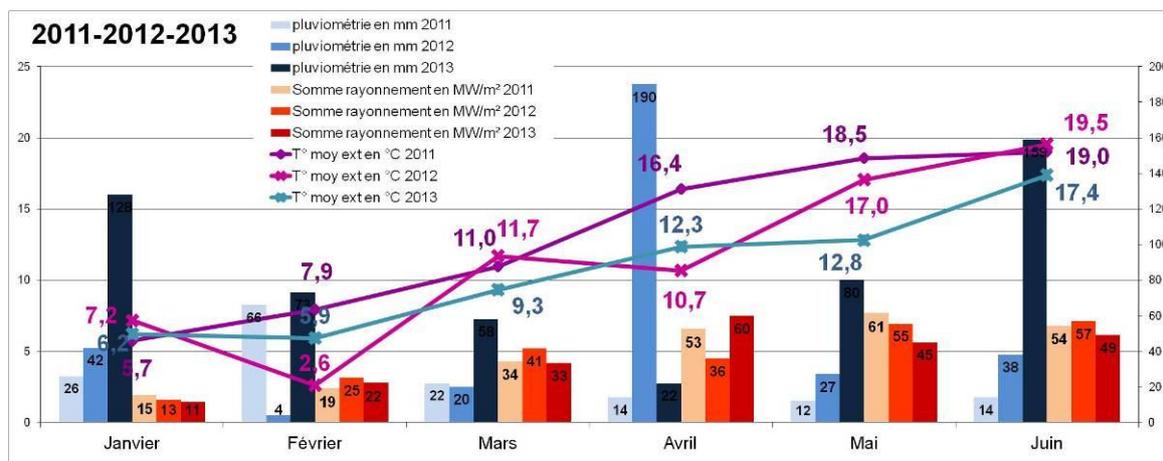


Figure 25 : Températures moyennes extérieures journalières, rayonnement solaire et pluviométrie sur la période de l'essai.

En termes de conditions météorologiques, les hivers et les printemps des dernières années ne se ressemblent pas. La figure ci-dessus reprend la pluviométrie, la température extérieure moyenne et le rayonnement cumulé sur la période de janvier à juin et depuis 2011. La comparaison des 3 années indique des températures relativement moyennes en 2013 par rapport au froid de 2012 et à la douceur de 2011. En revanche, les mois de mai et de juin ont été particulièrement frais et pluvieux cette année (plus de 4°C de différence en mai par rapport à une année normale). Cette pluie abondante se répercute évidemment sur la quantité d'ensoleillement, la plus faible enregistrée sur 3 ans. En résumé, de janvier à avril, la température extérieure et la luminosité ont été proches des normales saisonnières ce qui a donné une croissance régulière des plantes sur cette période. Néanmoins, la période de vente se déroulant sur les mois de mai et juin a été fortement perturbée par la pluviométrie et la chute des températures.

## MESURES DE TEMPERATURES DANS LES CULTURES

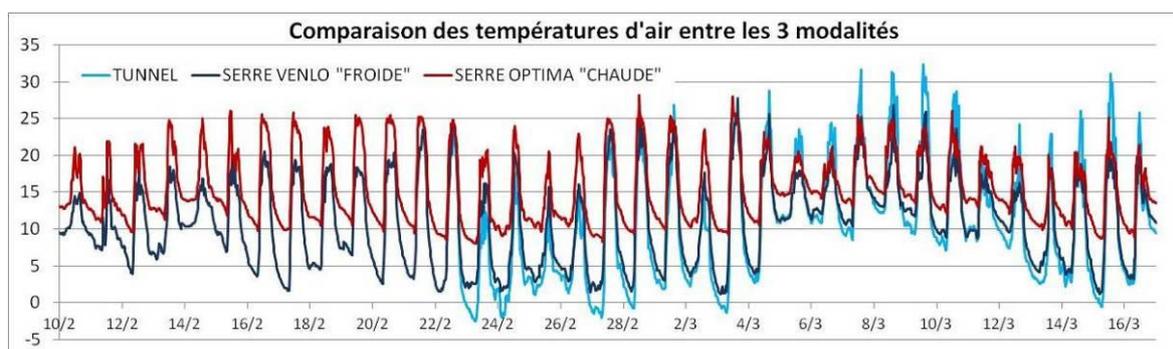


Figure 26 : Comparaison des températures de l'air dans les 3 modalités de février à mars

Comme l'ont montré les données météorologiques précédentes, l'hiver 2013 n'a pas été particulièrement froid dans le sens où les températures minimales enregistrées n'ont pas dépassé les -5°C. Sur la figure 26 apparaît la période entre le 23 février et le 4 mars où les températures de nuit sont descendues sous 0°C. Dans le tunnel non chauffé, un simple plastique n'empêche pas les gelées tandis que dans la serre Venlo, les minimums enregistrés au niveau de la culture sont de l'ordre de 2 à 3°C et dans la serre Optima témoin, elles avoisinent les 8°C. L'enregistrement des températures à proximité des plantes montre d'ailleurs qu'il existe une différence entre les consignes données qui dépendent d'une sonde située à 1,50 m du sol et les conditions réelles dans la culture située sur tablette ou directement au sol.

Pour les températures en journée, l'aération limitée et manuelle sous tunnel ne permet pas un contrôle aussi efficace des températures maximales. Début mars, les enregistrements indiquent régulièrement des températures supérieures à 30°C. Ce confinement répété peut entraîner des difficultés dans la maîtrise de la croissance des plantes qui se traduit par un étiolement en journée. Cette année, cet effet n'a pas été

observé, au contraire il semble que l'augmentation importante des températures pendant quelques heures a favorisé la croissance de la verveine et la floraison de l'ensemble des taxons. Entre les 3 modalités, les écarts de températures les plus importants sont observés pendant les nuits les plus froides. Entre le tunnel et la serre Venlo, il a été mesuré jusqu'à 4°C de différence et entre la serre Venlo et la serre Optima, jusqu'à 8°C d'écart. Dans ces conditions, l'utilisation du P30 dans le tunnel est indispensable pour la survie des plantes de même qu'il est fortement conseillé dans la serre Venlo pour augmenter de quelques degrés l'air au contact des feuilles. Les figures suivantes reprennent les enregistrements des températures de part et d'autre de la protection P30 pour les deux modalités concernées. Dans le tunnel (figure 27), nous retrouvons les températures négatives au-dessus de la protection pendant les nuits du 23, 24 et 27 février. La sonde sous le voile a mesuré quant à elle des températures positives avec un écart allant jusqu'à 4,5°C de plus. Cette pratique est donc très efficace pour maintenir les plantes hors gel, une couche de protection étant suffisante pour des températures extérieures entre 0 et -3°C. Au-delà, des couches supplémentaires protègent jusqu'à des températures de -6°C. Pour la serre Venlo, nous constatons que le P30 remonte la température de l'air au contact des plantes à 5°C sans chauffage supplémentaire. Les températures de l'air au-dessus de la protection étant déjà positives, le gain obtenu n'est pas aussi important que sous tunnel, néanmoins le résultat est significatif.

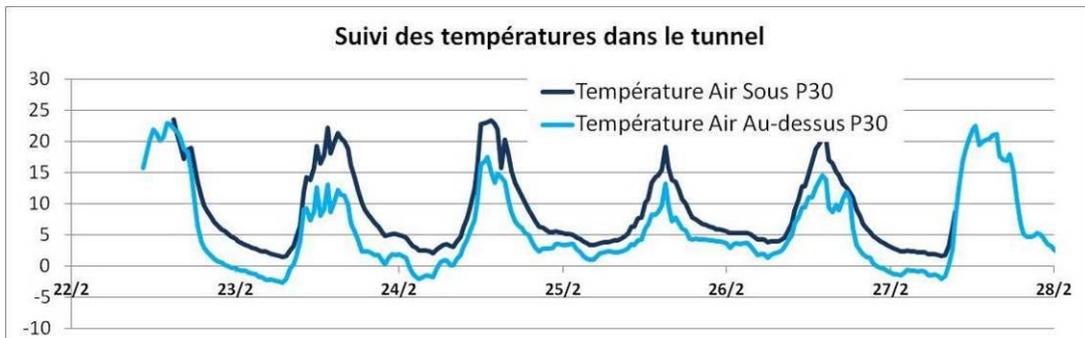


Figure 27 : Suivi des températures de l'air au-dessus et en dessous de la protection P30 dans la modalité « Tunnel »

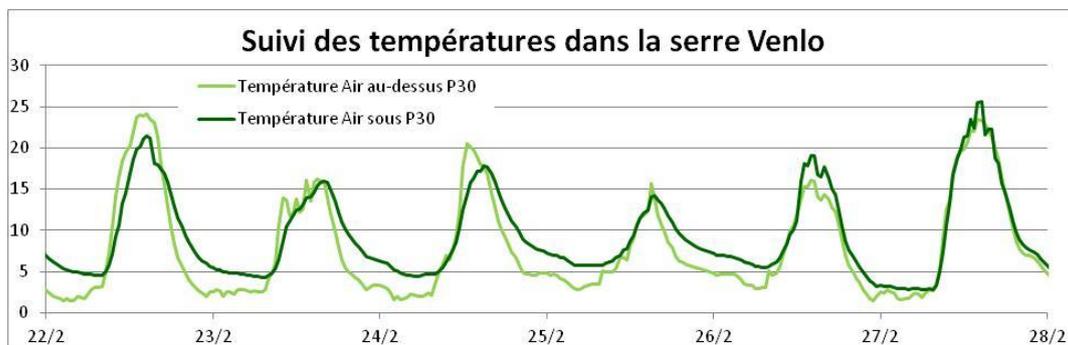


Figure 28 : Suivi des températures de l'air au-dessus et en dessous de la protection P30 dans la modalité « Serre Venlo »

## BILAN ENERGETIQUE

- DESHUMIDIFICATION

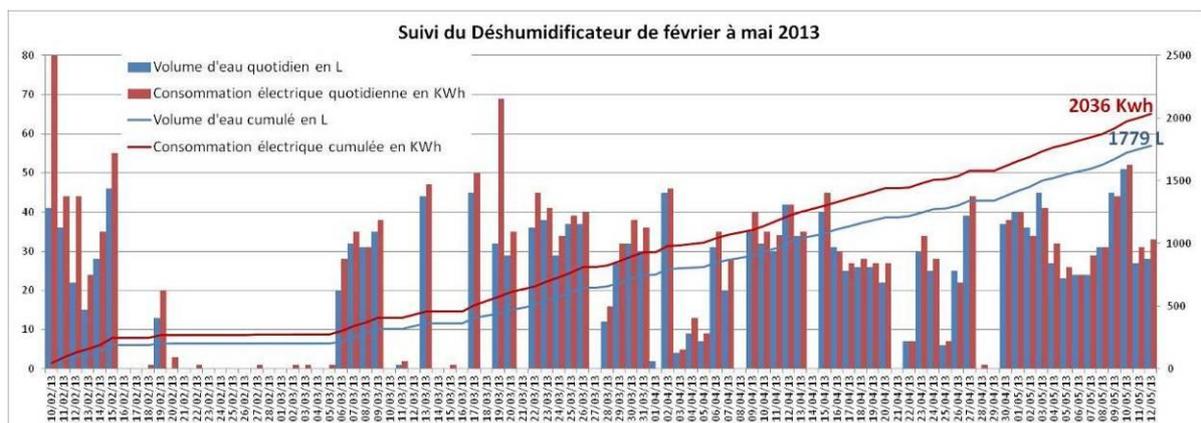


Figure 29 : Suivi de la quantité d'eau extraite par le déshumidificateur et de la consommation électrique correspondante de février à mai 2013

Pendant toute la durée de l'essai, un compteur électrique mesure en continu la consommation énergétique du déshumidificateur. Par ailleurs, le volume d'eau quotidien est relevé manuellement. Sur la figure 29, les barres bleues correspondent à la quantité d'eau extraite à chaque fonctionnement du déshumidificateur. Les barres rouges indiquent la consommation en électricité sur cette même période. Sur l'ensemble, la déshumidification est discontinuée puisqu'elle dépend du taux d'humidité dans la serre. Début février par exemple, un froid sec rend le fonctionnement de l'appareil inutile pendant plusieurs jours. Pour une humidité au-dessus du seuil, une température basse réduit le rendement de la machine ce qui se traduit par des barres rouges parfois plus grandes que les bleues. Globalement, nous observons des tailles de barres proches. Les relevés cumulés le confirment avec 2036 KWh consommés pour 1779 L extraits sur toute la période. En moyenne, nous obtenons 1,15 KWh consommé pour 1 L d'eau extrait.

- CHAUFFAGE

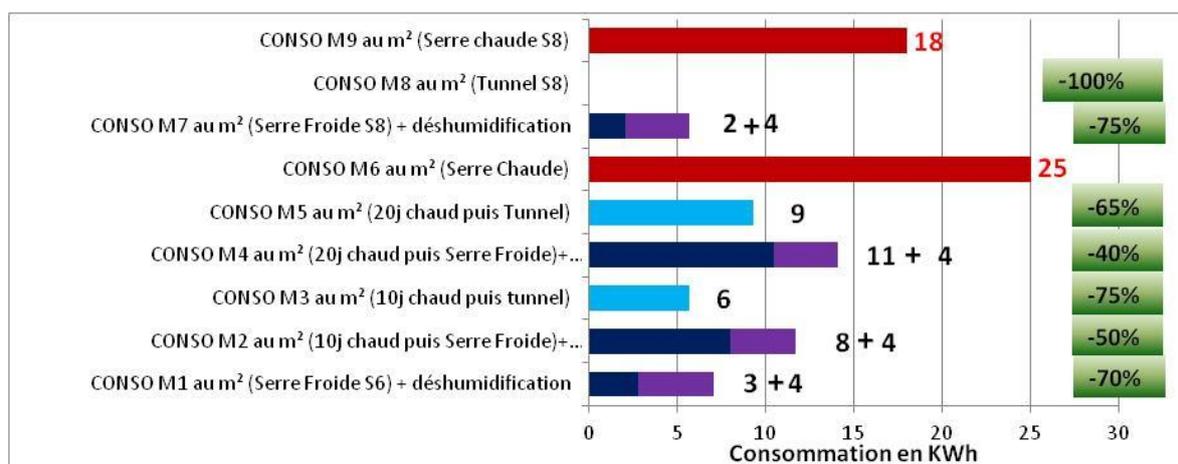


Figure 30 : Consommation énergétique totale de toutes les modalités testées en 2013 (KWh/m²)

Toutes les consommations indiquées sur la figure 30 sont ramenées au m² de culture. Les barres bleu clair correspondent aux modalités placées sous tunnel, les barres bleu foncé représentent les modalités placées sous serre Venlo et les barres rouge les modalités sous serre Optima. Les ajouts violet correspondent aux consommations du déshumidificateur. En ce qui concerne les plantes recevant des consignes de chauffage de 10-12°C dès la semaine 6 (modalité 6), la consommation est maximale soit 25 KWh/m². En rempotant deux semaines après (modalité 9), l'économie est de 7 KWh/m² soit 28% d'économie. Ce sont surtout les autres modalités qui nous intéressent avec des consommations faibles et une qualité commerciale plus élevée. Rempoter des plantes en semaine 8 et les placer directement sous tunnel permet de n'avoir aucune dépense énergétique (modalité 8). Les placer à la même date sous serre Venlo ne consomme que 2 KWh/m² de chauffage auxquels il faut ajouter 4 KWh/m² de déshumidification. Le total est d'ailleurs équivalent à la consommation enregistrée pour 10 jours d'enracinement à 10-12°C (modalité 3). Cette dépense représente 75% d'économie par rapport au témoin M6.

Un rempotage en semaine 6 avec une culture totalement sous serre verre froide consomme 3 KWh/m² plus 4 KWh/m² de déshumidification donc l'enracinement au froid de la semaine 6 à la semaine 8 consomme 1 KWh/m² contre 7 KWh/m² à 10-12°C (données 2013). En fonction des taxons cultivés, la réflexion sur le besoin d'un enracinement chauffé est donc un levier important dans l'économie d'énergie. La comparaison entre 10 et 20 jours de période d'enracinement chauffé indique une surconsommation de 3 KWh/m² (voir M3 et M5) soit 30% de plus pour les 10 jours supplémentaires (en fonction du climat de l'année).

## Conclusion

Le programme national sur les économies d'énergie en cultures horticoles a donné de nombreux résultats cette année. Le choix de réduire le nombre de variétés a permis de tester un nombre important de facteurs. Afin de résumer simplement les conclusions pour chaque végétal, un tableau récapitulatif calcule des notes pour plusieurs catégories clés en horticulture d'ornement : équilibre de la croissance dans le pot, précocité de la floraison, économie d'application de régulateurs de croissance, qualité commerciale pour la vente, précocité d'enracinement, économie de chauffage. Les meilleures notes sont accentuées par la couleur

verte, les moins bonnes par le rouge. Les scores totaux les plus importants (au-dessus de la moyenne de 27) sont en violet.

Modalités		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Rempotage		S6	S6	S6	S6	S6	S6	S8	S8	S8	S8	S8
Type de mottes		normale	normale	normale	normale	normale	normale	normale	normale	normale	grande	grande
Localisation		serre froide	serre froide	tunnel	serre froide	tunnel	serre chauffée	serre froide	tunnel	serre chauffée	tunnel	serre froide
Phase enracinement		NON	10j	10j	20j	20j		NON	NON		NON	NON
PETUNIA	Equilibre croissance	++	+++	++	+	++	-	++	++	-	++	++
	Précocité floraison	++	-	++	-	++	-	-	-	-	+	+
	Economie régulateur	++	++	++	++	++	-	++	++	-	-	-
	Qualité commerciale	+++	++	+++	++	+++	-	++	+	-	++	++
CALIBRACHOA	Equilibre croissance	++	++	+	+	+	+++	-	+++	+++		
	Précocité floraison	+++	+++	+++	+	+	+++	+	+++	+++		
	Economie régulateur	+++	+++	+++	+++	+++	-	+++	+++	-		
	Qualité commerciale	++	+++	+	+++	+++	-	-	+++	-		
VERBENA	Equilibre croissance	+	++	+++	+	+++	+	+	+	-	++	+++
	Précocité floraison	+	++	+++	+++	+++	++	-	-	-	+++	+++
	Economie régulateur	+++	++	++	++	++	-	+++	+++	-	-	-
	Qualité commerciale	++	++	+++	++	+++	+	-	-	-	++	+++
PELARGONIUM	Equilibre croissance	++	+++	++	+++	+++	-	+	++	-		
	Précocité floraison	+	-	+	-	+	+	-	+++	+		
	Economie régulateur	+++	++	++	++	++	-	+++	++	-		
	Qualité commerciale	++	+++	+	+++	+++	-	-	+++	-		
Précocité enracinement		-	+	+	++	++	++	+	+	++	++	++
Economie chauffage		+++	++	+++	+	++	-	+	++	-	+	+
<b>Score sur 54</b>		<b>37</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>34</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>17</b>

En cumulant toutes les variétés, les modalités M1, M2, M3, M4, M5 et M8 obtiennent les meilleurs résultats, largement devant les autres. Pour les 4 variétés testées cette année (principaux genres vendus en France), les itinéraires de culture les plus intéressants sont les repotages en semaine 6 placés directement en serre froide, ceux bénéficiant d'un enracinement chauffé (quelle que soit la durée) puis placés au froid (serre ou tunnel) et les repotages décalés de deux semaines placés directement sous tunnel non chauffé. Tous ces itinéraires comprennent l'utilisation d'une protection P30 au contact des plantes pendant toutes les périodes froides (sous 5°C). Le repotage décalé donne une deuxième série de vente, les plantes accusant un retard d'une à deux semaines.

Le gain en qualité obtenu suite à une durée d'enracinement chauffé plus importante est négligeable si on considère la dépense énergétique supplémentaire engendrée.

L'essentiel dans ce type d'essai est de pouvoir valider les résultats sur plusieurs années afin de pouvoir établir une règle de culture applicable en production quelle que soit les conditions météorologiques. Seules les répétitions sur les modalités les plus pertinentes permettront d'y parvenir en rassurant les opérateurs sur les pratiques expérimentales choisies comme l'utilisation du P30. En considérant la diversité des plantes cultivées pour la vente du printemps chez les producteurs, les perspectives de l'essai sont également l'élargissement de la gamme végétale testée dans les mêmes conditions.

## IV.2.4 – Résultats de l'AREXHOR Grand Est sur plantes en pots pour une gamme de printemps

### 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.

#### Matériel technique

- **Deux serres verre Marchegay** d'environ 200 m<sup>2</sup> chacune, équipées d'écrans thermiques, de tablette de cultures arrosées par sub-irrigation, d'un chauffage basse température sous les tablettes et d'un chauffage aérien.
- **Bitunnel** à aérations latérales de 500m<sup>2</sup> maintenu hors gel par un générateur à air chaud
- **Un déshumidificateur Microdésu Basses température** de la société CMF permettant une déshumidification par pompe à chaleur est installé en serre verre Jumelle (serre froide).
- 4 Compteurs à calories

#### Matériel végétal

- Une gamme printanière: **Pelargonium Peltatum** Grandeur® Butterfly Purple, **Pelargonium zonale** Summer Idols® Red, **Calibrachoa**,hybrida Calita® Deep Yellow **Petunia** atkinsiana Surfina® Purple, **Verbena** peruviana Samira® Scarlet de chez Volmary (Cette gamme est commune au GIE Fleurs et Plantes du Sud Ouest)

### II DISPOSITIF EXPERIMENTAL

	Réception mottes	Types mottes	Zone de culture 1	Consignes chauffage	Consignes aération max	Zone de culture 2	Consignes chauffage	Consignes aération max
M1	Semaine 6	Normale	Optima 10 jours	10°C Nuit 12°C Jour	16°C	Jumelle +deshumidificateur	5°C Nuit 7°C Jour	15°C
M2				10°C Nuit 12°C Jour	16°C	Bitunnel	1°C +P30	15°C
M3			Optima 20 jours	10°C Nuit 12°C Jour	16°C	Jumelle +deshumidificateur	5°C Nuit 7°C Jour	15°C
M4				10°C Nuit 12°C Jour	16°C	Bitunnel	1°C +P30	15°C
M5	Semaine 8		Optima	10°C Nuit 12°C Jour	15°C			
M6			Jumelle +deshumidificateur	5°C Nuit 7°C Jour	15°C			
M7			Bitunnel	1°C	15°C			
M8			Motte L	Optima	10°C Nuit 12°C Jour	15°C		
M9		Jumelle +deshumidificateur		5°C Nuit 7°C Jour	15°C			
M10		Bitunnel		1°C	15°C			

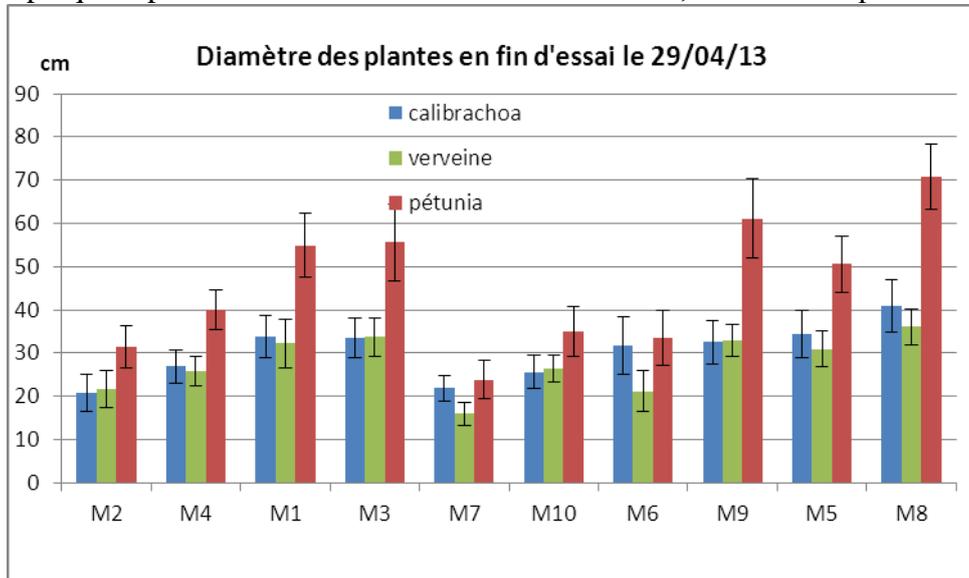
Figure 1 : Tableau récapitulatif des modalités de l'essai

### III RESULTATS

#### 3.1 Croissance des plantes

##### 3.1.1 Calibrachoa, Pétunia et Verbeina

Figure 2 : Graphique représentant la croissance des Calibrachoa, verveines et pétunia en fin d'essai



moyenne	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
calibrachoa	B 33,7	E 20,85	B 33,5	CD 26,88	B 34,43	BC 31,8	E 21,88	A 40,88	B 32,56	DE 25,63
verveine	B 32,25	D 21,73	B 33,7	C 25,86	B 30,98	D 21,23	E 15,95	A 36,05	AB 32,98	C 26,38
petunia	C 54,9	F 31,52	B 55,65	C 40,15	D 50,55	F 33,57	G 23,85	A 70,77	B 61,13	F 35,05

Figure 3 : Tableau récapitulatif des moyennes des diamètres mesurés et tests de comparaison des moyennes.

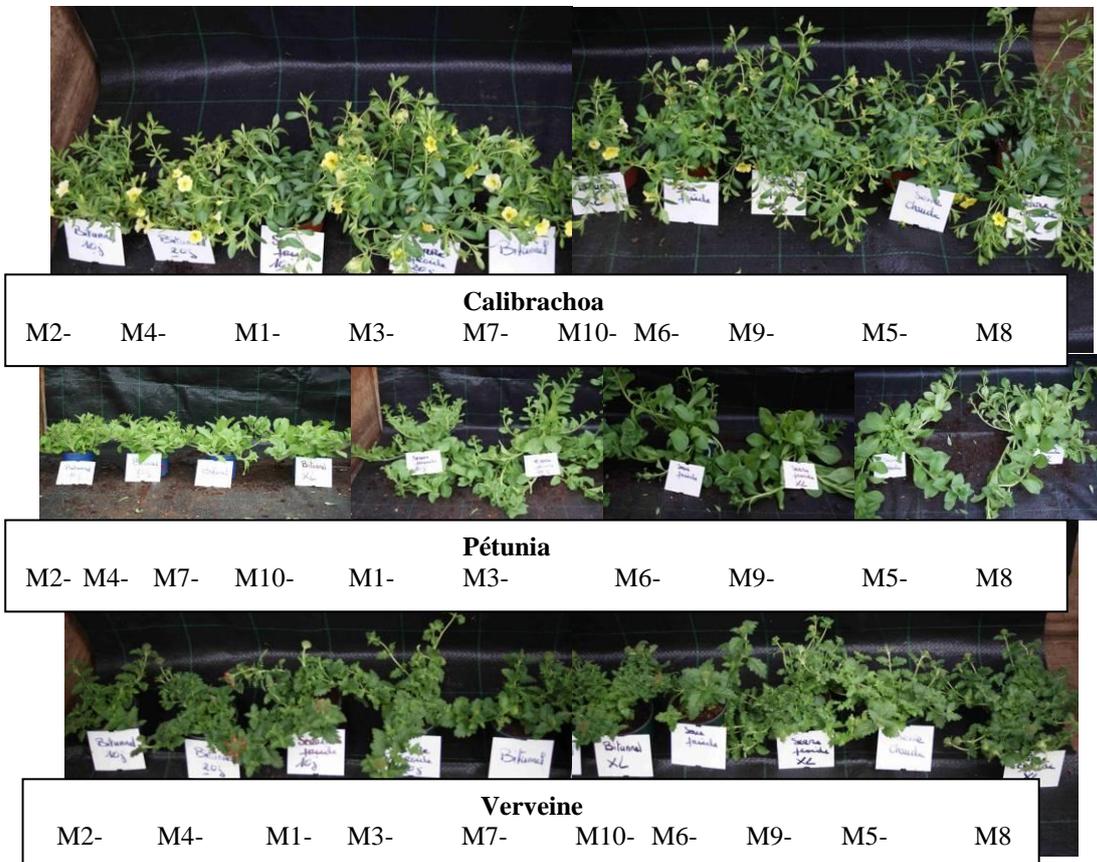


Figure 4.5.6 : Photographies présentant les calibrachos, pétunias et verveines en fin d’essai pour chacune des modalités.

Les mesures de croissances des plantes en fin d’essai permettent de mettre en évidence des différences entre les modalités. Le développement des verveines, calibrachos et pétunias est proportionnel à la quantité de chaleur reçue. Ainsi, les plantes issues des itinéraires sous serre chaude sont les plus développées (M8, M5), viennent ensuite les plantes cultivées sous serre froide avec ou non passage sous serre chaude pour l’enracinement. Cette variation entre les modalités est la plus marquée pour les pétunias qui sont de type surfinia et donc très vigoureux. Pour ce dernier, le passage au froid permet de bien réguler le développement sans avoir recours à des régulateurs de croissance indispensables lors d’une culture sous serre verre.

Pour les calibrachos et les pétunias, ceux cultivés sous bi-tunnel ont un développement suffisant pour une commercialisation fin avril/ début mai. En revanche, ces plantes cultivées à plus forte température sont dans certains cas bien trop développées. Ces mêmes remarques sont valables pour les verveines bien que leur croissance soit plus contenue.

### 3.1.2 Pelargonium peltatum et zonale

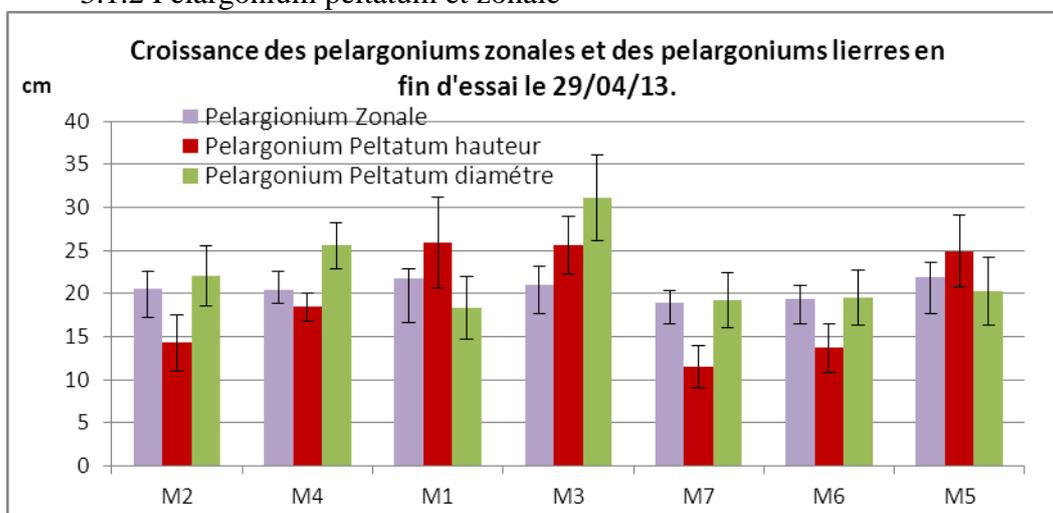


Figure 7 : Grahique présentant les mesures de croissance en fin d’essai pour les pelargoniums.

		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7						
<b>Pelargonium Zonale diamètre</b>	A	21,77	AB	20,5	A	21,06	AB	20,47	A	21,82	BC	19,35	C	18,95
<b>Pelargonium Peltatum Hauteur</b>	A	25,9	BC	14,3	A	25,6	B	18,4	A	24,9	BC	13,6	C	11,43
<b>Pelargonium Peltatum Diamètre</b>	D	18,28	C	22	A	31,13	B	25,53	D	20,19	D	19,51	D	19,2

Figure 8 : Tableau récapitulatif des moyennes mesurées et tests de comparaison des moyennes.



**Pelargonium peltatum ci-dessus**  
M2-      M4-      M1-      M3-      M7-      M6-      M5  
**Pelargonium zonale ci-dessous**



Figure 9-10 : Photographies des Pelargoniums en fin d'essais

Les pélargoniums comme pour les plantes précédemment décrites, le développement est fonction des températures de consignes de chauffage. Cependant, les différences entre les modalités sont un peu moins marquées. De plus, contrairement aux pétunias ou calibrachos, les pelargoniums zonale et peltatum ont un développement insuffisant sous bitunnel pour une commercialisation fin avril/ début mai.

### 3.2 Qualité commerciale

La qualité commerciale est une note comprise de 1 à 3 qui prend en compte l'aspect général de la plante (port, couleur, développement, symétrie...). La note 1 représente la qualité la moins bonne (plantes souvent trop développées, étiolées mais pouvant aussi être sous développées). La note 2 qualifie une qualité commercialisable mais moins bien que la note 3.

Note commerciale	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Calibrachoa	note 1	note 1	note 2	note 2	note 2	note 2	note 1	note 2	note 2	note 2
Pétunia	note 2	note 1	note 2	note 1	note 2	note 2	note 1	note 2	note 2	note 2
Verveine	note 2	note 2	note 2	note 2	note 1	note 1	note 2	note 1	note 1	note 1
Pelargonium zonale	note 1	note 2	note 1	note 2	note 1	note 1	note 2			
Pelargonium peltatum	note 1	note 2	note 1	note 2	note 1	note 2	note 2			



Figure 11 : Tableau récapitulatif des notes commerciales en fin d'essai.

La détermination de la qualité commerciale montre que les mottes L n'apportent rien d'un point de vue agronomique par rapport aux mottes normales. En effet, pour les variétés calibrachoa et pétunia étudiées, en fin d'essai, les mottes L sont trop développées. Pour les verveines les mottes L apparaissent de meilleure qualité que pour les modalités rempotées la même semaine avec des mottes normales car les plants sont plus pincés et donc plus ramifiés.

Les pétunias et calibrachos sont à cultiver sous bi-tunnel car sous serre froide ou chaude, ces plantes à développement vigoureux sont trop développées et auraient besoin de régulateurs de croissance. Quelques marques dues au froid sont présentes sur le feuillage des pétunias mais cela s'estompe et n'impacte en rien la commercialisation des plantes.

Les pelargoniums sont à cultiver sous serre froide. Produire sous serre chaude est inutile aux vues du peu de développement supplémentaire qu'ont les pelargoniums. La culture à 0°C sous bi-tunnel est trop juste pour ces plantes. Ces dernières sont trop peu développées au moment de la vente. Un liseré rouge sur le pourtour des feuilles, marque caractéristique du froid, est observé sur les

pelargoniums zonale ; et ceci quel que soit le lieu de culture. Cependant, sous serre chaude ces marques sont moins nombreuses.

### 3.3 Climatologie

Relevé climatique du 07/02/13 au 30/04/13

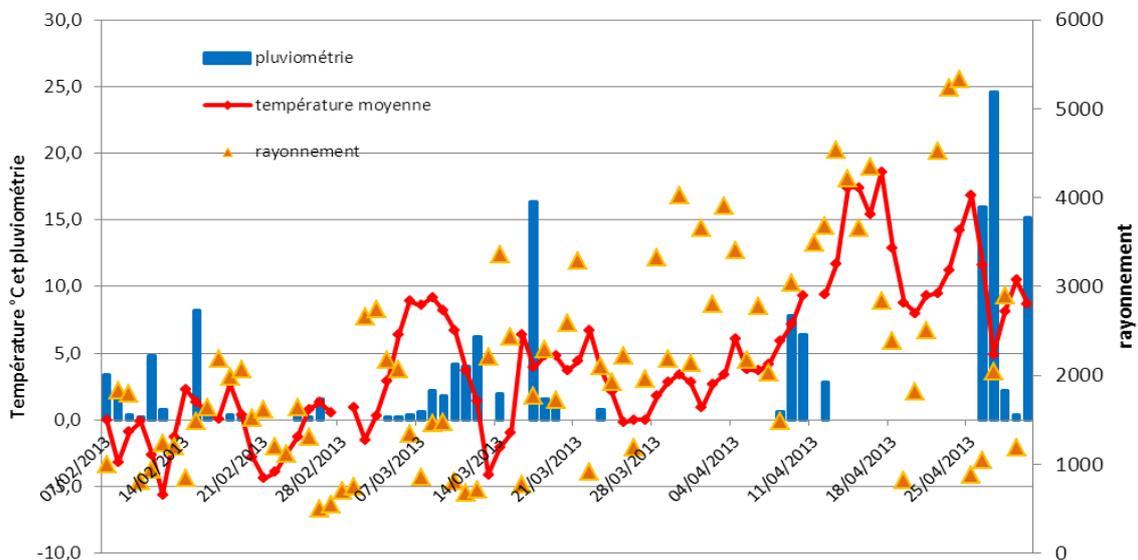


Figure 12 : Graphique présentant la pluviométrie, la température moyenne extérieure et le rayonnement.

Le suivi des températures moyennes extérieures permet de distinguer 3 périodes. La première de février à mars où la température moyenne est majoritairement négative ou proche de zéro et un rayonnement ne dépassant pas 2200 watt. La seconde période englobe le mois de mars et les 10 premiers jours d'avril est une période où les températures commencent à se réchauffer mais ne dépassent pas les 10°C, ainsi qu'un rayonnement plus important que précédemment. Enfin, à partir de mi-avril les températures moyennes se situent entre 8°C et 18°C et le rayonnement est très aléatoire suivant les jours.

### 3.4 Evolution des températures et hygrométrie des serres

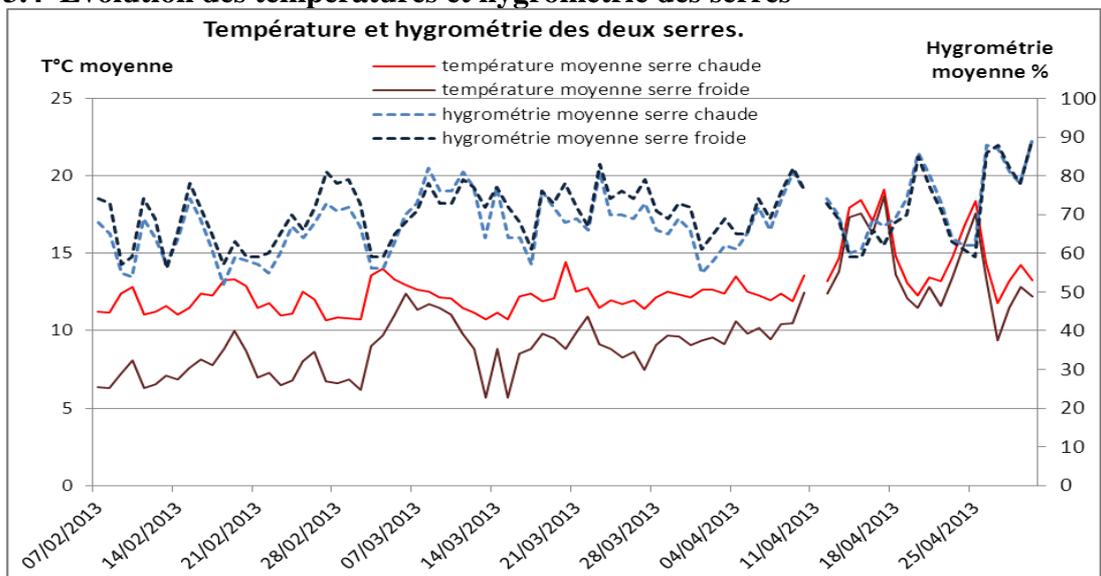


Figure 13 : Graphique présentant les températures et hygrométries de la serre chaude et froide.

Le suivi des températures et d'hygrométrie des compartiments serres verres permet de constater qu'au début de l'essai en février, les températures moyennes avoisinent les températures de consignes de chauffage (soit 7°C pour la serre froide et 12°C pour la serre chaude). A partir de mars, le rayonnement tend à augmenter (cf graphique 4.2.2) permettant une hausse des températures des serres.

L'hygrométrie des serres ne montre pas de différences excessives entre les deux serres, peut être dû, en partie, à l'utilisation du déshumidificateur en serre froide.

### 3.5 Déshumidificateur

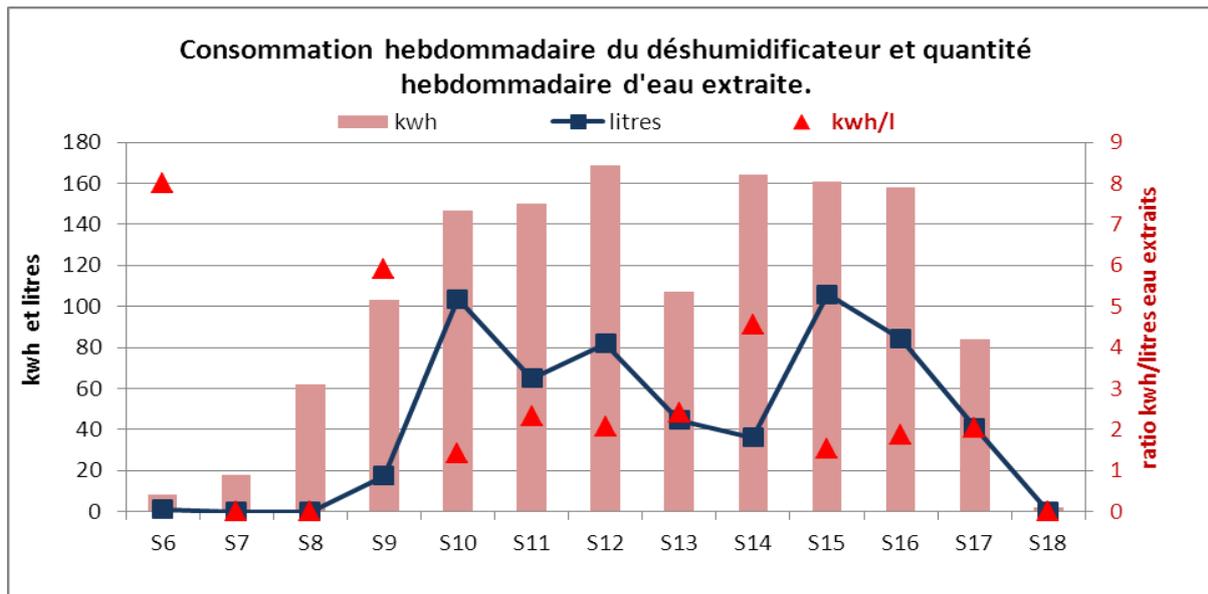


Figure 14 : Graphique présentant la consommation en Kwh du déshumidificateur et les litres d'eau extraits de l'air.

Comme il avait été constaté l'année précédente, le déshumidificateur est efficace. Rapidement, l'hygrométrie de la serre atteint l'hygrométrie demandée (attention le déshumidificateur est ici surdimensionné puisqu'il est fait pour déshumidifier une serre de 500m<sup>2</sup> et que la serre froide fait seulement 200m<sup>2</sup>).

Passé les semaines les plus froides de février S6-S9, la consommation hebdomadaire du déshumidificateur est stable, aux alentours de 140- 150 kwh. Les litres d'eau récupérés hebdomadairement sont dépendants de la pluviométrie extérieure et varient entre 40 et 100L.

### 3.6 Répartition des dépenses énergétiques pour chaque modalité

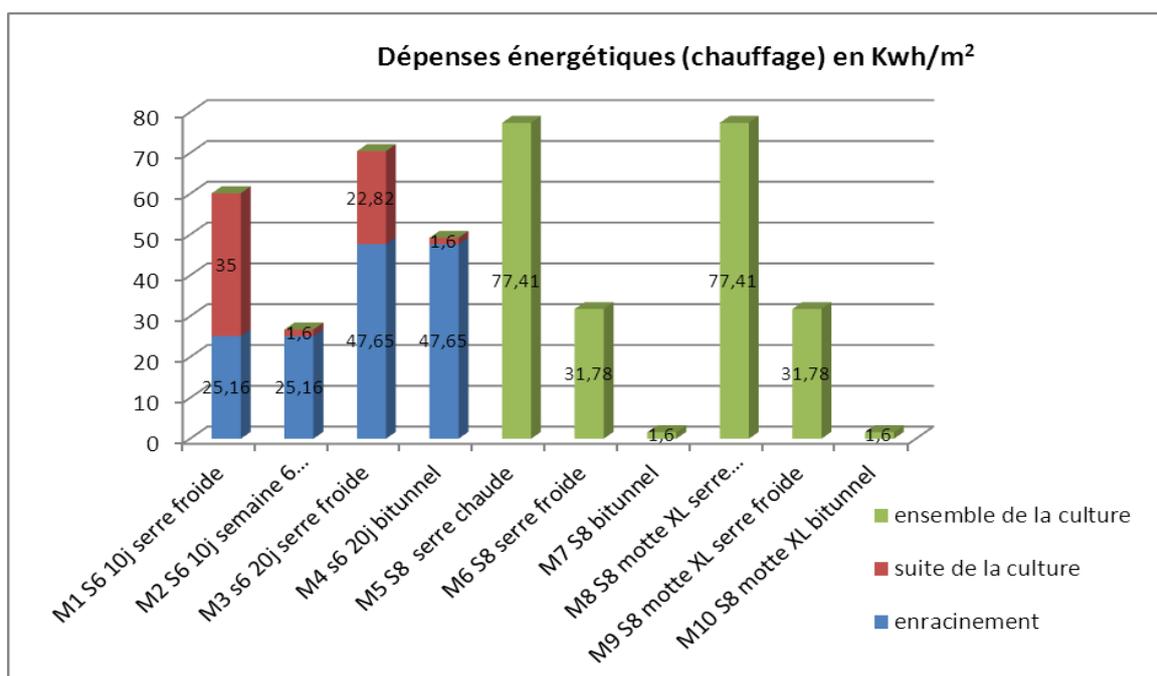


Figure 15 : Graphique présentant les dépenses énergétiques pour chaque modalité.

Le graphique ci-dessus présente les dépenses énergétiques (chauffage uniquement) de chaque modalité. Pour les modalités 1 à 4, il est précisé les dépenses lors de la phase d'enracinement effectuée sous serre chaude et les dépenses énergétiques pour la suite de la culture placée sous serre froide ou bi-tunnel. Les modalités 5 à 10 ayant une phase d'enracinement se déroulant dans le même lieu de culture que la suite de la production, le distinguo n'est pas fait.

Retarder de 2 semaines le repotage permet de faire des économies notables lors que les plantes sont cultivées sous serre froide (M6,M9) ou sous bi-tunnel (M7, M10), par rapport aux itinéraires où la phase d'enracinement a lieu sous serre chaude puis la suite de la culture dans un compartiment plus froid. (M1 à M4). Ainsi, s'affranchir de la phase d'enracinement sous serre chaude en repotant 2 semaines plus tard permet de passer de 70.4Kwh/m<sup>2</sup> ou 60.16kwh/m<sup>2</sup> à 32Kwh/m<sup>2</sup> soit plus de moitié d'énergie d'économisée.

Cependant ceci n'est plus vrai lorsque la production se fait exclusivement sous serre chaude. Il est moins coûteux de produire des plantes repotées en semaine 6 ayant eu une phase d'enracinement de 20j sous serre chaude puis de les basculer en serre froide (M4) que de produire des plantes sous serre chaude exclusivement dès semaine 8 (M5, M8).

### 3.7 Synthèse : Energie : consommation et coût pour chaque itinéraire

	kwh/m2				€/m2				total €/m2
	Chauffage			deshumidificateur	Chauffage			deshumidificateur	
	enracinement	suite de la culture	ensemble de la		enracinement	suite de la	ensemble de la		
M1 S6 10j serre froide	25,16	35	60,16	7,76	2,5	3,5	6	0,756	6,075
M2 S6 10j semaine 6 bitunnel	25,16	1,6	26,76		2,5	0,16	2,66		2,66
M3 s6 20j serre froide	47,65	22,82	70,47	7,14	4,7	2,8	7,5	0,7	8,2
M4 s6 20j bitunnel	47,65	1,6	49,25		4,7	0,16	4,86		4,86
M5 S8 serre chaude	77,41				7,7				7,7
M6 S8 serre froide	31,78			7,62	3,17			0,74	3,91
M7 S8 bitunnel	1,6				0,16				0,16
M8 S8 motte XL serre chaude	77,41				7,7				7,7
M9 S8 motte XL serre froide	31,78			7,62	3,17			0,74	3,91
M10 S8 motte XL bitunnel	1,6				0,16				0,16

Figure 16 : Tableau récapitulatif de la consommation en Kwh/m<sup>2</sup> des itinéraires ainsi que le coût en €/m<sup>2</sup>.

Economie d'énergie en %	M1 S6 10j serre froide 60,2	M2 S6 10j bitunnel 26,8	M3 S6 20j serre froide 70,5	M4 S6 20j bitunnel 49,3	M5 S8 serre chaude 77,41	M6 S8 serre froide 31,78	M7 S8 bitunnel 1,6
M1 S6 10j serre froide 60,2		124,6	-14,61	22,1	-22,24	89,43	3662,5
M2 S6 10j bitunnel 26,8	-56,49		-61,99	-45,64	-65,38	-15,68	1575
M3 S6 20j serre froide 70,5	17,1	163		43	-8,93	121,8	4275
M4 S6 20j bitunnel 49,3	-18,11	83,95	-30,08		-36,32	55,1	2981
M5 S8 serre chaude 77,41	28,58	188	9,8	151,2		143,58	4738
M6 S8 serre froide 31,78	-47,21	18,5	-54,93	-35,54	-58,95		1886
M7 S8 bitunnel 1,6	-97,35	-94,03	-97,74	-96,76	-97,94	-94,97	

Figure 17 : Comparatif des dépenses énergétiques de chaque itinéraire.

Les plantes des modalités M8, M9, M10 suivent respectivement le même itinéraire que les plantes des modalités M5, M6, M7. Les dépenses énergétiques ne figurent donc pas dans le tableau ci-dessus.

Le chiffre rouge est la dépense énergétique (chauffage) en Kwh/m<sup>2</sup>.

La Lecture du tableau est la suivante : la comparaison se fait des modalités situées dans la colonne de gauche par rapport aux modalités situées dans la première ligne du tableau.

Exemple : La modalité M1 par rapport à la modalité M2 nécessite 124.6% de dépense énergétique en plus. A contrario, la modalité M2 par rapport à la modalité M1 économise 56.49% d'énergie.

Ainsi, la modalité M7 où les plantes sont directement placées en semaine 8 sous bi-tunnel sans phase d'enracinement sous serre chaude, ne consomme presque rien. En effet, le bi-tunnel pourvu d'un aérotherme est réglé à 1°C et ne se met donc en marche que rarement à partir de la semaine 8.

La diminution de la phase d'enracinement de 10j permet suivant l'itinéraire d'économiser 15% (serre froide) à 45% (bi-tunnel) d'énergie. Ainsi, la réduction de la phase d'enracinement a un impact très important sur la dépense énergétique puisque pour ces itinéraires cette phase peut représenter jusqu'à 95% de la dépense (cas de l'itinéraire avec le bi-tunnel) énergétique globale.

Pour une production sous serre froide, le fait de décaler le repotage de 2 semaines (semaine 8 au lieu de semaine 6) et de ne pas faire de phase d'enracinement en serre chaude (M6), permet d'économiser 47% à 54% suivant que la phase d'enracinement soit de 10j (M1) ou de 20j (M3).

L'impact est encore plus important pour une production sous bi-tunnel puisque la phase d'enracinement représente 95% de la dépense énergétique. L'économie réalisée en repotant directement sous bi-tunnel en semaine 8 est du même ordre de grandeur, soit 95%.

### 3.8 Mottes L : coût et intérêt

	chauffage €	coût du jeune plant		total €/m2 = € pr 30 plants
		unitaire	€/m2 = € pr 30 plt	
<i>pots de 10,5 distancés = 30 plantes/m2</i>	€/m2 = € pr 30 plt		€/m2 = € pr 30 plt	
<b>M1 S6 10j serre froide</b>	6,075	0,22	6,6	<b>12,6</b>
<b>M2 S6 10j semaine 6 bitunnel</b>	2,66	0,22	6,6	<b>9,26</b>
<b>M3 s6 20j serre froide</b>	8,2	0,22	6,6	<b>14,8</b>
<b>M4 s6 20j bitunnel</b>	4,86	0,22	6,6	<b>11,46</b>
<b>M5 S8 serre chaude</b>	7,7	0,22	6,6	<b>14,3</b>
<b>M6 S8 serre froide</b>	3,91	0,22	6,6	<b>10,51</b>
<b>M7 S8 bitunnel</b>	0,16	0,22	6,6	<b>6,76</b>
<b>M8 S8 motte XL serre chaude</b>	7,7	0,37	11,1	<b>18,8</b>
<b>M9 S8 motte XL serre froide</b>	3,91	0,37	11,1	<b>15,01</b>
<b>M10 S8 motte XL bitunnel</b>	0,16	0,37	11,1	<b>11,26</b>

Figure 18 : Tableau comparant le coût (€/m2) des itinéraires suivant les consignes de chauffage et le coût du jeune plant.

La figure ci-dessus montre le coût de chaque itinéraire lorsque seul le chauffage et le coût du jeune plant sont pris en compte. La comparaison des modalités 9 et 10 respectivement avec les modalités 1.3.6 et 2.4.7 indique que la diminution du temps de cultures (repotage en semaine 8 au lieu de semaine 6) et donc la diminution du coût de chauffage ne permet pas de pallier le surcoût du jeune plant. Certes pour la modalité 9 (modalités où les jeunes plants L ont été repotés en semaine 8 et

mis sous serre froide), le surcoût pour la production de 30 plantes est très faible par rapport à la modalité 3 (modalités où les jeunes plants de taille de motte standard ont été repotés en semaine 6 et mis 20 jours en serre chaude puis déplacés en serre froide) puisque l'écart est de 0.21€. Cependant, la qualité des plantes est identique voire mieux pour la modalité 3 que la modalité 9 (cf notes commerciales).

Cette observation est valable également pour les plantes placées sous bi-tunnel (modalités 10 et 4).

Ainsi, l'utilisation de mottes L ne permet, dans l'ensemble, aucun gain économique et les plantes ne s'avèrent pas de meilleure qualité. Les mottes L ne présente donc pas d'intérêt pour ces itinéraires culturaux.

## **IV CONCLUSION**

L'utilisation du déshumidificateur couplé à une conduite économe en énergie a bien entendu permis de faire des économies par rapport à une conduite nécessitant plus d'énergie. N'ayant pas eu de problèmes phytosanitaires quel que soit le lieu de culture (sauf pucerons), le déshumidificateur ne montre aucun intérêt particulier.

L'utilisation de mottes L au lieu de jeune plant de motte standard a, la plus part du temps, engendré des plantes trop développées sans application de régulateur de croissance. Seule la production sous bi-tunnel a permis de canaliser un peu la croissance et d'obtenir des plantes de développement plus correct. Cependant, le gain énergétique obtenu en s'affranchissant de la phase d'enracinement grâce au décalage de 2 semaines (repotage semaine 8 au lieu de semaine 6), ne permet pas de pallier le surcoût du jeune plant. L'utilisation des mottes L ne présente ici aucun intérêt particulier.

Le décalage de 2 semaines dans la date de repotage permet un gain énergétique notable pour les itinéraires sous bi-tunnel (95%) et sous serre froide (environ 50%). Cependant, 2 semaines de décalage ne permet pas de pallier le surcoût lorsque les températures de consignes de chauffage sont de 10°N/12°C jour par rapport à un itinéraire plus économe en énergie (expl 5°CN/7°CJ). De plus, produites sous serre chaude exclusivement, la majorité des plantes sont trop développées sans régulateur de croissance. Enfin, bien que plus économe en énergie, les itinéraires où les plantes sont placées directement sous bi-tunnel ne conviennent pas aux pélargoniums qui sont trop sensibles au froid.

La réduction de la phase d'enracinement engendre une économie nette (15% pour l'itinéraire sous serre froide et 45% pour l'itinéraire sous bi-tunnel). La majorité des plantes testées dans cet essai, ayant la même qualité commerciale en fin d'essai après avoir été 10 jours ou 20 jours sous serre chaude, la nécessité de laisser 20 jours les plantes en serre chaude est nulle. Ainsi, 10 jours d'enracinement suffisent.

Suite à cet essai les itinéraires à retenir sont les suivants :

-10 jours d'enracinement en serre chaude puis passage en serre froide ou sous bi-tunnel (soient les modalités 1 et 3) à partir de la semaine 6.

-Placement des jeunes plants à mottes classiques directement sous serre froide ou sous bi-tunnel (modalités 6 et 7) à partir de la semaine 8.

### IV.3 – Bilan des résultats acquis de 2011 à 2013

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 longues durées 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 montrent cependant 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 températures (à faibles besoins de chauffage) cultivées en période favorable et pour les conduites à températures faibles. Pour une culture peu exigeante en températures comme la giroflée ou le mullier cultivés 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. Par contre, pour des espèces exigeantes en chaleur, comme le lisianthus ou la célosie, les économies permises par la mise en oeuvre d'une conduite économe en énergie associé à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique permettent de diminuer la consommation d'énergie de 34% en moyenne dans l'Ouest de la France. Sans déshumidificateur, ces conduites économes basées sur un fort confinement des serres sont trop risquées techniquement car les excès d'hygrométrie sont trop fréquents.

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 massifs 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 2013 ont confirmé les bons résultats de 2011 et 2012. 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 températures basses 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. Une gamme plus large de végétaux reste à explorer.

Au cours des 3 années d'essai, les économies d'énergie obtenues avec ces conduites sans chauffage sous tunnel ou à 5-7°C en serre ont atteint respectivement 61 et 32 % en moyenne par rapport à la conduite de référence à 10-12°C.

Jusqu'à présent, pour les cultures à froid, une période d'enracinement des plantes de 3 semaines à 10-12° était jugée 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). L'étude de différents types de jeunes plants, de calendriers de culture de façon à optimiser l'enracinement et le développement des plantes avant la phase de culture à froid a débuté. Les premiers résultats laissent penser que cette phase d'enracinement pourrait être ramenée à 10 jours avec des variétés tolérantes au froid.

Réalisées sur 3 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, ceux de 2012 et 2013 ont été nettement plus froids. Mais, les séquences de température les plus froides ont été enregistrées 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 basses T° laissent 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 laissé apparaître ce risque et les conditions sanitaires ont été satisfaisantes. Dans les essais concernant les plantes à massifs 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.

Pour la production d'une gamme de plantes à massifs de printemps, il apparaît maintenant nécessaire de confirmer les premiers résultats obtenus pour limiter la consommation d'énergie pendant la phase d'enracinement, d'observer l'effet des conduites à basses températures sur une gamme plus large de végétaux et de définir les variétés les plus tolérantes au froid.

En ce qui concerne les déshumidificateurs thermodynamique, pour des cultures de plantes en pots de printemps conduites à de températures de consigne de 5/7°C, l'intérêt du déshumidificateur par ce type de matériel n'a pas été mis en évidence jusqu'à présent. Pour une culture de Poinsettia à l'automne, en condition continentale, l'intérêt économique du déshumidificateur n'a pas non plus été mis en évidence.

En rose sous serre pour la fleur coupée en climat méditerranéen, l'intérêt économique du déshumidificateur thermodynamique n'a pas été démontré. Dans l'ouest de la France, dans des conditions plus humides pour des fleurs coupées exigeantes en chaleur comme le Lisianthus et la Célosie, les économies réalisées par l'association d'une conduite économe en énergie et de la déshumidification thermodynamique permettent d'aboutir à une diminution tangible (de 25 à 50 %) de la consommation en énergie.

Les résultats acquis au cours de ce programme et ceux recensés dans d'autres filières montrent qu'il n'existe pas encore de réponse univoque sur la rentabilité économique de ces appareils. La nécessité de réguler l'hygrométrie et l'intérêt économique de la déshumidification thermodynamique sont liés à plusieurs facteurs:

- au climat local et à la période de l'année. En zone de climat continentale, et en période hivernale, du fait des températures souvent froides, le chauffage de l'abri fonctionne fréquemment et durant de longue période même avec des consignes basses. Le chauffage assèche l'atmosphère de la serre sans que la déshumidification thermodynamique soit nécessaire. En zone de climat méditerranéen, l'ensoleillement hivernale est fréquemment suffisant pour que la température de l'abri atteignent les consignes d'aération (et cela, d'autant plus qu'elles sont modérées), l'aération permet alors de déshumidifier l'abri sans qu'il soit là non plus nécessaire de recourir à la déshumidification thermodynamique.

En condition océanique, le climat doux et humide de l'automne jusqu'au printemps justifie l'utilisation de la déshumidification thermodynamique sur des périodes beaucoup plus longues.

- des exigences de températures de la ou des espèces cultivées : plus elles sont élevées, plus les économies d'énergie permises par une conduite économe en énergie sont potentiellement importantes et plus il sera alors possible de rentabiliser l'investissement et l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique.

Il semble qu'en région océanique, si on veut maximiser la réalisation d'économie d'énergie par la conduite du climat, une gestion découplée des températures et de l'hygrométrie apparaît nécessaire.

Sinon, les risques techniques liés aux excès d'hygrométrie sont trop élevés. Dans le calcul économique, il serait également nécessaire de prendre en compte les répercussions de la déshumidification thermodynamique sur l'état sanitaire des cultures et la diminution du nombre de traitements fongicides.

- par ailleurs, la déshumidification thermodynamique est une technologie nouvelle en production sous serre. Si les coûts de fonctionnement de cette technique sont raisonnables, on se heurte pour le moment à des coûts d'investissement trop élevés. Pour le moment, on ne sait pas si dans l'avenir, on pourra envisager, avec la diffusion de cette technique, une diminution des coûts d'investissement. La rentabilité économique sera alors plus facile à assurer.

Si dans certaines conditions de culture, il apparaît que la rentabilité de la déshumidification thermodynamique sera difficile à trouver, il semble qu'il soit tout de même un peu tôt pour statuer définitivement sur l'intérêt économique de cette technique.

De même, on peut aussi se poser la question de savoir si la déshumidification thermodynamique ne permettrait pas dans certaines régions d'utiliser des structures d'abris plus simples et moins coûteuses que celles habituellement référencées mais non utilisées parce qu'elles posent trop de problèmes liés aux excès d'hygrométrie (par exemple : faire une production d'une espèce x ou y en abri plastique plutôt qu'en serre). L'investissement dans un déshumidificateur serait alors nettement compensé par la diminution de l'investissement dans la structure.

## V. 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](http://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.
- 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.