



**ASTREDHOR
PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE
APPLIQUEE ET D'ETUDES 2011
Compte rendu d'activité**

**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 Bourlaux

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 Bourlaux
BP 81
33883 VILLENAVE D'ORNON Cedex

EXPERTS CONNUS SUR LE SUJET :

Gérard CHASSERIAUX

AGROCAMPUS OUEST Centre d'Angers

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

Thierry BOULLARD

INRA –URIH

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

Philippe MOREL

INRA Centre d'Angers-Nantes

UMR SAGAH

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

Marie MOREL

ASTREDHOR

44 rue d'Alésia
75 682 PARIS cedex 14
tél. : +33 (0)1.53.91.45.00
fax: +33 (0)1.45.38.56.72
marie.morel@astredhor.fr

DESCRIPTION DE L'ACTION

I. OBJECTIFS

I. 1. Enjeux :

Contextes :

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

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

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

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

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

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

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

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

Mais, en France, 80 % des exploitations horticoles disposaient en 2005 d'une surface d'abris inférieure à 5000 m² (ADEME, 2007). Cette structure d'exploitation oriente en partie les axes

de recherche et d'expérimentation à travailler. En effet, pour des exploitations disposant d'une telle surface, il apparaît difficile de pourvoir financer des investissements lourds liés par exemple au changement de la source d'énergie et du type de chaufferie.

Aussi, parmi les nombreuses pistes qu'il est possible d'explorer pour diminuer la dépendance énergétique des entreprises de production et réaliser des économies d'énergie, il nous semble que celle faisant appel à une modification des conduites climatiques des serres ou à des équipements dont les coûts sont modérés 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 développées 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 jugée 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.**

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

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

I. 2. Résultats attendus :

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

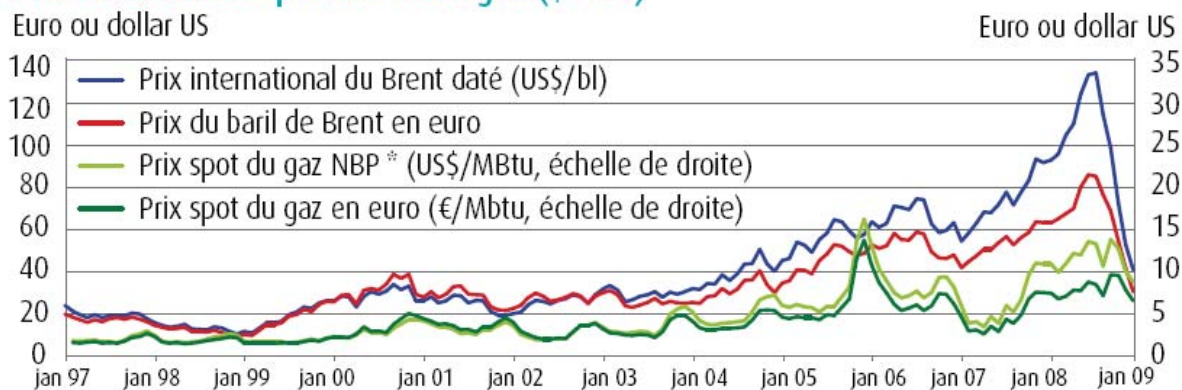
II. SITUATION ACTUELLE DU SUJET DE RECHERCHE

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 €)



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

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

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

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

- brises vent.
- e) Au niveau des équipements dans la serre :
 - isolation des réseaux primaires.
 - entretien du vitrage.
 - installation d'écrans thermiques et optimisation de leur fonctionnement.
 - double écran.
 - émissions de la chaleur par des émetteurs à basse température.
 - chauffage localisé.
 - compartimentation de la serre.
 - diminution de la température dans les circuits de transport.
 - isolation des pieds droits et parois.
 - double protection temporaire.
 - ventilation d'homogénéisation.
 - régulation du climat par automate et ordinateur climatique.
- f) Au niveau de la gestion du climat :
 - choix des consignes de températures de chauffage et d'aération.
 - diminution des consignes de chauffage.
 - intégration des températures moyennes, accroissement des écarts jours / nuits et accroissements des écarts chauffage /aération.
 - choix des consignes concernant les tuyaux de chauffage.
 - choix des consignes concernant la gestion des ouvrants.
 - pilotage en fonction du rayonnement solaire.
 - pilotage en fonction de la température et du climat extérieur.
 - pilotage en fonction de la température des plantes (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.

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*, *Oïdium*) 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. Jousset, 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 ¾ 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. Jousset, 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 récupérée pour chauffer la serre.
- la déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique. Ce procédé est décrit par G. Chassériaux (2008) et a été expérimenté par lui-même dès 1987 dans une serre de rose. Ce type d'appareil est utilisé par exemple pour déshumidifier l'air des piscines. L'air à traiter traverse une batterie froide sur laquelle la vapeur d'eau se condense. Puis l'air refroidi est réchauffé par passage sur le condenseur du groupe froid de l'appareil avant sa réinjection dans la serre.

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

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

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

Ces expériences sont très encourageantes et montrent :

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

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

- le dimensionnement de la capacité de déshumidification à installer dans une serre. Cet aspect est important car il détermine en partie le montant de l'investissement.
- le dimensionnement de la capacité de ventilation à installer.
- la configuration de l'aspiration de l'air à traiter et de la distribution de l'air traité dans la serre.

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

Choix d'une méthode d'étude :

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

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

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

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

I. 2. Résultats acquis en 2011 :

En fleurs coupées, sur Lisianthus (CATE) :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. une culture « Sans chauffage » en tunnel plastique avec une protection P30 pour les températures négatives et une aération manuelle.
2. une culture « Froide » en serre découvrable (Venlo Optim'air) avec chauffage haute température (aérothermes) fixé à 5°C nuit/7°C jour et 15°C en aération.

3. un itinéraire de culture classique en serre verre (Optima) avec chauffage basse température sous tablettes fixé à 10°C nuit/12°C jour et 16°C en aération maximale.

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

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

Les photos suivantes montrent les résultats obtenus pour chaque variété.



Osteospermum Cape Daisy Pink BicolorS15



Pelargonium Sunrise XL Leon Rouge S15



Osteospermum Cape daisy Terracotta S15



Petunia Pegasus Table Burgundy S15



Pelargonium Royal Blue S15



Petunia Surfinia Table Dark Red S15



Bidens Port Royal S15



Verbena Vepita Fire S15



Nemesia Angelart Raspberry S15



Fuchsia Diva Rose Blue S18

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

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

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

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

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

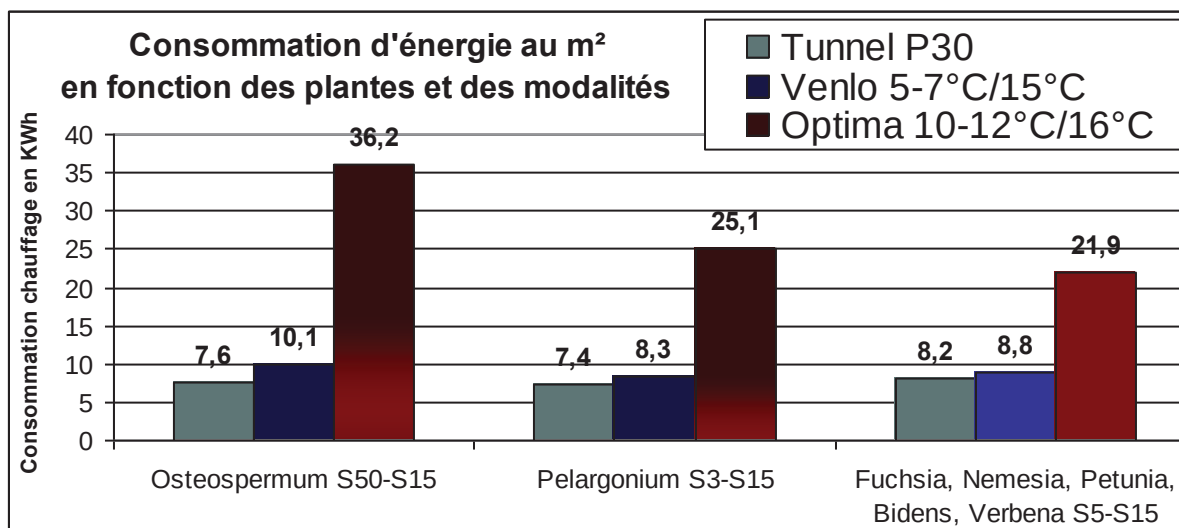


Figure 15 : Consommation du chauffage pour les 3 modalités de janvier à avril 2011

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

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

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

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

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

Les modalités testées ont été :

- M1: Témoin: culture 3 semaines à 12°C jour – 10°C nuit de température de consigne avec un chauffage localisé basse température et aération à 22°C. Puis après la phase d'enracinement, aération à 16°C.
- M2: culture 3 semaines à 12°C jour – 10°C nuit, de température de consigne avec un chauffage localisé basse température puis passage à 7°C jour 5°C nuit, aération à 16°C.

- M3: culture 3 semaines à 12°C jour – 10°C nuit, de température de consigne avec un chauffage localisé basse température puis passage à 1°C sous bitunnel, avec utilisation d'un voile d'hivernage (P30), pour les périodes de gels, avec chauffage hors-gel à air pulsé.

Pour cet essai, les équipements suivants ont été utilisés :

- Une serre verre où les plantes sont arrosées par un système de sub-irrigation. Le chauffage se fait par circuit basse température sous les tablettes et un système de thermosiphon en ceinture et en toiture. Les températures sont maintenues à 12°C Jour et 10°C Nuit, pour le compartiment appelé 'serre chaude'. Un second compartiment dit 'serre froide' avec comme consigne 7°C Jour et 5°C nuit.
- Le bitunnel est un tunnel plastique à double paroi gonflable, chauffé à 1°C par air pulsé. Les plantes sont cultivées au sol et l'arrosage se fait par nappe d'arrosage.

Les variétés testées ont été : Bidens, Fuchsia, Nemesis, 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, Nemesis, Fuchsia, Osteospermum, Petunia, Verbena)

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

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

Pour un hiver doux et avec un 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%.

III. GAINS OU AVANTAGES ATTENDUS

III. 1. Intérêt scientifique et technique :

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

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

III. 2. Intérêt socio-économique :

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

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

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

IV. PROGRAMME DE TRAVAIL pour l'année 2011

IV. 1. Plan de recherche :

La démarche et les expérimentations entreprises ont été les suivantes :

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 associant écran thermique, intégration des températures et déshumidificateur thermodynamique sera comparée à une conduite climatique utilisant seulement l'intégration des températures et l'écran thermique (T° chauffage minimum 10°C, T° aération : 18°C la nuit et 28°C le jour pour rechercher une T° moyenne proche de 17°C). Les données de production et de consommation d'énergie concernant des conduites normales, non intégrées sont parfaitement connues.
- **pour une culture de fleurs annuelles de serre chaude en pleine terre, le Lisianthus, en condition océanique (au CATE).** Cette espèce est très sensible aux excès d'hygrométrie qui se traduisent par un développement très rapide de mildiou sur le feuillage que des traitements phytosanitaires même intensifs ne contrôlent pas. De plus, cette espèce exige des températures relativement élevées (17-18°C) pour avoir un cycle de durée normal (16 semaines). Pour les séries de printemps, d'automne et a fortiori d'hiver, dans la moitié nord de la France, des consignes de chauffage de 16 à 18° avec une bonne déshumidification par chauffage et aération sont nécessaires dans un schéma de culture classique. Une conduite économe en énergie basée sur des consignes de chauffage plus basses que les références (8°C à 14° à la place de 17-18°C) avec un fort confinement de la serre sera associée à la déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique de façon à observer le comportement de la plante avec cette conduite et la consommation d'énergie nécessaire.

Pour ces essais sur fleurs coupées, les déshumidificateurs utilisés sont ceux conçus pour travailler à des températures supérieures à 10 °C.

b) en plantes en pots :

- **pour des plantes de serre chaude comme le Cyclamen et Poinsettia en zone de climat continental (à l'AREXHOR GE).** Pour sa sensibilité au *Botrytis*, le Cyclamen est un modèle intéressant dans ce programme. Selon les séries et les régions, il fait l'objet d'un chauffage plus ou moins important. Cependant, avec cette espèce, il est fréquent de consommer de l'énergie uniquement pour la

déshumidification alors qu'une serre confinée avec pas ou très peu de chauffage permettrait d'atteindre les températures nécessaires à sa culture. L'expérimentation menée visera à comparer une conduite sans chauffage à une conduite sans chauffage avec déshumidification par déshumidificateur thermodynamique.

Sur Poinsettia, même si l'espèce n'est pas des plus sensibles au *Botrytis*, elle est relativement exigeante en température. La conduite de référence nécessite un chauffage à 18-19°C. Mais, son enracinement faible laisse penser qu'une conduite économique trop confinée pourrait entraîner des problèmes racinaires par manque d'activité de la plante. Pour cette espèce, une conduite climatique avec des consignes de chauffage de 13°C la nuit et 15°C le jour sera comparée à la même conduite associant l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique et à une conduite de référence à 19°C.

- **Pour des plantes à massif : *Pélargonium* (à l'AREHOR GE et au GIE PFSO), *Bidens*, *Fuschia*, *Verbena*, *Nemesia*, *Petunia*, *Osteospermum* (au GIE PFSO)** en zone de climat continental et océanique.

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

A l'Arexhor GE, sur *Pelargonium*, une conduite avec des consignes de chauffage basses (3 semaines à 12°C puis 5°C) associée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique sera comparée à une conduite avec des consignes de chauffage basses sans déshumidification.

Au GIE PFSE, la conduite avec des consignes de chauffage basses (5°) et utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique sera comparée à la conduite de référence avec un chauffage à 12°C sur une gamme plus large d'espèces (*Pélargonium*, *Bidens*, *Fuschia*, *Verbena*, *Nemesia*, *Petunia*, *Osteospermum*).

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

Une conduite avec production sous tunnel non chauffé, protégée par du film P30 en période de risque de gel sera également mise en œuvre.

IV.1.3. - Protocoles de chaque station

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

Objectif :

Vérifier l'intérêt d'utiliser un déshumidificateur thermodynamique dans une conduite climatique avec intégration des températures en fleurs coupées en condition méditerranéenne.

Limiter la consommation énergétique.

Comparaison des rendements et de la qualité de roses cultivées dans 2 compartiments gérés de façon économe en énergie dont un avec déshumidificateur d'air.

Modalités étudiées :

- Serre 6 AB : Serre verre (témoin) avec chauffage par intégration des températures pour une T° moyenne recherchée à 17°C de la fin novembre à début janvier. 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).

- Serre 7 ABC : Unité de serre plastique DPG, équipée d'un déshumidificateur MICRO HortiDESHU (fabriquant ETT). Chauffage par intégration des températures similaire à la serre 6 AB. Le manque de lumière étant, à certains moments, très marqué l'option baisse des consignes de chauffage sera probablement plus intense en particulier en janvier, période la plus défavorable climatiquement pour ce type d'outil serre. Déshumidification indépendante du chauffage avec une gestion du déshumidificateur d'abord autonome par l'automate de l'appareil puis qui sera ensuite gérée par l'ordinateur de gestion climatique de la serre (Priva) dans une deuxième phase. Pour cette serre, les ouvrants seront maintenus fermés et le déshumidificateur sera mis en route à 88-94 % d'HR en fonction de la période de risque *Botrytis* et de l'abondance de fleurs.

- Autres détails de la gestion climatique :

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

Consignes de ventilation hivernale susceptibles de 18°C nuit/ 24°C matin et 28°C après midi. Température minimum tolérée lors de l'intégration : 10°C.

Dispositif :

2 compartiments de serre plantés avec chacun 4 variétés de rosier.

Surface totale de 450 m² de serre avec déshumidificateur et 300 m² de serre verre témoin, pour les comparaisons climatiques et énergétiques.

Surface de culture pour l'essai estimée à 150 m² pour les comptages et notation de la récolte.

Variétés en culture dans les 2 compartiments : Dukat® et Sweet Avalanche+ (déjà en place), Milva et Aubade (à planter en février 2011).

Début de l'essai en novembre 2010 pour la campagne 2010-2011

Mesures et observations :

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

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

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

L'objectif est de quantifier les gains en énergie permis par l'utilisation d'un déshumidificateur avec une conduite intégrée par rapport à une conduite par intégration sans déshumidificateur et de calculer la rentabilité de l'investissement. Le suivi climatique et énergétique de la serre 7ABC sera réalisé en comparaison avec :

- les références acquises ces dernières années dans la même serre,
- les références acquises dans la serre 6AB, serre verre mais avec un pilotage semblable.

Par ailleurs, les consommations d'énergie pour une conduite classique sans intégration ont été établies par le passé dans les mêmes serres.

b) CATE – Utilisation d'une conduite économe en énergie avec déshumidificateur thermodynamique en culture de *Lisianthus* sous serre pour la fleur coupée.

Objectif :

Vérifier les possibilités de cultiver une espèce très sensible aux maladies avec une conduite économe en énergie basée sur un fort confinement de la serre et sur l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique. L'objectif est aussi de réaliser une production suffisamment précoce au printemps. Pour cela, le choix variétal s'est orienté vers l'utilisation des variétés du groupe *Borealis* qui sont des sélections relativement résistantes au froid avec une implantation d'automne.

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

Modalités étudiées :

2 facteurs sont étudiés :

b1) le facteur conduite globale avec 1 modalité : culture de *Lisianthus* en serre verre faiblement chauffée avec une conduite économe en énergie couplée à un déshumidificateur thermodynamique pour la déshumidification de l'air.

La conduite économe en énergie est basée sur les principes suivants :

- consignes de chauffage de 14°C le jour et la nuit les 3 premières semaines, puis descente à 10-12°C selon les températures extérieures.
- de grands écarts jours / nuits (+ 6° à + 10 °).
- de grands écarts entre les consignes de chauffage et d'aération (+ 2° à + 5 °).
- L'objectif est de maximiser le réchauffement de la serre par l'ensoleillement et de limiter les pertes de chaleur par les ouvrants tout en recherchant un compromis raisonnable entre la déshumidification par le déshumidificateur et une déshumidification naturelle par le fonctionnement des ouvrants.
- Les jeux de consignes et les écarts jour/nuit et chauffage /aération seront adaptés en fonction de la quantité de végétation, de la vigueur des plantes, des températures moyennes /24H réalisées et du climat extérieur.

La consommation de cultures réalisées avec une conduite de référence chauffée à 18-19°C est connue. Elle a été déterminée à la station dans des serres identiques. Cependant, par simulation avec le logiciel Déperserre de l'INH ou avec le logiciel Hortisol (HEVS), la consommation de la serre support de cette expérimentation sera recalculée pour la séquence climatique de l'année et pour une conduite de référence.

b2) le facteur variétés avec 6 variétés du groupe *Borealis*.

Plantation prévue semaine 43 de 2010 en serre verre.

Système de culture :

- Culture en pleine terre sur des planches de 1 m de large à une densité de 64 plantes /m² avec mise en place de jeunes plants élevés en plaques alvéolées.
- Culture sous serre verre dans un compartiment de 192 m².
- Pas d'utilisation d'éclairage photosynthétique.

Dispositif :

Essai à 2 facteurs, à 1 modalité pour le facteur 1 et à 6 modalités et 2 répétitions pour le facteur 2. Parcelles expérimentales de 6 m² à 64 plants /m² soit 384 plants /parcelle. 6 modalités. 18 parcelles. 108 m² au total.

Mesures et observations :

- Mesure de la qualité des fleurs et de la productivité pour chaque parcelle. Variables mesurées :

nombre de fleurs par m², % de fleurs par catégorie commerciale (extra, 1er choix, 2ème choix).

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

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

Objectif :

Optimiser la consommation d'énergie dans les serres pour la production de plantes à massif commercialisées au printemps.

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

Modalités étudiées :

Les modalités dépendent des consignes de chauffage et des consignes d'aération

- Itinéraire de culture classique en serre verre Optima avec chauffage basse température sous tablettes fixé à 10°C nuit/12°C jour et 22°C en aération après la déshumidification de début de journée
- Culture « Froide » en serre découvrable Optim'air avec chauffage haute température (aérotherme) fixé à 2°C nuit/5°C jour et 15°C en aération, déshumidification contrôlée (investissement matériel)
- Culture sous tunnel non chauffé avec 1 couche de P30 pour des températures extérieures comprises entre 0°C et -3°C, 2 couches de P30 pour des températures extérieures comprises entre -3°C et -5°C, aucune couche pour des températures extérieures au-dessus de 0°C

Espèces testées : *Osteospermum* réception en semaine 48, *Bidens*, *Fuchsia*, *Nemesia*, *Petunia*, *Pelargonium*, *Verbena* réception en semaine 6

Equipements et matériels :

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

Mesures et observations :

Observation de la floraison : intensité, date d'induction

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

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

Quantités de traitements (régulateurs de croissance et pesticides).

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

d) AREXHOR GE – Comparaison de conduites à températures basses avec déshumidificateur thermodynamique avec une conduite à températures basses sur Cyclamen, Poinsettia et Pélargonium

Objectif :

Pour ces trois taxons d'importance économique, il s'agit d'associer la déshumidification des serres à une culture économe car menée à des températures plus basses que la culture conventionnelle afin de mesurer l'effet déshumidification sur la consommation énergétique et sur la qualité sanitaire des végétaux.

Modalités étudiées :

- Poinsettia : 3 modalités

M1 : Témoin – date de repotage S28 – température de consigne 19°C jour et nuit

M2 : date de repotage S26 afin d'obtenir une plante déjà bien développée avant la diminution des températures extérieures et consigne de température : 15°C jour/13°C nuit SANS déshumidification

M3 : date de repotage S26 afin d'obtenir une plante déjà bien développée avant la diminution des températures extérieures et consigne de température : 15°C jour/13°C nuit AVEC déshumidification

- Cyclamen

M1 : Témoin – date de repotage S26 – culture menée sans chauffage et SANS déshumidification

M2 : date de repotage S26 – culture menée sans chauffage et AVEC déshumidification

- Pélargonium

M1 : Témoin – date de repotage S6 – 3 semaines à 12°C pour faciliter l'enracinement puis culture menée à une température de consigne de 5°C SANS déshumidification

M2 : date de repotage S6 – 3 semaines à 12°C pour faciliter l'enracinement puis culture menée à une température de consigne de 5°C AVEC déshumidification

Matériel végétal :

- *Euphorbia pulcherrima*
- *Cyclamen persicum*
- *Pelargonium peltatum*

Equipements et matériels :

2 serres verre venlo équipées de chauffage, d'un écran thermique, de compteurs à calories, pilotées par ordinateur climatique.

Mesures et observations :

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

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

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

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

Quantités de traitements (régulateurs de croissance et pesticides).

Mesure des consommations énergétiques par l'enregistrement des paramètres climatiques (ordinateur climatique), le relevé des consommations énergétiques de chauffage, le suivi de la consommation

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

IV. 2. Principaux résultats acquis en 2011 :

En fleurs coupées, sur Lisianthus (CATE) :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En ce qui concerne les résultats de l'automne 2011, les observations de la semaine 46 à 51 semblent plus prometteuses compte tenu de l'exposition plutôt défavorable du compartiment qui a d'ailleurs toujours été plus humide. Toutefois il faut tenir compte de 2 faits importants :

- L'automne a été particulièrement clément en 2011-2012 d'où une réduction naturelle des consommations pour le chauffage.
- D'autre part il convient d'ajouter dans notre bilan la consommation électrique à celle du chauffage. La serre 7 consomme alors plus que la serre 6C et seule la valeur de la différence nous dira si l'économie qu'apporte inévitablement l'appareil déshumidificateur permet d'amortir sur une période raisonnable (5 ans) l'investissement fait.

De plus, l'objectif fixé d'une consommation énergétique pour le chauffage de 50 kwh/m²/an à partir de l'automne 2011 paraît envisageable y compris dans la serre 7 la plus problématique (froide et humide). Dans un tel cadre, comme observé durant la campagne précédente, le déshumidificateur ne peut pas apporter de bénéfice sur certaines périodes de la campagne :

- Celles où le chauffage est nécessaire. En période de chauffe, l'humidité est en effet moins problématique.
- Celles où la conduite économique met en jeu des températures inférieures à 10°C, ce qui impose l'arrêt de l'appareil. En effet le maintien d'une température minimum de 10°C serait plus coûteux que l'énergie économisée par le déshumidificateur.

De fait, il faut que sur les périodes de fonctionnement de l'appareil, le gain de consommation pour le chauffage soit important pour justifier l'investissement et la consommation électrique de la machine (qui reste faible).

Compte tenu des écarts observés, les premières données 2011 laissent a priori supposer que la marge de rentabilité sera assez faible.

Un pilotage plus fin du climat avec usage de l'appareil est donc nécessaire, notamment en cherchant à valoriser au mieux la déshumidification passive (ouverture sans chauffage).

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

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

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

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

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

Les photos suivantes montrent les résultats obtenus pour chaque variété.



Osteospermum Cape Daisy Pink Bicolor S15



Osteospermum Cape daisy Terracotta S15



Pelargonium Royal Blue S15



Pelargonium Sunrise XL Leon Rouge S15



Petunia Pegasus Table Burgundy S15



Petunia Surfinia Table Dark Red S15



Bidens Port Royal S15



Verbena Vepita Fire S15



Nemesia Angelart Raspberry S15



Fuchsia Diva Rose Blue S18

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

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

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

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

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

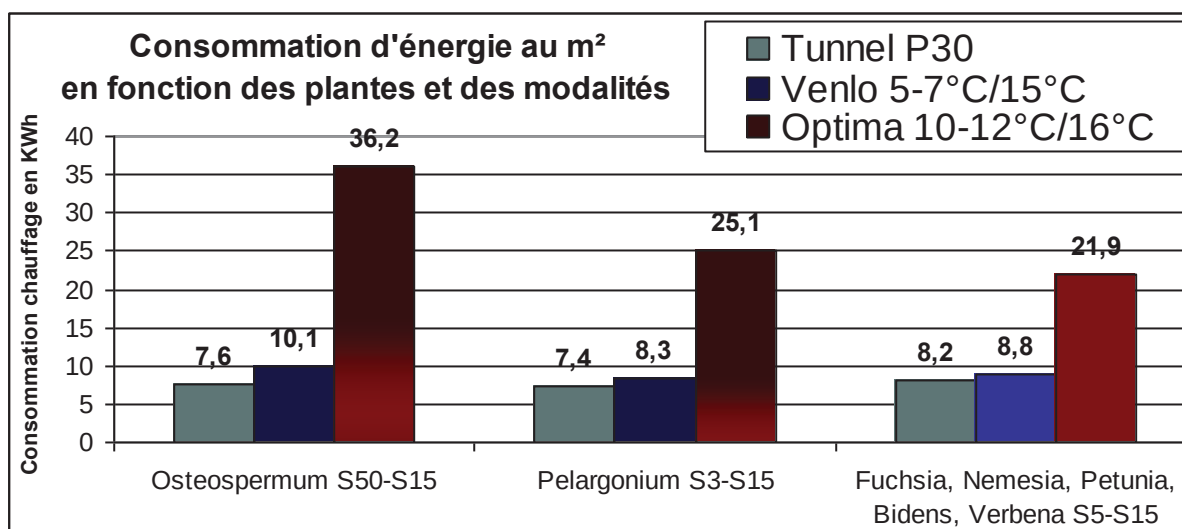


Figure 15 : Consommation du chauffage pour les 3 modalités de janvier à avril 2011

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

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

Les résultats de 2011 mettent donc en évidence des conditions climatiques particulières sur les 4 premiers mois de l'année. Les températures moyennes élevées ont permis de réduire nettement les dépenses énergétiques quel que soit l'itinéraire de culture testé. Comparer une modalité chauffée à 10°C minimum avec une modalité maintenue à seulement 5°C montre une différence importante dans les consommations. En revanche, l'arrêt total du chauffage dans le tunnel après la phase d'enracinement n'a pas permis de réduire significativement le coût de l'énergie par rapport à des plantes cultivées en serre froide. Il est donc indispensable de réitérer l'essai avec des températures saisonnières plus faibles, l'objectif de l'essai étant d'améliorer les itinéraires 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 /m² pour le chauffage. La modalité 1 qui représente la méthode de production de référence (12°C jour – 10°C nuit) consomme 45,6 kWh/m². Avec la modalité n°2, la consommation est de 22 kWh/m². La modalité 3 (1°C) permet de réaliser une économie d'énergie de 58% par rapport à la modalité n°1.

Pour un hiver doux et avec un 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 léger retard de floraison avec une économie d'énergie de 50%.

Les comptes rendus complets des expérimentations précédentes sont rassemblés en annexes de ce document :

- Annexe 1 : compte rendu de l'expérimentation CATE (fleurs coupées).
- Annexe 2 : compte rendu de l'expérimentation SCRADH (fleurs coupées).
- Annexe 3 : compte rendu de l'expérimentation GIE PFSO (plantes en pots).
- Annexe 4 : compte rendu de l'expérimentation AREXHOR GE (plantes en pots).

V. CONCLUSION

En fleurs coupées, la mise en oeuvre de l'intégration des températures permet de réaliser des économies d'énergie pour le chauffage des serres. Cette possibilité est cependant très liée à l'ensoleillement de la période hivernale et une gestion de l'hygrométrie reste indispensable pour limiter les risques sanitaires liés aux excès d'hygrométrie qui interviennent en période peu ensoleillée. Les premiers résultats obtenus sur la déshumidification thermodynamique dans l'Ouest de la France laissent penser que grâce à cette nouvelle technique de déshumidification, il sera possible d'utiliser dans les serres des conduites climatiques encore plus économes avec des confinements importants sur de longue durée et le choix de consignes de chauffage plus basses sans accroître les risques techniques. En zone méditerranéenne où le climat est naturellement plus favorable, l'investissement pourrait être moins justifié. Les premiers résultats obtenus sont encourageants et mais sont à confirmer, notamment pour préciser l'intérêt économique de cet équipement.

Pour la production d'une gamme de plantes à massif de printemps, les expérimentations réalisées dans le Sud-Ouest et dans l'Est de la France montrent les possibilités de conduites sans chauffage ou à basse T° par rapport à la conduite de référence menée à 10-12°. 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 (sauf pour les espèces comme l'Osteospermum dont l'initiation florale est améliorée par une période froide). Dans l'ensemble, 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 sera une problématique importante de ces itinéraires. En 2011, les économies d'énergie obtenue avec ces conduites sans chauffage ou à basse T° ont atteint de 30 à 58 % selon les situations par rapport à la conduite de référence à 10-12°C. Une période d'enracinement des plantes de 3 semaines à 10-12° reste pour le moment nécessaire. Or, cette phase a représenté environ les 3/4 de la consommation d'énergie totale. Ces premiers résultats posent donc la question de savoir comment diminuer la consommation d'énergie pendant cette phase de la culture. L'étude de différents types de jeune plant et de calendrier de culture de façon à optimiser l'enracinement et le développement des plantes avant la phase de culture à froid pourrait être des pistes à travailler.

Par ailleurs, ces expérimentations ont été réalisées dans un contexte où l'automne 2010 et l'hiver 2011 ont été très doux. Ces essais n'ont donc pas fait apparaître les risques liés à des séquences de températures très froides. Par contre, il a été observé que les problèmes d'excès d'HR sont accentués par les conduites à températures sans chauffage ou à basse T°. L'étude de la déshumidification thermodynamique dans ces conditions de culture s'avère donc nécessaire.

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

VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

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

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

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

Campan, J., 2006. Mechanisch vocht afvoeren : gedoseerde vochtavoer, 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., Makhoul 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.



ASTREDHOR PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE ET D'ETUDES 2011 Annexes

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

Annexe 1



Station Expérimentale de Vézendoquet - 29250 ST POL DE LEON

UTILISATION D'UNE CONDUITE CLIMATIQUE ECONOMIQUE EN ENERGIE AVEC DESHUMIDIFICATEUR THERMODYNAMIQUE EN CULTURE DE LISIANTHUS SOUS SERRE POUR LA FLEURS COUPEES

CATE2011F08

I - OBJECTIF

Le premier 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 reste à évaluer en production de fleurs coupées sous serre.

Le 2ème objectif de cet essai est de réaliser une production de *Lisianthus* suffisamment précoce au printemps sans dépenser trop d'énergie comme il est possible de le faire avec le schéma de culture de référence qui nécessite un chauffage à 17°C-18°C au départ de la culture.

Pour cela, l'itinéraire de culture de cet essai a été orienté vers l'utilisation des variétés du groupe *Borealis* qui sont des sélections relativement résistantes au froid avec une implantation d'automne.

Il s'agit donc d'observer la faisabilité d'un itinéraire de culture de *Lisianthus* pour une production précoce suite à une plantation d'automne avec des variétés relativement tolérantes à des températures fraîches combiné à une conduite économe en énergie et à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique.

II - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Modalités étudiées

2 facteurs sont étudiés :

1) le facteur conduite globale avec 1 modalité : culture de *Lisianthus* en serre verre moyennement chauffée dans le cadre d'une conduite économe en énergie couplée à un déshumidificateur thermodynamique pour la déshumidification de l'air.

Plantation prévue semaine 43 de 2010 en serre verre moyennement chauffée (10°C les premières semaines puis 14°C jusqu'à fin décembre puis 10-12°C ensuite). Un film plastique polyéthylène fin est utilisé comme écran thermique du début de la culture jusqu'au début du mois de janvier (05/01/11).

La culture de *Lisianthus* est conduite avec une seule récolte sans exploitation de la remontée florale.

2) le facteur variétés avec 5 modalités correspondant à 5 variétés de gamme la Borealis de Sakata, variétés à fleurs doubles (blanche, rose, bleue, crème, abricot).

Système de culture

- Culture en pleine terre sur des planches de 1 m de large à une densité de 64 plantes /m² avec mise en place de jeunes plants élevés en plaques alvéolées.
- Culture sous serre verre moyennement chauffée dans un compartiment de 192 m². La température de chauffage consignée a été de 14°C le premier mois de culture puis 10°C-12°C.
- Plantation à l'automne 2010 pour une récolte souhaitée au printemps 2011 (mai).

Dispositif

Essai à 2 facteurs et 1 répétition. Parcelles expérimentales de 15 m² soit 960 plants/parcelle. 5 modalités. 5 parcelles. 75 m² de planche cultivée au total, 105 m² d'essai dans un compartiment de serre de 192 m².

Mesures et observations

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

III - CONDUITE DE LA CULTURE

Culture sous serre verre. 1 compartiment de 192 m².

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

Matériel végétal : jeunes plants en plaques alvéolées de 600.

Plantation : 28/10/2010 (semaine 43).

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

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.

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

Fertilisation en cours de culture : par solution nutritive (2 bacs) à une EC apport = 1,2-1,8 mS.

Désherbage manuel.

Conduite climatique :

Période	De fin octobre à mi-novembre	De mi-novembre à fin décembre	De début janvier à fin mars	De fin mars à juillet
Température de chauffage J / N	10°C / 10°C	14°C / 14°C	12°C / 12°C	12°C / 10°C
Température d'aération J / N	25°C / 25°C	21°C / 21°C	18°C / 18°C	18°C / 16°C
Remarque	Pose d'un écran thermique permanent par film polyéthylène transparent microperforé de fin octobre à début janvier			

[Texte]

Pas d'éclairage photosynthétique.

Déshumidificateur thermodynamique

Machine du type ETT Micro Hortidésu :

Débit d'air nominal soufflage en vrac : 2500 m³ /heure.
Poids d'eau évacué : 3,2 kg /heure à 10°C et 85% d'HR
4,2 kg /heure à 15°C et 85% d'HR
6,6 kg /heure à 20°C et 85% d'HR
Température minimum de fonctionnement : 10°C
Puissance électrique du moteur du ventilateur : 0,55 KW
Puissance électrique du groupe frigorifique : 4,0 KW
Puissance électrique totale 4,55 KW
Longueur x Largeur x Hauteur 1520 x 900 x 550 mm
Poids total : 130 kg
Programmation : programmeur horaire + régulation sur hygrométrie et température

Consigne de fonctionnement :

Période	Novembre	Décembre, janvier, février	Mars, avril, mai	Juin, juillet
Seuil d'hygrométrie :	Seuil machine : 75 % % soit seuil ordi climatique : 85 %	Seuil machine : 75 % % soit seuil ordi climatique : 85 %	Seuil machine : 75 % % soit seuil ordi climatique : 85 %	Seuil machine : 75 % % soit seuil ordi climatique : 85 %
Nombre d'heures de fonctionnement Programmées et mode de fonctionnement	De 6 à 9 heures /24H la nuit et au lever du jour	De 3 à 5 heures /24H la nuit et au lever du jour	De 5 à 8 heures /24H la nuit et au lever du jour	De 3 à 4 heures /24H la nuit et au lever du jour
Fonctionnement par intermittence par périodes de 1 heure de fonctionnement suivies d'1 heure d'arrêt				

Mise en route du déshumidificateur thermodynamique le 02/11/2010 (semaine 44).

IV - RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette expérimentation, une conduite économe en énergie associée à de la déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique a été appliquée à une culture de *Lisianthus* plantée à l'automne (semaine 43 de 2010) avec des variétés tolérantes à des températures fraîches pour rechercher une récolte de printemps.

4.1. – Comportement agronomique et état sanitaire

Au démarrage de la culture, par souci d'économie d'énergie, une consigne de chauffage de 10°C a été appliquée. Il aurait été nécessaire de choisir pour les premières semaines de culture une consigne supérieure car une attaque précoce de *Pythium* a été observée 2 à 3 semaines après la plantation du fait d'un enracinement trop lent. A l'apparition des premiers symptômes, la consigne de chauffage a donc été relevée à 14°C pour activer le développement des plantes. Ces dégâts, bien que variables selon les variétés, sont restés cependant modérés. Ainsi, la perte de plantes suite à cet événement a été en moyenne de 9 % des plants plantés (mais, 25% pour la variété crème). Une fois cet épisode passé, aucun autre symptôme de *Pythium* n'a été ré-observé ensuite au cours de la culture.

En ce qui concerne les maladies des parties aériennes des plantes, il a été possible de maintenir durant tout l'essai, un très bon état sanitaire de la culture et une très bonne qualité de fleurs grâce à l'utilisation du déshumidificateur thermodynamique et cela, malgré une conduite climatique à risque avec des températures de nuit basses et un fort confinement de la serre. En dehors des pertes liées au *Pythium* en début de culture, aucune autre perte à cause d'une maladie parasitaire n'a été enregistrée.

4.2. – Récolte des fleurs

[Texte]

La récolte de fleurs a débuté le 20 mai 2011, s'est exprimée pleinement durant les premières semaines de juin et s'est poursuivie jusqu'à la première semaine de juillet 2011. Les variétés Borealis verte, bleue et rose sont plus précoces que les variétés blanche, crème et abricot.

Dans cet essai, 86 % des fleurs récoltées ont été commercialisées en qualité extra avec une belle présentation. Mais le rendement en fleurs commercialisées n'a pas été celui escompté puisque ce dernier n'a été que de 44,7 fleurs commercialisées/m² de planche. Ainsi, le % de fleurs commercialisées par rapport au nombre planté (64 plants /m² de planche) n'a pas dépassé 69 %, soit 21 % de déchets auxquels s'ajoutent les 9 % de perte liés au *Pythium* au départ de l'essai. Le pourcentage de déchets est trop élevé dans cet essai mais est lié aux conditions climatiques de l'hiver au cours duquel le manque de lumière a pénalisé la prise de vigueur d'un certain nombre de plants et a accentué l'hétérogénéité du peuplement.

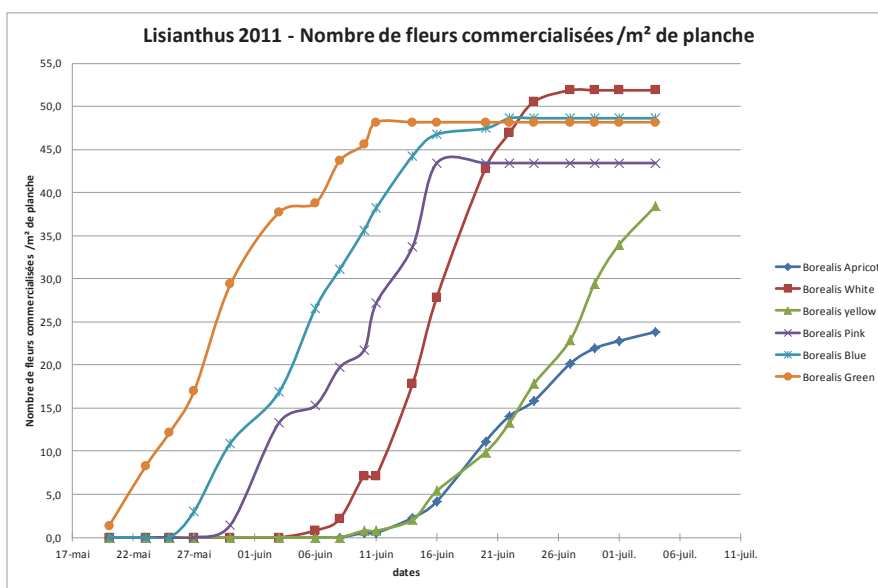
Essai de conduite de culture en Lisianthus -2011 Séries plantées à l'automne pour une production de fin de printemps

Résultats de production

Variété	Nbr de fleurs récoltées /m ² de planche	Nombre de fleurs commercialisées /m ² de planche	Nbr fleurs commercialisées en extra /m ² de planche	% de fleurs commercialisées /nombre plantées	% par catégorie par rapport aux fleurs récoltées			
					Extra - 65 cm	1er choix - 55 cm	2ème choix - 45 cm	% déchet / nbr récolté
Borealis Apricot	24,9	23,8	23,3	37,2	93,7	2,1	0,0	4,2
Borealis White	56,1	51,9	49,0	81,0	87,3	5,1	0,0	7,6
Borealis yellow	40,1	38,4	37,6	60,0	93,6	2,1	0,0	4,3
Borealis Pink	49,4	43,4	37,7	67,9	76,3	11,6	0,0	12,1
Borealis Blue	52,0	48,6	46,1	76,0	88,5	4,9	0,0	6,6
Borealis Green	54,7	48,2	44,9	75,3	82,1	5,9	0,0	12,0
Moyenne	48,7	44,7	42,1	69,8	86,4	5,3	0,0	8,3

Densité de plantation : 64 plants /m²

Le cycle de culture a été plus long qu'un itinéraire normal puisqu'il a duré environ 35 semaines entre la plantation et la fin de la récolte. Le début de la récolte est intervenu 29 semaines après la plantation.



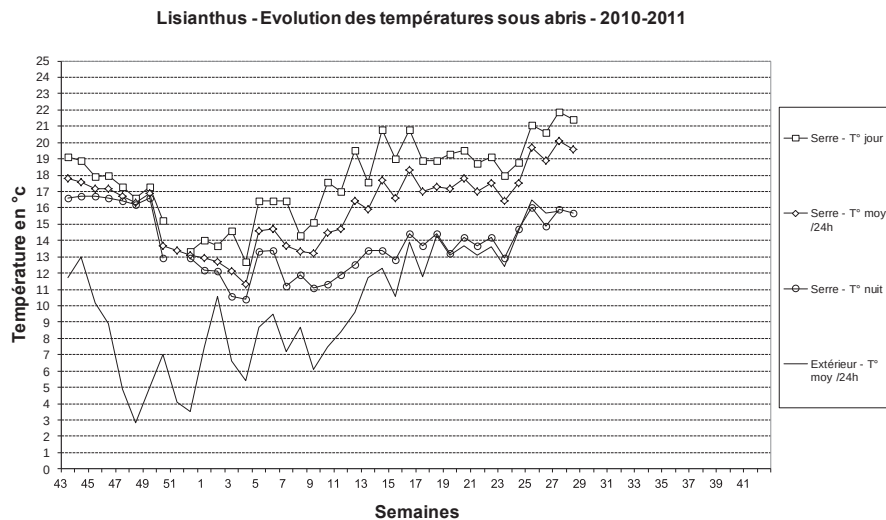
Le calendrier de récolte obtenu dans cet essai l'est en principe avec les variétés habituelles en plantant mi à fin février et en chauffant la serre à 18°C, soit un cycle de culture d'environ 18 à 20 semaines entre la plantation et la fin de la récolte.

[Texte]

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

4.3. – Données climatiques observées

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

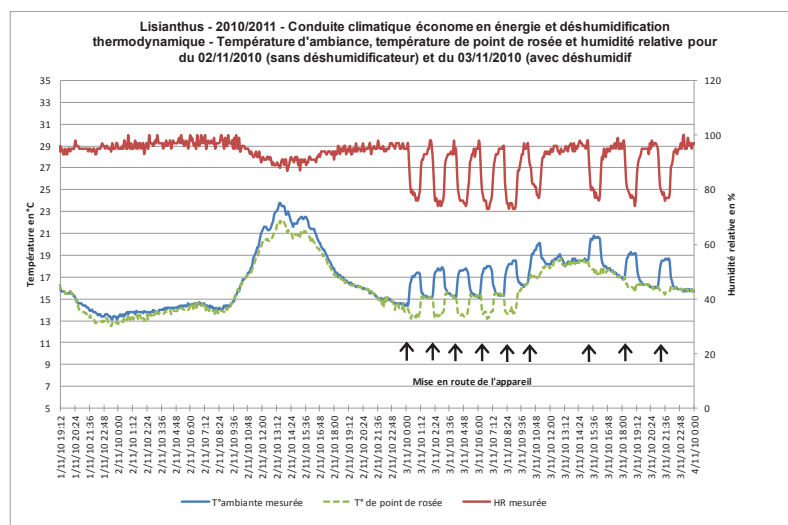


4.4. – Etude de journées types

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

4.4.1. – Les 02 et 03/11/2010

L'analyse des données climatiques de la serre expérimentale des 02/11/10 et 03/11/10 permet d'observer l'effet du déshumidificateur thermodynamique sur le climat de la serre. Le 02/11/10, le déshumidificateur n'était pas en marche à la différence de la journée suivante, le 03/11/10, au cours de laquelle il l'était.



Le 03/11/10, la mise en route du déshumidificateur est programmée à 9 reprises pour 1 heure à chaque fois. La nuit, entre 2 périodes de fonctionnement, on laisse une période d'1 heure sans fonctionnement. A chaque fois que le déshumidificateur se met en route, on peut observer une forte diminution de l'hygrométrie (d'environ 15 %) et un écart de plusieurs degrés se crée entre la température d'ambiance mesurée et la

[Texte]

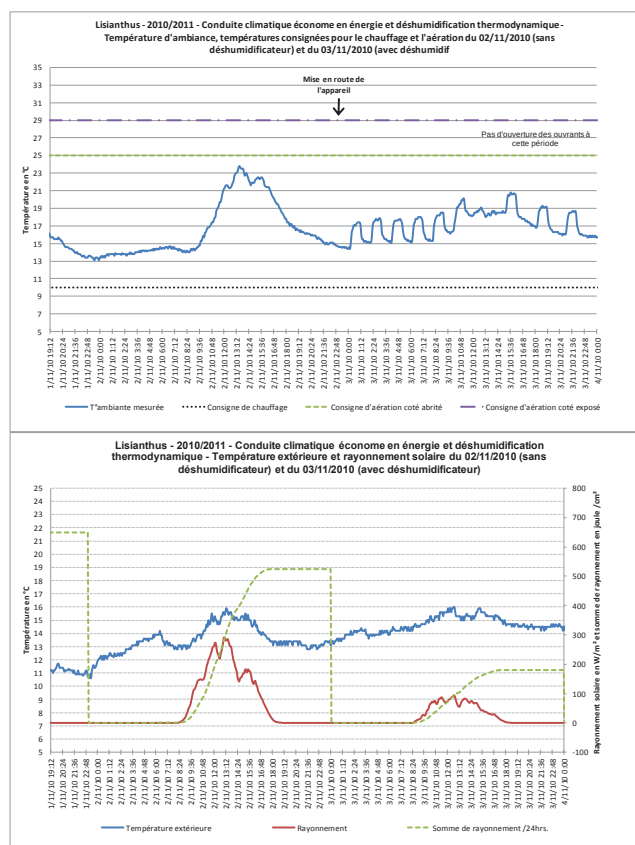
température de point de rosée calculée (cet écart symbolise la diminution des risques de condensation). La température d'ambiance de la serre augmente également d'environ 2°C lorsque l'appareil se met en route. A chaque arrêt du déshumidificateur, l'hygrométrie revient très rapidement à un niveau élevé, de l'ordre de 95 % et les risques de condensation deviennent importants.

Au cours de cette journée, le rayonnement solaire a été faible et les ouvrants de la serre sont restés fermés du fait des consignes d'aération élevées. 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 la journée du 02/11/10, le déshumidificateur n'était pas en route et l'hygrométrie est restée supérieure à 95 % toute la nuit et une bonne partie de la journée. Dans la journée, l'augmentation de la température liée au léger ensoleillement a permis de diminuer légèrement l'hygrométrie de la serre et surtout, a permis à la température de point de rosée de s'écarter de la température d'ambiance. Toutefois, la température d'ambiance est restée inférieure à la consigne d'aération et les ouvrants sont restés fermés. En dehors de cette période, le risque de condensation a été maximum.

La comparaison de ces 2 journées permet donc d'observer l'effet du fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique sur le climat de la serre et sur le risque de condensation.

Pour les périodes nocturnes de ces 2 journées, la période où il y a un risque de condensation (période au cours de laquelle l'écart entre la température d'ambiance et la température de point de rosée est inférieure à 1°C) a pu être ramenée de 13 H par nuit en l'absence de fonctionnement du déshumidificateur à 7 H 15 par la mise en route du déshumidificateur (pour une nuit dont la durée est de 13 H).

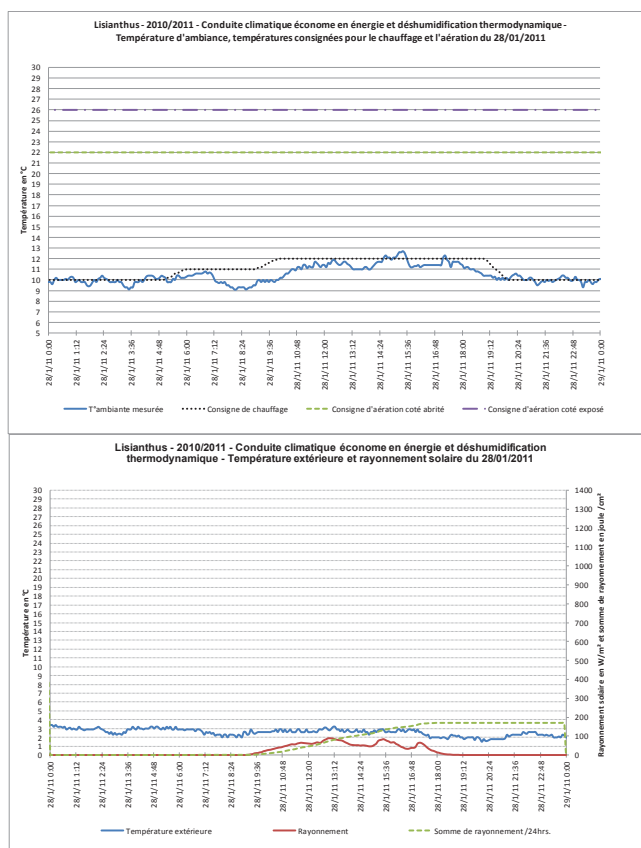
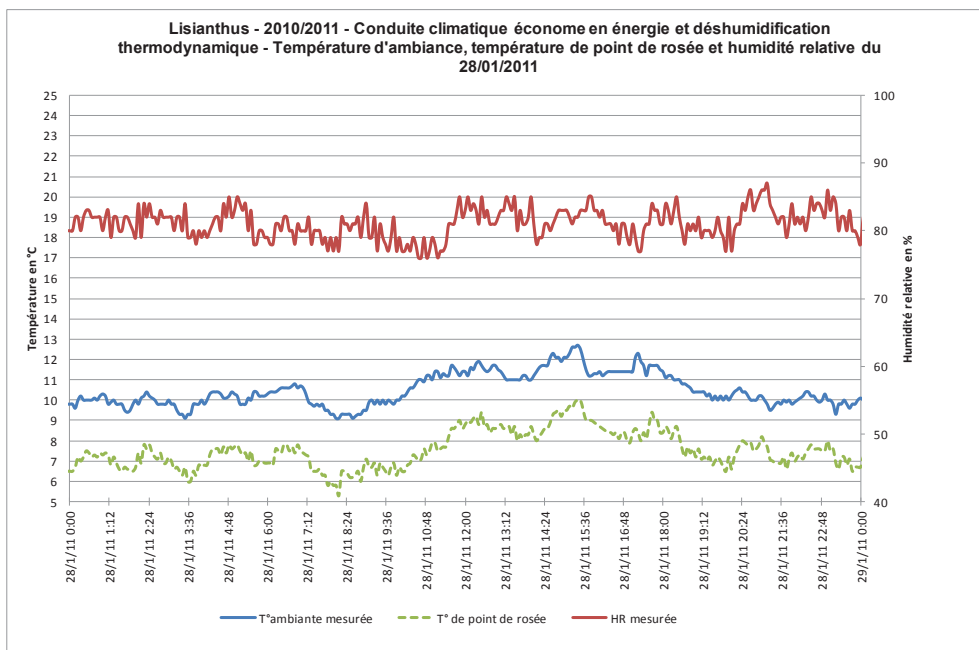


4.4.2. – Le 28/01/2011

Cette journée froide est très peu lumineuse et assez caractéristique du climat qui a été observé de façon exceptionnelle cette année durant la plupart des semaines de décembre, janvier et février. Malgré des consignes de chauffage relativement basses (10-12°C), la puissance de chauffage insuffisante dans la serre permet difficilement d'atteindre les consignes car la température extérieure reste très faible même dans la journée. Les ouvrants restent fermés car les consignes d'aération ne sont pas atteintes.

Du fait du fonctionnement quasiment permanent du chauffage, l'hygrométrie de la serre reste inférieure à 85 % et le déshumidificateur thermodynamique n'est pas mis en route.

[Texte]

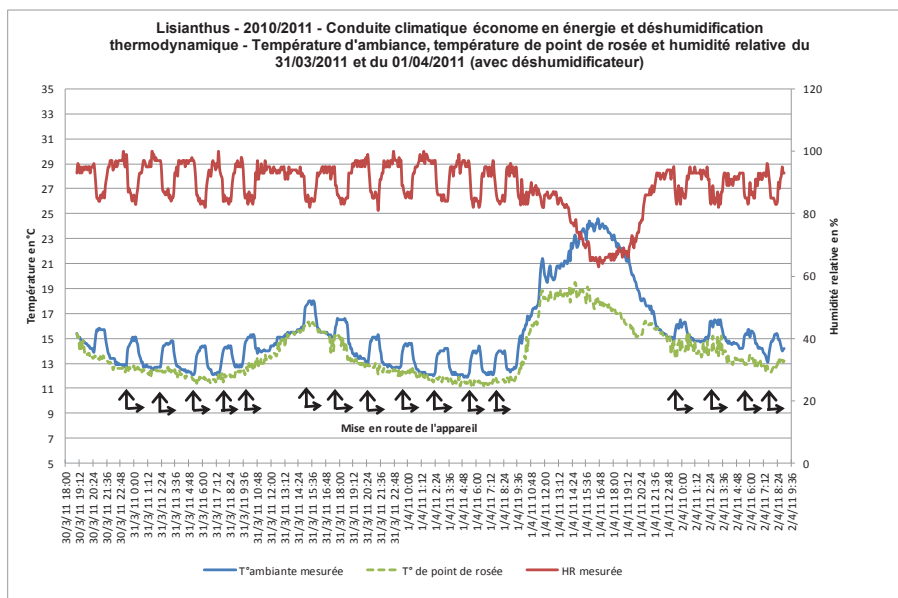


4.4.3. – Les 31/03/2011 et 01/04/2011

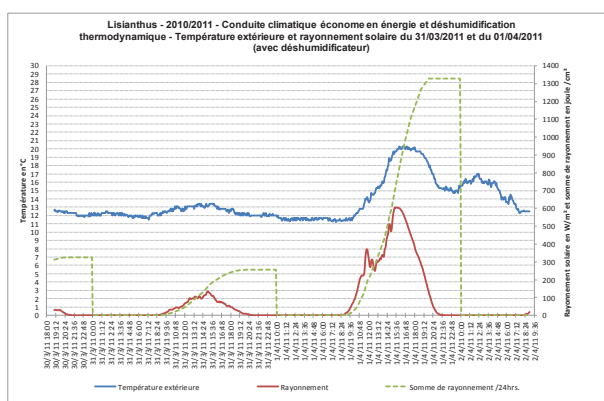
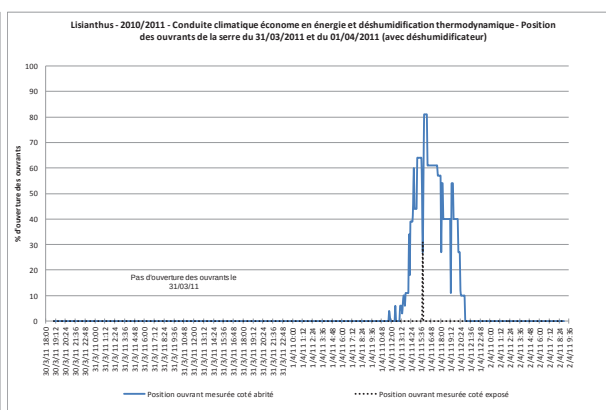
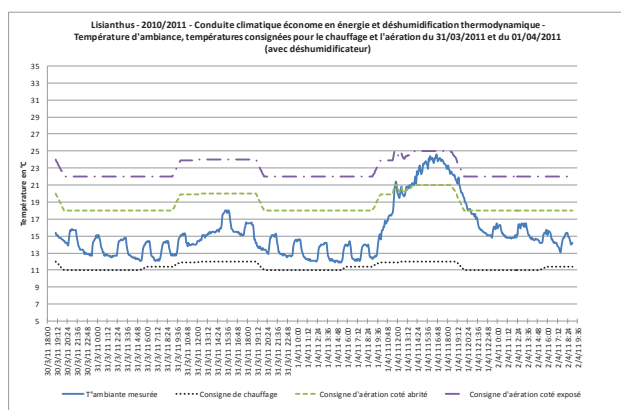
Ces 2 journées correspondent à des journées de début de printemps avec des températures extérieures plus douces que les périodes précédentes. Le 31/03/11 est une journée peu ensoleillée alors que l'ensoleillement du 01/04/11 est plus correct. Dans ces 2 cas de figure, l'hygrométrie dépasse 95 % lorsque le déshumidificateur est à l'arrêt, sauf au milieu de la journée du 01/04/11 lorsque l'ensoleillement réchauffe suffisamment la serre pour que la température dépasse la consigne d'aération et permette l'ouverture des ouvrants. Le renouvellement de l'air par de l'air extérieur permet alors d'assécher l'ambiance. Lorsque le déshumidificateur se met en route, l'hygrométrie est abaissée d'environ 10 %, la température d'ambiance

[Texte]

s'élève d'environ 2°C et il apparaît un écart entre la température d'ambiance et la température de point de rosée correspondant à une diminution du risque de condensation.



A cette période, les plantes commencent à se développer et la végétation devient importante dans la serre. Le nombre d'heures de fonctionnement du déshumidificateur reste donc assez élevé (environ 8 heures /24 heures) pour limiter les risques de maladies.

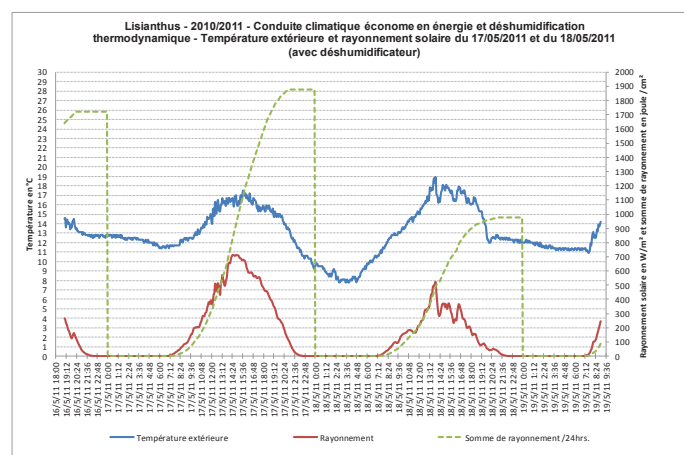
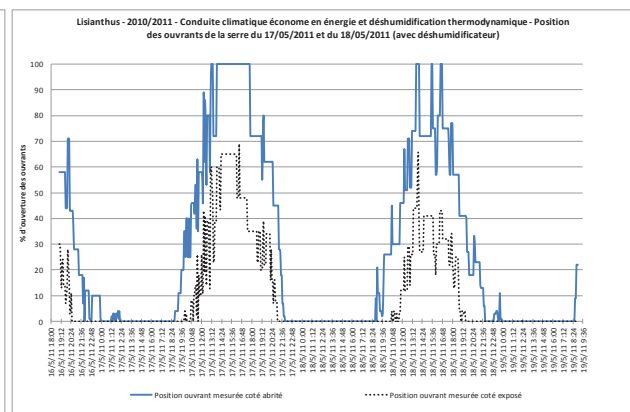
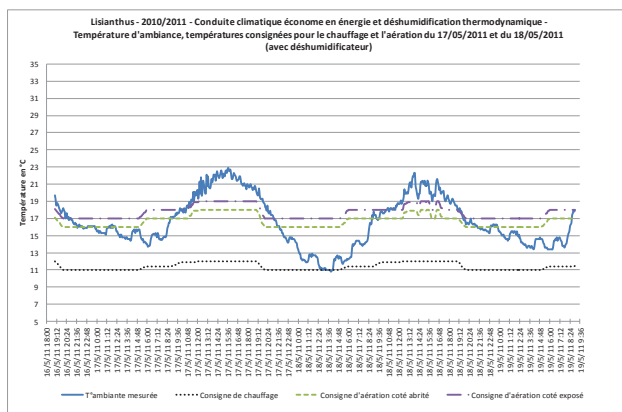
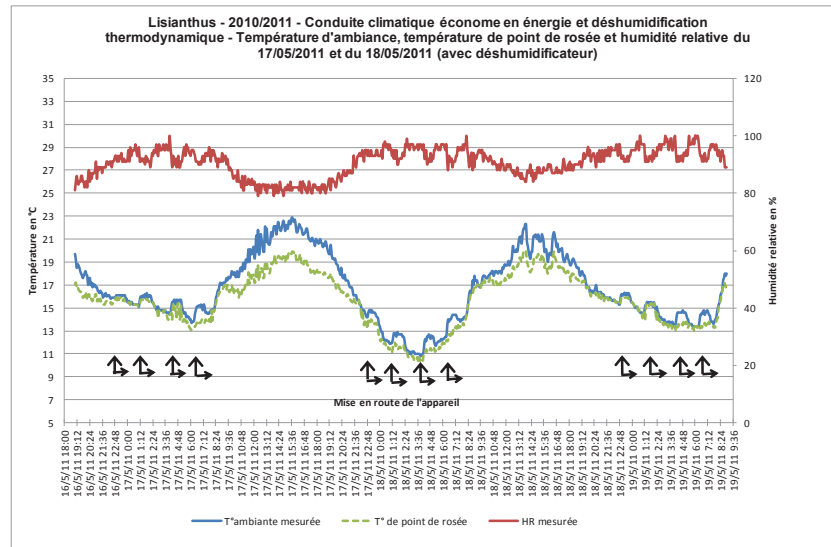


4.4.1. – Les 17 et 18/05/2011

A cette période, le climat extérieur devient plus doux et l'ensoleillement plus régulier. De plus, du fait du développement des plantes, les consignes d'aération ont été largement diminuées par rapport au début de la culture. La durée d'aération augmente de façon importante et permet un bon renouvellement de l'air durant la journée tout en conservant des températures correctes dans la serre. Les nuits restent cependant

[Texte]

encore assez fraîches et il n'y a pas d'aération nocturne de façon à ne pas trop abaisser les températures moyennes et à conserver une vitesse de développement satisfaisante. De ce fait, le fonctionnement du déshumidificateur thermodynamique est maintenu la nuit, toujours par intermittence (mais sur une durée globale plus courte que par le passé) de façon à toujours limiter les risques de condensation pendant une période prolongée.



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

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

[Texte]

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 a été relativement modérée puisqu'elle s'élève à 12,8 KWh/m² entre la plantation semaine 43 et la fin de la culture semaine 27, pour une durée de fonctionnement réelle de 539 heures.

Consommation électrique pour la déshumidification de la serres - Lisianthus -2011

Année	Mois	Consommation électrique / m ² /semaine (KWh /m ² /mois)	Consommation électrique cumulée /m ² (KWh /m ²)	Production d'eau (L /m ² /mois)	Coût unitaire (€ /KWh)	Coût de fonctionnement hebdomadaire (€ /m ²)	Coût de fonctionnement cumulé (€ /m ²)	Nombre d'heure moyenne de fonctionnement programmées /jour	Seuil Hygrométrie pour démarrage déshumidificateur (en %)
		S 1	S 1	S1		S 1	S 1		
2010	Novembre	2,1	2,1	2,7	0,049	0,102	0,10	7:30	75
2010	Décembre	0,3	2,4	0,0	0,049	0,016	0,12	3:00	75
2011	Janvier	2,0	4,4	1,7	0,049	0,097	0,21	5:00	75
2011	février	1,6	6,0	1,0	0,049	0,079	0,29	4:30	75
2011	Mars	1,6	7,6	1,1	0,049	0,081	0,37	6:30	75
2011	Avril	1,9	9,5	2,8	0,049	0,093	0,47	8:45	75
2011	Mai	1,7	11,2	1,1	0,049	0,084	0,55	5:00	77
2011	Juin	1,4	12,6	1,4	0,049	0,068	0,62	4:00	78
2011	Juillet	0,1	12,8	0,3	0,049	0,006	0,62	3:00	78
Total 2011		12,8		12,2	0,049	0,62			

Pour 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 81 KWh /m² pour la période de l'essai (consommation nette de la serre). Avec les conditions météorologiques rencontrées cette année, la consommation d'énergie pour le chauffage d'une culture de *Lisianthus* réalisée dans le cadre d'un itinéraire de référence (plantation semaine 7 pour une fin de récolte semaine 27 et avec une consigne de chauffage de 17-18°C au départ de la culture) aurait été de 116 KWh /m² pour la période de culture (consommation nette de la serre).

Consommation énergétique pour le chauffage de la serre - Lisianthus -2011 Culture de la semaine 43/2010 à la semaine 27/2011

Type de conduite	Consommation énergétique en KWh/m ²	Coût de chauffage et de déshumidification en €/m ²
Conduite de référence		
gaz naturel (1)	116,5	4,4
Conduite avec intégration + déshumidificateur		
gaz naturel (2)	81,1	3,1
électricité déshu (3)	12,8	0,6
total	93,9	3,7
Ecart en %	-19,4	-16,2

(1) valeur obtenue par simulation

(2) valeur obtenue par simulation

(3) Mesure par compteur électrique. Essai 2011

KWh gaz : 0,038 €/ KWh

KWh électrique : 0,049 €/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 19 % par rapport à une conduite de référence plantée semaine 17 pour laquelle on utilise des températures de chauffage de 17 à 18°C.

En termes de coût, l'économie sur le poste énergie atteint 16 %.

[Texte]

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.

V - CONCLUSION

Pour confirmer les bons résultats des essais de 2009 et 2010 menés 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 sur la même espèce en 2011 mais avec un itinéraire différent.

La gamme Borealis a été testée. Cette gamme précoce est adaptée à des températures fraîches. En condition méditerranéenne, elle est plantée à l'automne pour une récolte précoce au printemps.

Nous avons adopté ce schéma en plantant semaine 43 à 64 plants /m², en réalisant une conduite de chauffage de 10 à 14°C selon les périodes avec une serre très confinée pour garder le plus de chaleur possible et en déshumidifiant la serre avec un déshumidificateur thermodynamique.

Il aurait fallu avoir un peu plus de chaleur au départ de la culture pour favoriser l'enracinement car une attaque de *Pythium* a été observée. Les plantes se sont développées très 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'au début du mois de juillet. Ce calendrier de récolte est obtenu en principe avec les variétés habituelles en plantant mi à fin février et en chauffant la serre à 18°C.

La qualité des fleurs commercialisées avec la gamme Borealis a été bonne. Mais, le rendement a été pénalisé par l'attaque de *Pythium* du début de culture et par le manque de lumière de la période hivernale qui a accentué le taux de déchet. Ce rendement a été de 44 fleurs commercialisées /m² de planche (avec 86 % des fleurs en extra). L'état sanitaire au niveau de l'appareil aérien a été très bon.

Malgré des résultats agronomiques mitigés liés au cycle de culture choisi au départ avec une culture hivernale en condition peu lumineuse, cette expérimentation a permis de montrer l'intérêt d'associer une conduite climatique économe en énergie par une diminution des consignes de chauffage et par un fort confinement de la serre à une déshumidification par un déshumidificateur thermodynamique.

Sur toute la durée de l'essai, avec le déshumidificateur thermodynamique, 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 ;
- le maintien d'un très bon état sanitaire malgré un confinement important de la serre et malgré la sensibilité de l'espèce aux maladies (en dehors du problème de *Pythium* rencontré au départ de l'essai mais plus lié à un choix de consigne insuffisant pour permettre un enracinement rapide des plantes).
- et cela, avec une consommation électrique relativement modérée qui a été de 12,8 KWh/m² entre les semaines 43 de 2010 et 27 de 2011.

Grâce à l'utilisation de ce déshumidificateur, il a été possible de réaliser une conduite économe en énergie avec peu de risques sanitaires et physiologiques pour la culture. Un tel résultat n'aurait pas été possible sans déshumidification et sans chauffage du fait de la sensibilité aux maladies de l'espèce.

Annexe 2

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

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

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

SC/11/FC24

1. 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 [Texte]

appareils. La marge en production de roses se réduisant fortement, la rentabilité de tels investissements doit être vérifiée pour une culture en climat méditerranéen.

En culture de roses, le problème de gestion de l'humidité dans les serres se situe globalement durant la période de septembre à avril.

La validation de l'action nationale ayant été tardive en 2011, l'hiver 2010/2011 a principalement donné lieu à la réalisation des principaux investissements nécessaires à l'étude et à un suivi minimum des cultures. L'automne hiver 2011 a par contre permis une étude plus détaillée, qui s'achèvera au printemps 2012. Voici donc les divers éléments de cette première période 2011.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

2.1. MODALITES ETUDIEES

Au total, 2 facteurs sont étudiés :

- 1) Facteur variétal avec 3 variétés : Dukat® et Sweet Avalanche+® (déjà en place en 2010) et Milva® (mise en place en mars 2011).
- 2) Facteur conduite de culture avec 2 modalités dans 2 compartiments gérés de façon économe en énergie dont 1 avec déshumidificateur thermodynamique. Dans les 2 cas le contrôle de l'hygrométrie est prioritaire sur l'économie de chauffage.

Durant la campagne 2010-2011 les 2 modalités étaient les suivantes, dans le cadre d'une production de roses en continu :

- Serre 6 AB : Serre verre de référence, conduite économique avec chauffage par intégration des températures, T° moyenne recherchée à 17°C de la fin novembre à début janvier (10°C minimum). Selon les besoins, déshumidification par chauffage plus ou moins important et aération de la serre, la température des tuyaux et les ouvrants étant gérée par ordinateur climatique.
- Serre 7 ABC : Unité de serre plastique DPG, nouvellement équipée d'un déshumidificateur thermodynamique. Conduite économique avec chauffage par intégration des températures similaire à la serre 6 AB, au moins durant les périodes de transition (automne, printemps). Déshumidification indépendante du chauffage. Selon les besoins, démarrage du déshumidificateur suivant le seuil fixé (88 %), le suivi de l'HR et le déclenchement de l'appareil étant gérés par ordinateur.

Durant la campagne 2011-2012 (à partir de septembre 2012), les 2 modalités ont été modifiées afin de coller à des pratiques encore plus économes et plus performantes applicables en entreprises. Les rosiers ont été conduits en coupe afin de produire au moins pour Noël et la Saint Valentin :

- Serre 6 C : Serre verre de référence, conduite économique avec des consignes de chauffage suivant une valeur minimum mobile de 5°C à 15°C (en fonction du stade phénologique des tiges et des conditions climatiques naturelles). Selon les besoins, déshumidification par chauffage plus ou moins important et aération de la serre, la température des tuyaux et les ouvrants étant gérée par ordinateur climatique.
- Serre 7 ABC : Unité de serre plastique DPG équipée d'un déshumidificateur thermodynamique, avec la même conduite économique en intégration des températures. Déshumidification indépendante du chauffage. Selon les besoins, démarrage du déshumidificateur suivant le seuil fixé (88 %), le suivi de l'HR et le déclenchement de l'appareil étant gérés par ordinateur.

A partir de cette date, l'objectif de consommation annuelle d'énergie pour le chauffage est de 50 KWh /m² /an.

2.2. SYSTEME DE CULTURE

Culture en bacs hors sol, substrat perlite ou fibre de coco (selon les variétés), fertirrigation classique.

[Texte]

Apport de CO₂ froid, consigne CO₂ serre fermée 800 ppm.

Chauffage eau chaude par tubes ceinturant chaque banquette de culture.

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

Fonctionnement quasi en continu de brasseurs d'air dans les divers compartiments de serre.

Pour la serre 7 : installation d'un déshumidificateur thermodynamique MICRO HortiDESHU (fabriquant ETT), géré par l'ordinateur climatique des serres.

- Puissance électrique installée de 4 kW (0.55 pour le moteur de soufflage)
- Puissance thermodynamique nominale de 6.8 kW (pour une reprise à 10°C et 85%HR)
- Débit nominal de 2500 m³/heure
- Température minimale de fonctionnement : 10°C
- Poids d'eau évacué : 3.2 Kg/h à 10°C et 85% HR
 4.2 Kg/h à 15°C et 85% HR
 6.6 Kg/h à 20°C et 85% HR

Détails de la gestion de l'hygrométrie hivernale :

- Pour la serre avec déshumidification classique : 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 le chauffage est mis en route avec des températures de plus en plus élevées selon l'humidité relevée (déshumidification active).
- Pour la serre avec le déshumidificateur : les ouvrants sont maintenus fermés lorsque le déshumidificateur sera mis en route. La consigne de démarrage varie de 88 à 94 % d'HR en fonction de la période de risque *Botrytis* et de l'abondance de fleurs, et selon la possibilité d'une déshumidification passive.

2.3. DISPOSITIF

2 compartiments de serre dont les rosiers sont conduits de façon identique, avec des consignes climatiques identiques. Le premier (n° 7 d'une surface de 450 m²) dispose d'un déshumidificateur, le second (n°6AB de 300m² en 2010/2011 et le n°6C de 150 m² en 2011/2012) n'en a pas.

La surface totale de l'essai est de 750 m² en 2010/2011 et 600 m² en 2011/2012 pour les comparaisons climatiques et énergétiques. Elle est de 150 m² pour les comptages et notation de la récolte.

Pour les notations de récoltes, la taille minimale des parcelles est de 50 plants/variété/modalité (soit 8 m² de serre).

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

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

D'après les valeurs relevées durant les essais de conduite climatique réalisés les années précédentes, le compartiment n°7 a une consommation de chauffage supérieure de 20% au n°6 (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 6 qui lui est contigu est plus enclavé.

2.4. MESURES ET OBSERVATIONS

- Mesure de la qualité des fleurs et de la productivité pour chaque parcelle par des récoltes réalisées chaque jour de l'année. Variables mesurées : nombre de fleurs par m², % de fleurs par catégorie commerciale (extra, 1er choix, 2ème choix), longueur des tiges (30 à 80 cm), longueur de tiges produites.
- Suivi des ravageurs et maladies : notations par parcelle selon une échelle de 0 à 3.
- Mesure des consommations énergétiques par l'enregistrement des paramètres climatiques (ordinateur

[Texte]

climatique), le relevé des consommations énergétiques de chauffage (serres équipées de compteurs d'énergie), le suivi de la consommation électrique du déshumidificateur (compteur électrique), le suivi des volumes d'eau extraits par l'appareil (pompe de reprise avec compteur d'eau pour les condensats).

Les bilans énergétiques et agronomiques sont réalisés durant toute l'année.

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

3. RESULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. CAMPAGNE 2010-2011

1) Dans l'incertitude des financements du programme national, le Scradh a procédé durant l'hiver 2010/2011 aux principaux investissements nécessaires à l'étude et à un suivi minimum de l'essai :

- Septembre 2010 : Installation du déshumidificateur. Prise en main du matériel, premier réglage et première observations.
- Novembre 2010 : Raccordement de l'appareil à l'ordinateur de gestion climatique et installation d'un compteur électrique spécifique.
- Mars 2011 : Plantation de parcelles de MILVA pour compléter la comparaison entre les serres, déjà réalisée sur DUKAT et SWETT AVALANCHE.

2) Comme précisé précédemment le suivi a été réduit au minimum, mais le déshumidificateur a tout de même tourné durant toute la saison avec une consigne de déclenchement fixée à 88% (serre alors fermée une fois ce seuil atteint). Il apparaît :

- Qu'en période de chauffage intense, le besoin de déshumidification pure est quasiment nul car assuré lors du chauffage de la serre. Ainsi en 2010-2011, seules les périodes couvertes et douces ont nécessité l'emploi de l'appareil, ce qui réduit la possibilité d'amortissement de l'appareil.
- En attendant une meilleure connaissance des potentialités de l'appareil, la gestion a été réduite au plus simple : déclenchement dès que HR>88%. Sur la période 2010-2011, dans le cadre de cet usage basique non optimisé, la consommation de l'appareil a été de 456 kwh pour la serre soit 6.4 Kwh/m². Dans un deuxième temps, une gestion plus poussée sera à prévoir afin de réduire au strict minimum l'usage de l'appareil, et utiliser le plus possible la déshumidification passive.
- En moyenne l'humidité dans la serre est restée conforme à notre demande, mais si l'on détaille certaines périodes, les consignes étaient à peine respectées et l'humidité restait à 92% pendant de longues heures. Soulignons que le déficit en lumière a été exceptionnel l'hiver dernier, notamment en décembre, d'où un problème accru d'humidité car la pluviométrie a également été importante. Il ressort des quelques observations que l'adaptation de l'appareil aux besoins de la culture doit être étudiée de plus près.
- La qualité des fleurs en serre n'a pas posé de problèmes en 2010-2011 et nous n'avons eu aucun retour particulier à la vente concernant des symptômes de Botrytis. En période critique, des essais en post récolte seront toutefois à prévoir soit si les consignes HR ne sont pas respectées dans la serre, soit pour valider la qualité des fleurs.

3.2. CAMPAGNE 2011-2012

La campagne 2011-2012 a débuté par une panne de l'appareil suite à une fuite sur le circuit du fluide frigorifique. Outre le retard pris dans l'essai, cela a été l'occasion de rappeler que les pompes à chaleur nécessitent un entretien régulier notamment avant chaque remise en marche, coût qu'il convient de rajouter à l'investissement de l'appareil.

De fait le dispositif d'essai a été opérationnel à partir du 14 novembre 2011. Rappelons qu'à partir de [Texte]

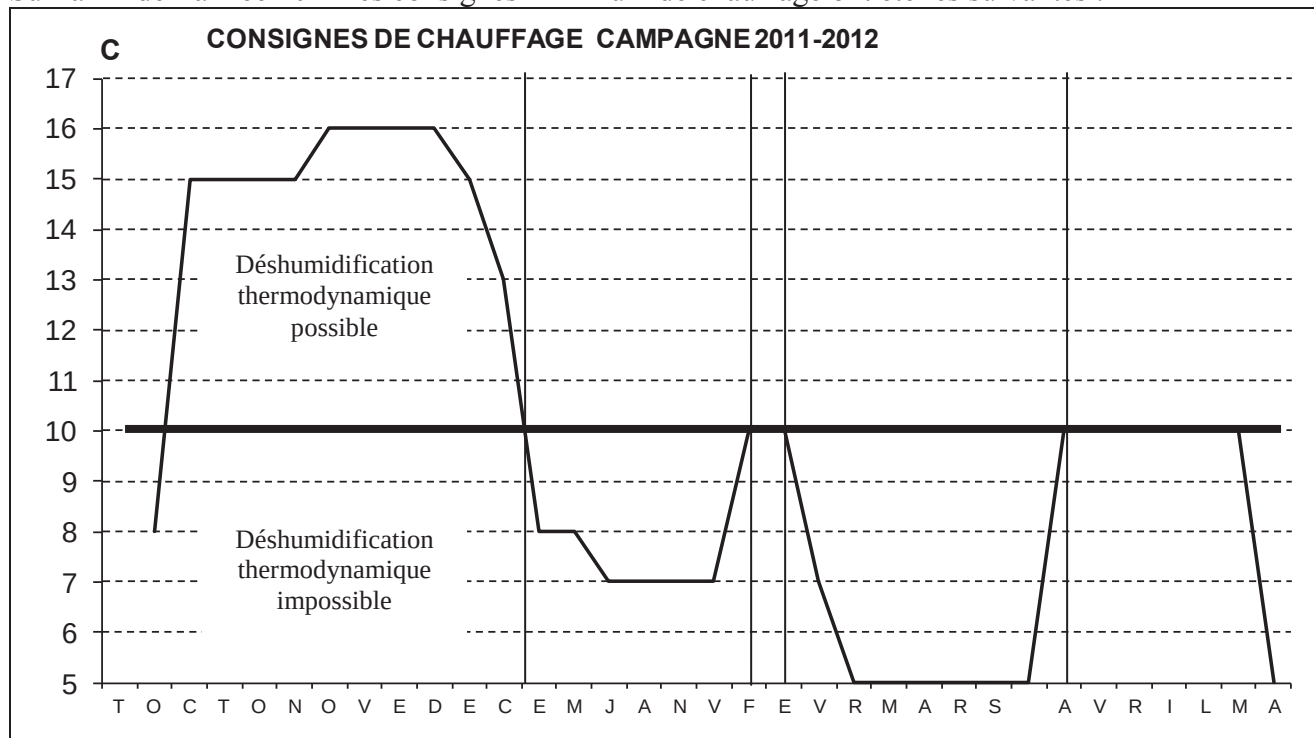
septembre 2011, les consignes de chauffage ont été diminuées par rapport à la période 2010-2011 de façon à réaliser une conduite encore plus économique en énergie.

3.2.1. RAPPEL DES CONSIGNES CLIMATIQUES DANS LES SERRES 7 ET 6C

Pour cette campagne nous travaillons dans le cadre d'une conduite économe avec un objectif énergétique pour la serre verre de référence proche de 50 kwh/m², soit un coût énergétique total proche de 2 €/m².

Cela correspond à une réduction conséquente de la consommation puisqu'en 2010/2011, la conduite par intégration classique à $\pm 17^{\circ}\text{C}$ avait entraîné une consommation énergétique de 110 Kwh/m² pour cette serre de référence.

Sur la fin de l'année 2011 les consignes minimum de chauffage ont été les suivantes :



3.2.2. RESULTATS AGRONOMIQUES ET ETAT SANITAIRE

Les résultats de production de septembre 2011 à février 2012 sont présentés dans le tableau ci-après. A partir de l'été nous avons débuté une conduite en coupe des rosiers.

Parcelles	2011				2012		FI/plant total	Long en cm	%			FI/plant en hiver
	09	10	11	12	01	02			Extra	1 ^{er} Choix	2 ^{ème} Choix	
Dukat 7	0.0	2.2	0.2	0.1	1.4	0.1	4.0	62	64	32	4	1.6
Dukat 6	0.0	2.1	0.1	0.3	1.0	0.1	3.6	60	53	45	2	1.4
Sweet A. 7	3.4	0.1	3.1	0.2	0.0	0.7	7.6	68	65	30	5	0.9
Sweet A. 6	5.7	0.0	4.8	0.4	0.1	2.6	13.6	67	60	37	3	3.1
Milva 7	0.0	1.7	0.9	0.6	0.6	1.2	4.9	74	69	26	5	2.3
Milva 6	0.0	2.5	0.0	0.1	2.0	0.1	4.8	65	62	19	19	2.2

[Texte]

Le rendement des Milva, plantées en mars 2011, est identique dans les 2 modalités, et il en est de même pour celui des Dukat. Seule la modalité Sweet Avalanche de la serre 6 a un rendement supérieur à celui de la serre 7, mais cela provient principalement de la récolte de septembre, avant le début de l'essai.

En été et début d'automne, les cultures sous serre verre sont pénalisées par un excès de chaleur par rapport à la serre plastique. Cela explique que le taux d'Extra moyen est actuellement supérieur dans la serre 7.

D'un point de vue sanitaire, malgré un automne très doux et humide, 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.

3.2.3. OBSERVATIONS CLIMATIQUES DANS LES SERRES

➤ Journées du 17 et 18 novembre 2011

La figure 1 montre que les nuits se caractérisent par une température extérieure basse (courbe noire), d'où le besoin de chauffage (courbe vert clair) afin de maintenir la consigne de 13°C dans la serre (droite grise)

La température de l'eau dans les tuyaux de chauffage atteint au maximum les valeurs de 30 à 40°C durant la nuit du 17 au 18. La serre est restée fermée pendant toute cette période (courbes jaunes et rouge).

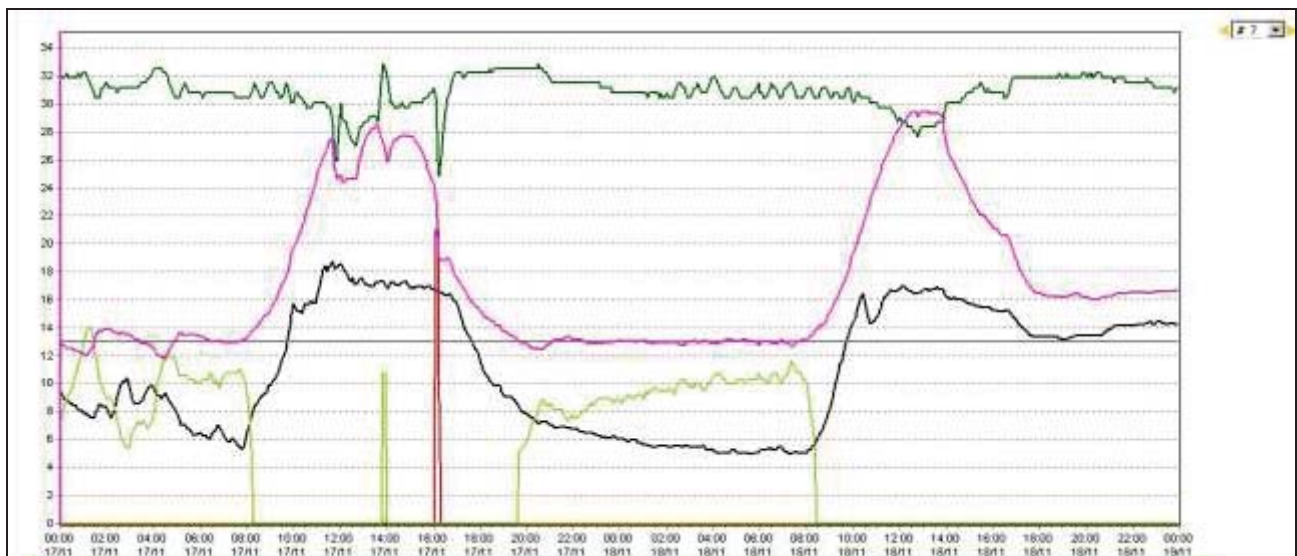


Figure 1 : Données climatiques de la serre 7 du 17-11 à 0h au 18-11 à 23h59 : échelle en °C/température serre

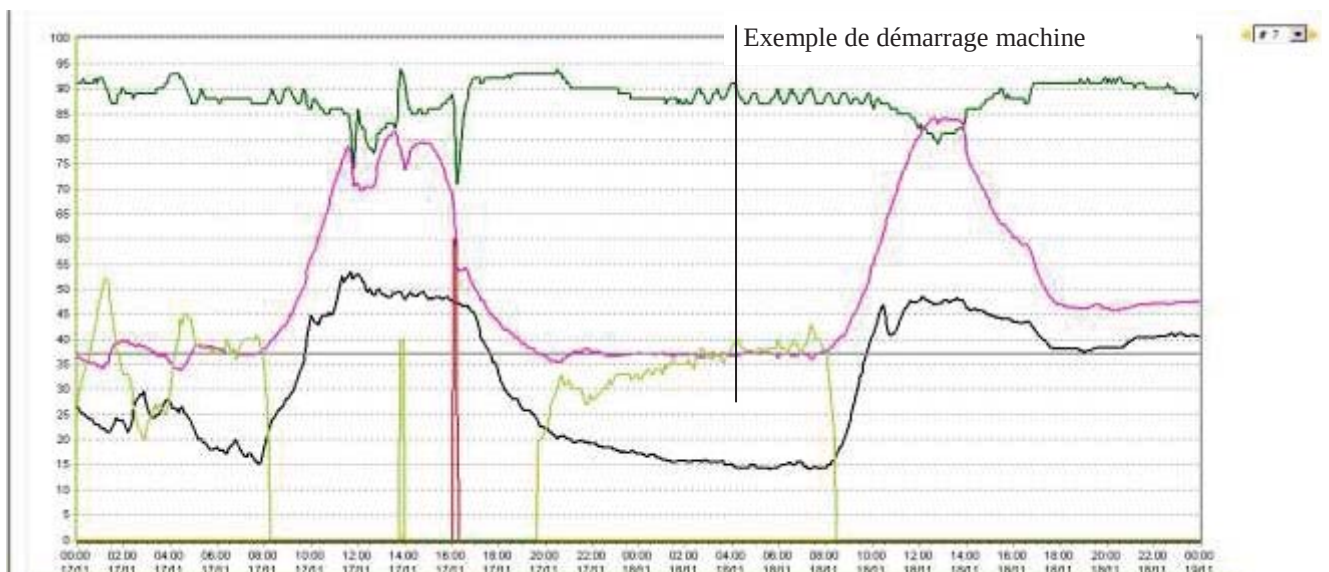


Figure 2 : Données climatiques de la serre 7 du 17-11 à 0h au 18-11 à 23h59 : échelle en °C/chauffage et [Texte]

%/HR

Sur l'ensemble de la période (Fig.2), l'hygrométrie est contrôlée par l'effet conjoint du déshumidificateur (oscillations de la courbe vert foncé) et du chauffage (courbe vert clair). Sans le chauffage, l'HR reste au dessus de 90% HR, et lorsque celui-ci démarre, on aperçoit alors l'effet du déshumidificateur sur l'HR et sur la température. Au démarrage de la machine (Fig. 2) l'humidité diminue, la température augmente alors même que le chauffage est réduit. L'appareil agit donc sur l'HR, et durant la période il a extrait 0.4 l eau/m² soit une moyenne de 3.7 l/heure.

Dans la serre témoin 6C (Fig. 3), les écrans thermiques sont fermés durant la nuit (courbe rouge) et la température de l'eau dans les tuyaux de chauffage (courbe rose) monte à 30/35 °C afin de satisfaire la consigne de température et d'HR. Cette HR reste alors en dessous de 90 puis 85. L'énergie demandée pour le chauffage est inférieure à celle de la serre 7 moins enclavée (et plus grande) mais elle est plus constante.

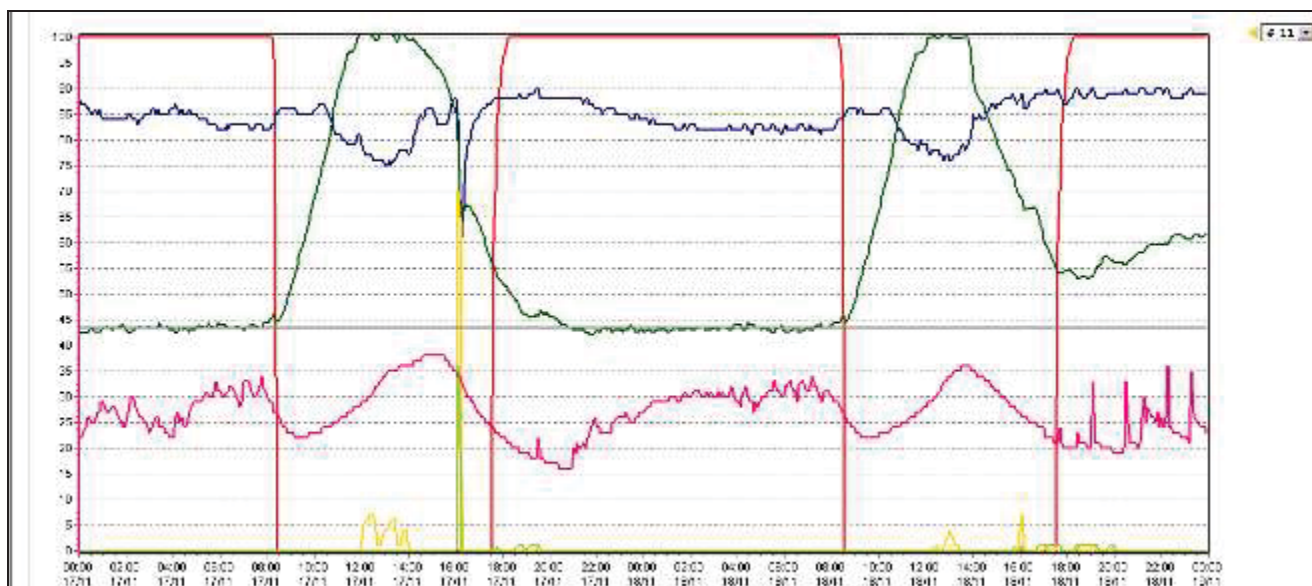
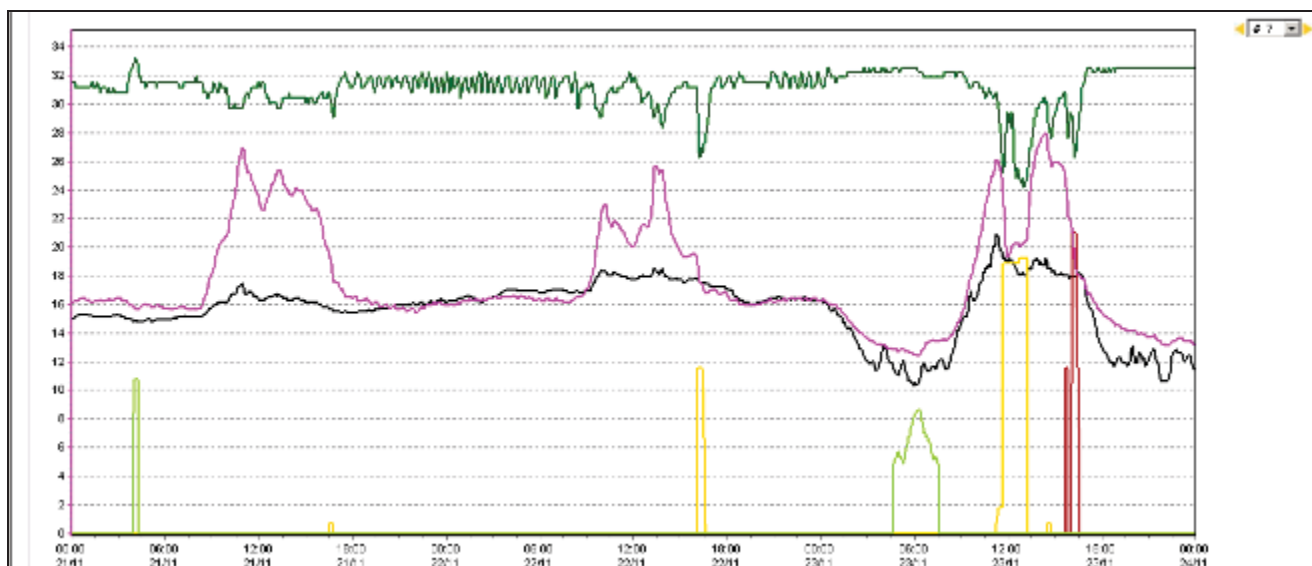


Figure 3 : Données climatiques de la serre 6C du 17-11 à 0h au 18-11 à 23h59 : échelle en % HR

➤ Journées du 21 au 24 novembre 2011

Sur la période les nuits sont très douces (15-16°C) et les jours moyennement ensoleillés. La serre reste fermée toutes les nuits et les 2 premiers jours. L'activité du déshumidificateur est bien visible (Fig.4).



[Texte]

Notons que l'HR oscille entre 88% (seuil de démarrage de l'appareil) et 93% (valeur atteinte pendant les 10 minutes d'arrêt systématique de l'appareil après chaque fonctionnement). De fait la moyenne est au dessus de 88%. Durant la période l'appareil a extrait 0.4 l d'eau/m² soit une moyenne de 2.8 l/heure.



➤ Journées du 26 au 30 novembre 2011

Cette période est marquée par des nuits froides et le déclenchement systématique du chauffage (températures de l'eau dans les tuyaux de chauffage de 35 à 80°C) afin de satisfaire la consigne de chauffage (Fig. 7). Les déclenchement de l'appareil sont visibles (oscillation de la courbe vert foncé) pourtant l'humidité reste toujours au dessus 90% durant les nuits (Fig.8).

A l'inverse des journées du 17 et 18, l'appareil agit sur humidité relative de la serre mais, même avec le chauffage, les valeurs d'HR sont un peu trop élevées sans toutefois dépasser 95%.

Durant cette période l'appareil a extrait 0.8 l d'eau/m² soit une valeur moyenne de 3.6 l/heure.

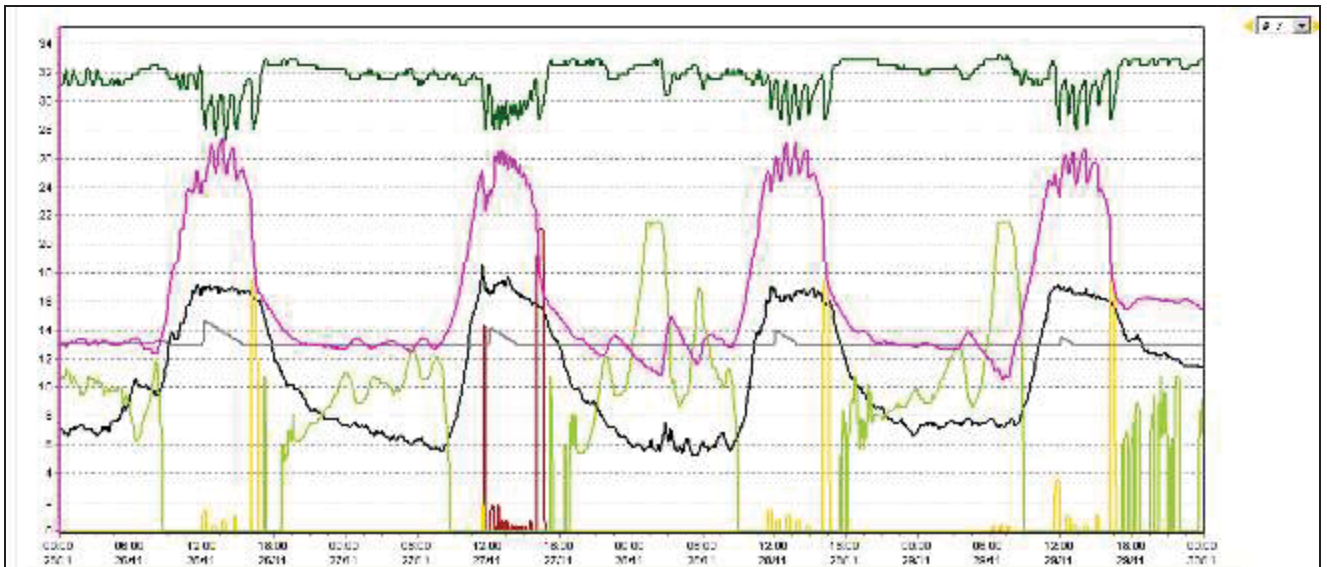


Figure 7 : Données climatiques de la serre 7 du 26-11 à 0h au 29-11 à 23h59 : échelle en °C

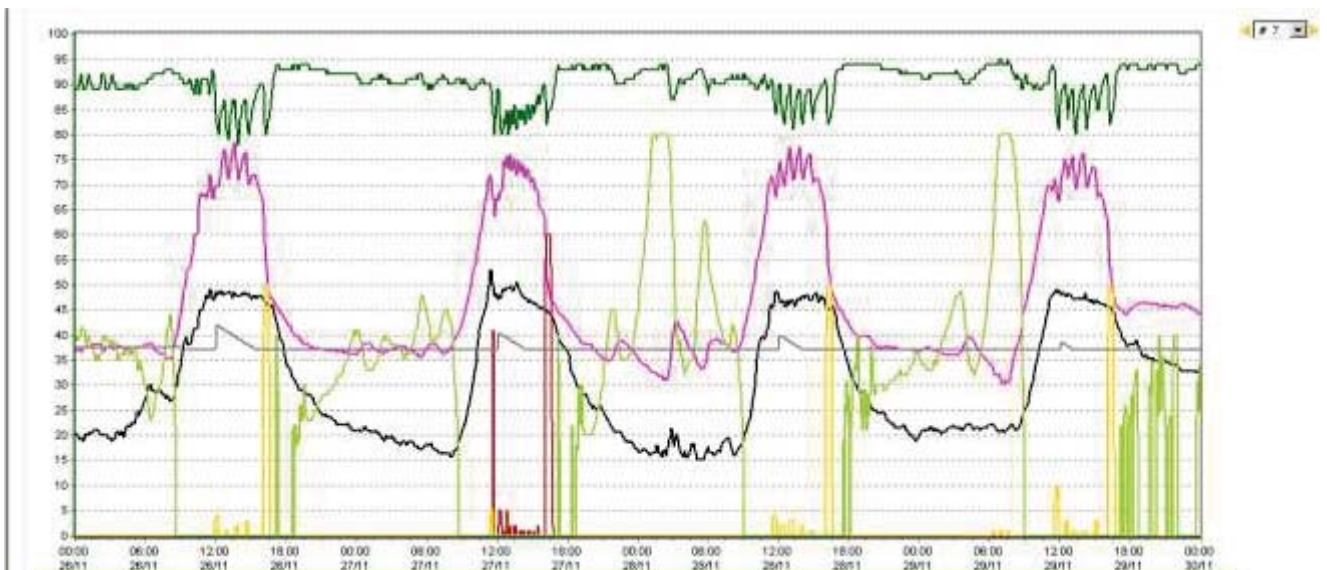


Figure 8 : Données climatiques de la serre 7 du 26-11 à 0h au 29-11 à 23h59 : échelle en °C/chauffage et %/HR

Dans la serre témoin 6C (Fig. 9), les écrans thermiques sont fermés durant la nuit (courbe rouge) et l'eau [Texte]

dans les tuyaux de chauffage (courbe rose) monte à 25/30°C afin de satisfaire la consigne de température et d'HR.

Comme précédemment des phases d'ouverture de la serre sont invisibles de 18 à 20 heures (courbes jaune et vert clair). L'HR reste ensuite proche de 85 % durant toutes les nuits

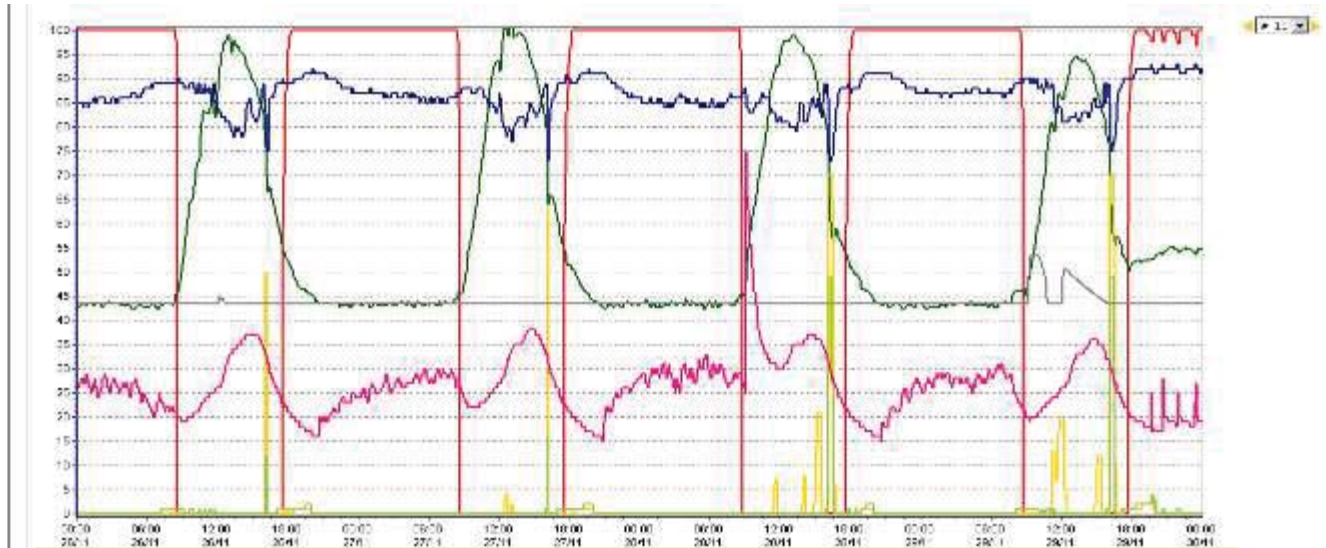


Figure 9 : Données climatiques de la serre 6C du 26-11 à 0h au 29-11 à 23h59 : échelle en °C/chauffage et en % HR

Sur les trois périodes observées en automne il a été possible de montrer l'action de l'appareil sur l'HR. Selon les situations cette action est satisfaisante, ou non, avec une humidité quelques fois insuffisamment maîtrisée. Le suivi de la seule humidité relative est d'ailleurs apparu insuffisant et, dès la fin décembre, l'ordinateur a été programmé pour stocker également les données de déficit hydrique (DH) afin de mieux appréhender l'effet du déshumidificateur.

Pour la serre verre témoin, l'humidité a correctement été gérée selon la méthode classique. Notons tout de même que la serre verre a de tous temps été bien moins humide que la serre plastique DPG, tout comme nous savons pertinemment qu'elle est naturellement plus chaude car plus enclavée.

3.2.4. DONNEES DE FONCTIONNEMENT DU DESHUMIDIFICATEUR

La figure 10 synthétise les données de fonctionnement de l'appareil dans la serre 7.

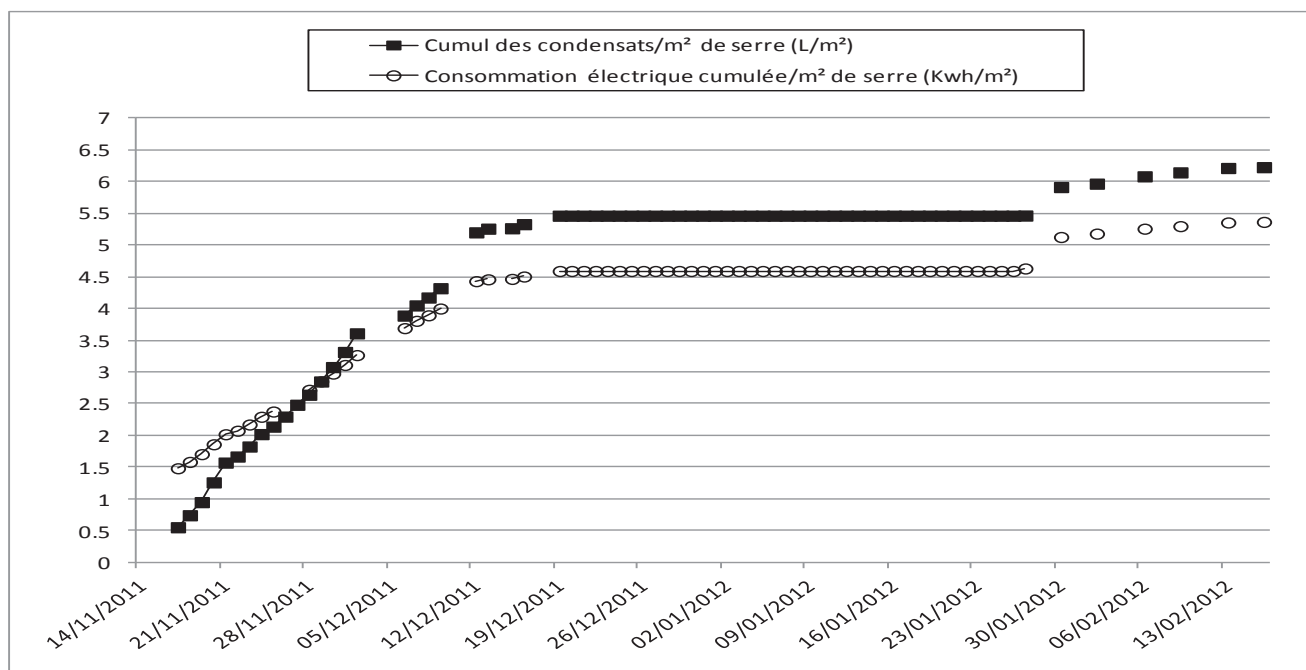


Figure 10 : Cumul de la consommation électrique de l'appareil et des condensats

A partir du 19-12-2011, l'appareil a été arrêté puisque la conduite climatique autorisait des températures inférieures à 10°C (jusqu'à 5°C).

A l'issue de la période du 14 novembre au 19 décembre la consommation a donc été de 4.5 kwh/m² et le volume extrait de la serre est de 5.5 l/m² de serre.

Sur la totalité de la période d'utilisation de l'appareil (de novembre 2010 à décembre 2011), la consommation électrique globale a été de 4963 kwh soit 11 kwh/m². Compte tenu des consommations énergétiques pour le chauffage cette valeur reste très faible, même si le coût de l'énergie électrique est supérieur à celui des énergies fossiles.

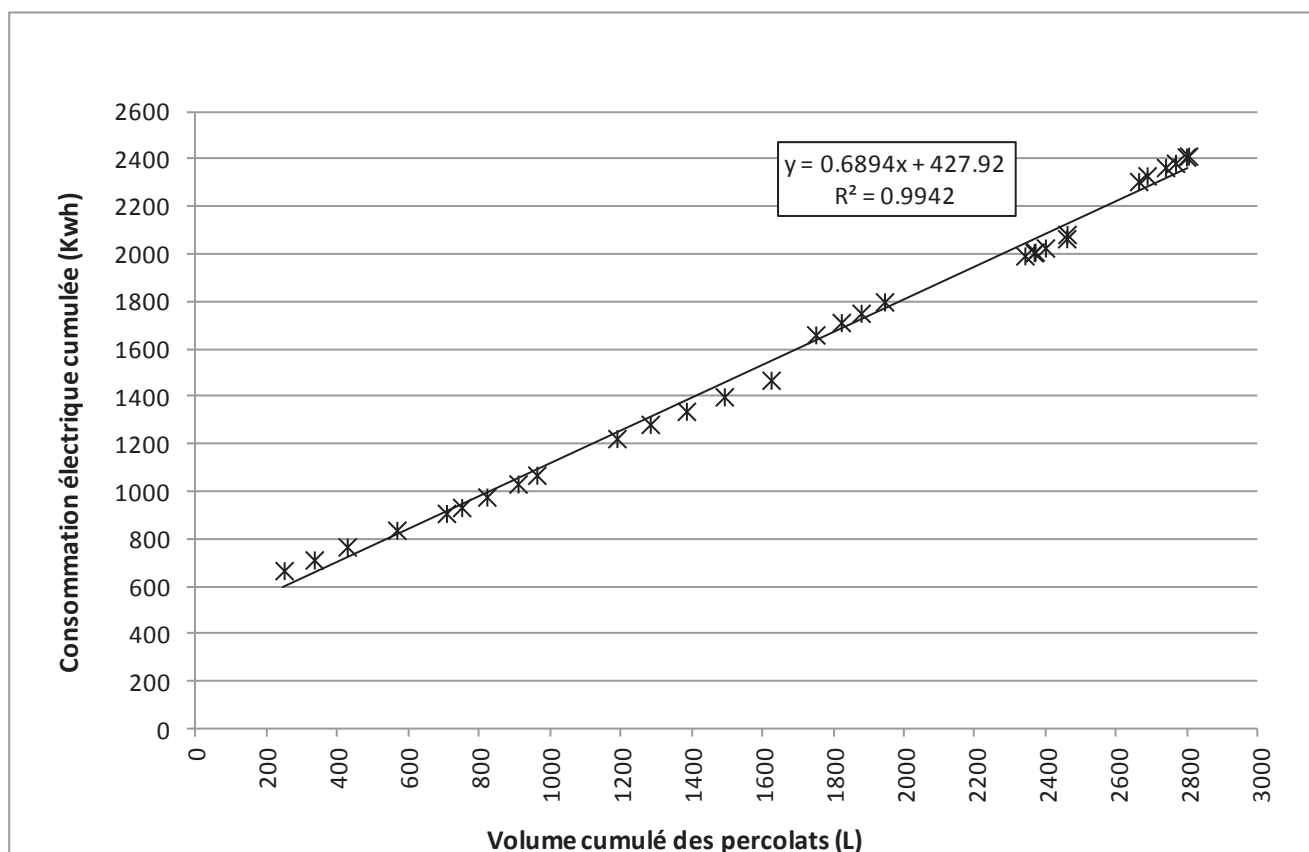


Figure 10 : Corrélation entre le volume des percolats et la consommation électrique

Avec un enregistrement des volumes extraits et un compteur électrique dédié, le dispositif d'étude de l'appareil semble satisfaisant pour observer son comportement et apprécier son apport à la gestion climatique.

Compte tenu des volumes extraits et de l'évolution de l'HR durant certaines périodes, il semble que l'appareil soit juste dimensionné pour la surface de 450 m² de rosiers à traiter en période automnale. Les données 2012 de printemps viendront confirmer ou non cette hypothèse.

3.2.5. PREMIER BILAN ENERGETIQUE

Il ne s'agit là que d'un bilan provisoire car la saison n'est pas finie et il faudra poursuivre l'étude pendant plusieurs campagnes de production, correspondant à plusieurs situations climatiques hivernales.

Sur la période d'étude de l'appareil, du 14 novembre (semaine 46) jusqu'au 19 décembre (semaine 51) la consommation de calories dans la serre 7 est inférieure ou égale à celle de la serre 6C (Fig10).

De la semaine 46 à 49 elle est inférieure de près de 1kwh/m². Elles sont égales en semaine 49 après quoi, sous l'effet d'un refroidissement du climat (et de la différence d'exposition), la consommation augmente plus dans la serre 7 que dans la 6C. En début de semaine 51 l'appareil est d'ailleurs coupé.

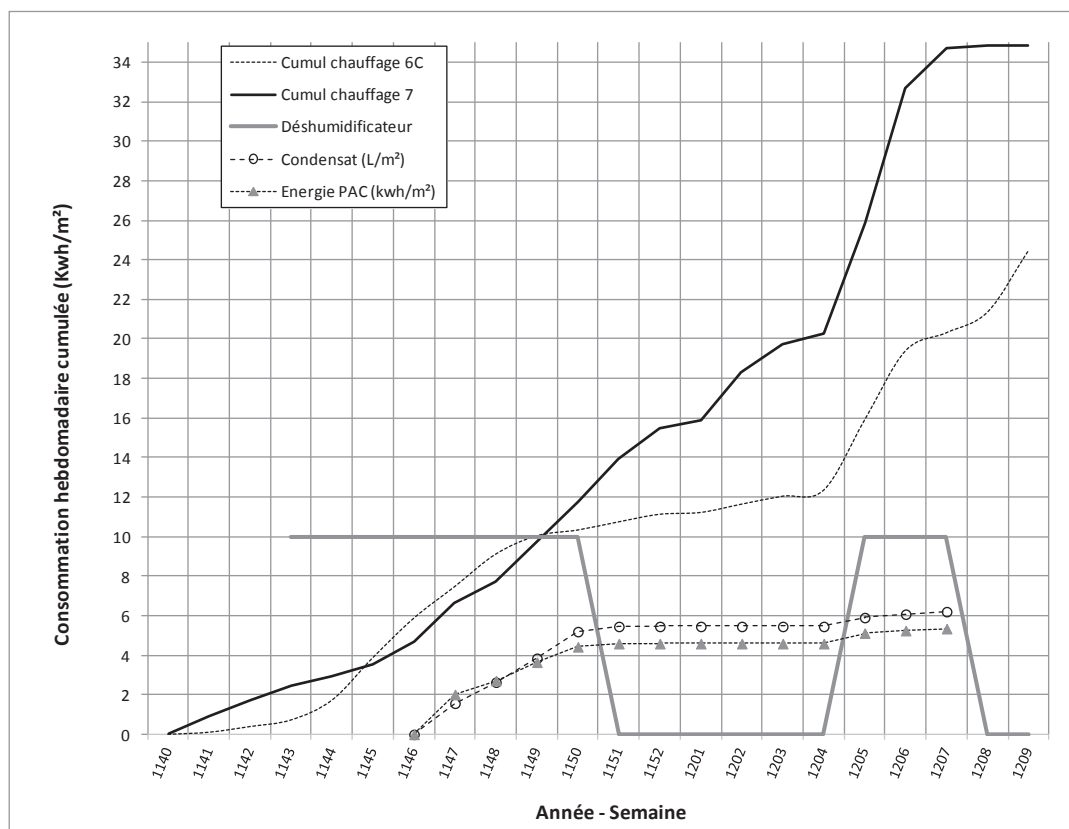
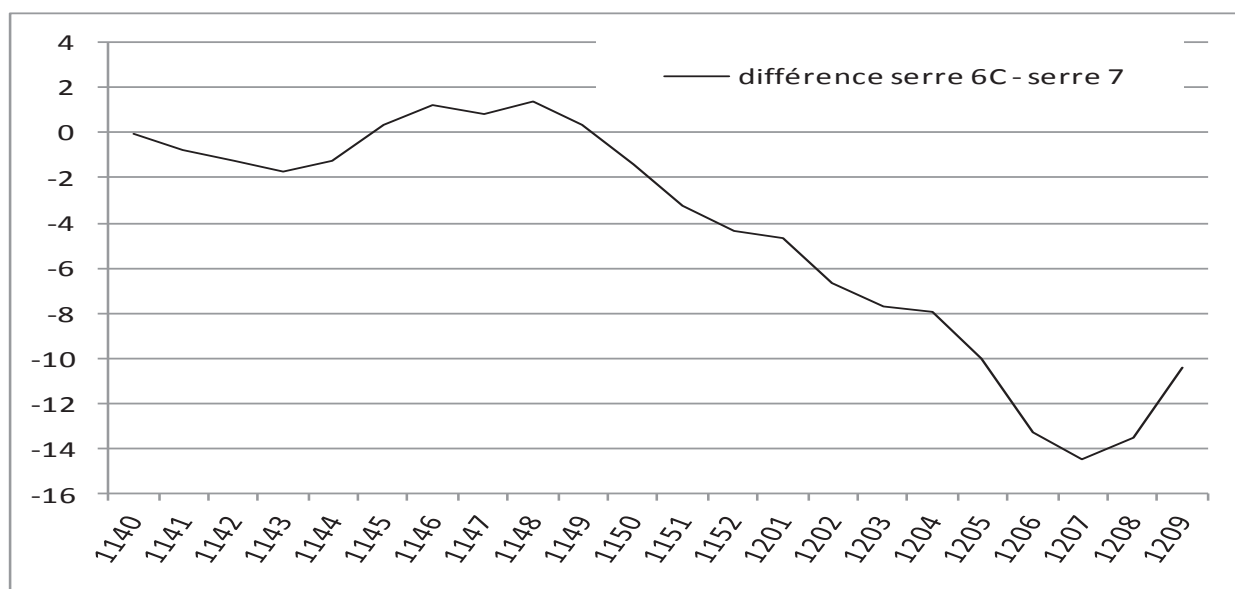


Figure 10 : Comparaison de la consommation de chauffage entre les 2 serres, énergie électrique consommées et volumes d'eau extraits. La courbe « Déshumidificateur » indique les périodes de fonctionnement de la machine (10 = Marche, 0 = Arrêt). Le temps est indiqué en Année semaine : 1146 = année 2011, semaine 46 (14 novembre).



Le résultat observé de la semaine 46 à 51 semble prometteur compte tenu de l'exposition plutôt défavorable du compartiment qui a d'ailleurs toujours été plus humide. Toutefois il faut tenir compte de 2 faits importants :

- L'automne a été particulièrement clément en 2011-2012 d'où une réduction naturelle des consommations pour le chauffage.
- D'autre part il convient d'ajouter dans notre bilan la consommation électrique à celle du chauffage. La serre 7 consomme alors plus que la serre 6C et seule la valeur de la différence nous dira si l'économie qu'apporte inévitablement l'appareil déshumidificateur permet d'amortir sur une période

[Texte]

raisonnable (5 ans) l'investissement fait.

L'objectif fixé de 50 kwh/m² pour la période paraît envisageable y compris dans la serre 7 la plus problématique (froide et humide).

Dans un tel cadre, comme observé durant la campagne précédente, le déshumidificateur ne peut pas apporter de bénéfice sur certaines périodes de la campagne :

- Celles où le chauffage est nécessaire. En période de chauffe, l'humidité est en effet moins problématique.
- Celles où la conduite économique met en jeu des températures inférieures à 10°C, ce qui impose l'arrêt de l'appareil. En effet le maintien d'une température minimum de 10°C serait plus coûteux que l'énergie économisée par le déshumidificateur.

De fait, il faut que sur les périodes de fonctionnement de l'appareil, le gain de consommation pour le chauffage soit important pour justifier l'investissement et la consommation électrique de la machine (qui reste faible).

Compte tenu des écarts observés, les données 2011 laissent a priori supposer que la marge de rentabilité est assez faible.

Un pilotage plus fin du climat avec usage de l'appareil est donc nécessaire, notamment en cherchant à valoriser au mieux la déshumidification passive (ouverture sans chauffage).



ASTREDHOR PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE ET D'ETUDES 2011 Annexes

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

Annexe 3



PROGRAMME NATIONAL



DEVELOPPEMENT D'ITINERAIRES TECHNIQUES ECONOMES EN ENERGIE PAR DIMINUTION DES TEMPERATURES DE CHAUFFAGE ET DESHUMIDIFICATION THERMODYNAMIQUE EN PRODUCTION DE FLEURS ET DE PLANTES EN POTS SOUS SERRE

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

71, rue Edouard Bourlaux

33883 Villenave d'Ornon

I.	<u>Objectifs</u>	3
II.	<u>Thème</u>	3
III.	<u>Matériel et méthodes</u>	3
A.	<u>Localisation des essais</u>	3
B.	<u>Protocole des essais</u>	3
1.	<u>Matériel végétal</u>	3
2.	<u>Itinéraire de culture</u>	4
3.	<u>Matériel technique</u>	4
4.	<u>Dispositif expérimental</u>	4
5.	<u>Etude qualitative</u>	4
6.	<u>Etude quantitative</u>	5
7.	<u>Analyse statistique</u>	5
IV.	<u>Résultats</u>	5
A.	<u>Croissance des plantes</u>	5
1.	<u>Hauteurs des plantes</u>	5
2.	<u>L'utilisation des régulateurs de croissance</u>	7
B.	<u>Dépenses énergétiques</u>	9
1.	<u>Donnees meteorologiques</u>	2
2.	<u>Mesures de temperatures dans les cultures</u>	3
3.	<u>Bilan énergétique</u>	3
V.	<u>Conclusion</u>	4



Optimiser la consommation d'énergie dans les serres de culture.

A partir d'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. 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.



Thème : Technique culturale

Sous-thème : Economie d'énergie



Localisation des essais

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

Protocole des essais

MATERIEL VEGETAL

10 variétés étudiées

Osteospermum Terracotta et Cape Daisy Rose Bicolor (Volmary)

Pelargonium hortorum Sunrise XL Leon Rouge, *peltatum* Royal Blue (Challet-Herault)

Verbena Vepita Fire Red (Plan Ornemental)

Fuchsia x hybrida Diva Rose Blue (Volmary)

Nemesia x hybrida Angelart Raspberry (Volmary)

Petunia x atkinsiana Surfinia Table Dark Red, Pegasus Table Burgundy (Volmary)

Bidens ferulifolia Port Royal (Volmary)

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

ITINÉRAIRE DE CULTURE

	POTERIE	SUBSTRAT	ENGRAIS	DATE REMPOTAGE	DATE TRANSFERT MODALITE
OSTEOSPERMUM	10,5	Pindstrup 6	Basacote 6m high K 2,5 g/L	Semaine 48 et 50	Semaine 1
PELARGONIUM	14	Kekkilä 6077	Multicote 6m high K 3 g/L	Semaine 3	Semaine 6
FUCHSIA	14	Dumona TCH3	Multicote 6m high K 2,5 g/L	Semaine 5	Semaine 8
PETUNIA	10,5				
VERBENA					
BIDENS NEMESIA					

Tableau 1 : Résumé des rempotages et des transferts en fonction des variétés

MATERIEL TECHNIQUE

Compteurs thermiques Sharky de la société SAPPEL
Logiciel Synopta d'Hortimax

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Facteur étudié : itinéraire cultural

Les modalités dépendent des consignes de chauffage et des consignes d'aération

Après 3 semaines en compartiment chauffé à 10/12°C avec une aération fixée à 22°C en journée, les modalités ont été mises en place selon le protocole suivant :



1. une culture « Sans chauffage » en tunnel plastique avec une protection d'un voile P30 au contact des plantes pour les températures négatives. L'aération est manuelle



2. une culture « Froide » en serre découvrable (Venlo Optim'air) avec un chauffage haute température (aérothermes) fixé à 5°C nuit/7°C jour, l'aération est fixée à 15°C en journée.



3. un itinéraire de culture classique en serre verre (Optima) avec chauffage basse température sous tablettes fixé à 10°C nuit/12°C jour, l'aération est fixée à 16°C en journée.

ETUDE QUALITATIVE

[Texte]

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

ETUDE QUANTITATIVE

Croissance des plantes : hauteur, couvert végétal, ramification
Données climatiques dans les compartiments, en extérieur (Températures air/eau chauffage, humidité, rayonnement)
Données compteurs thermiques

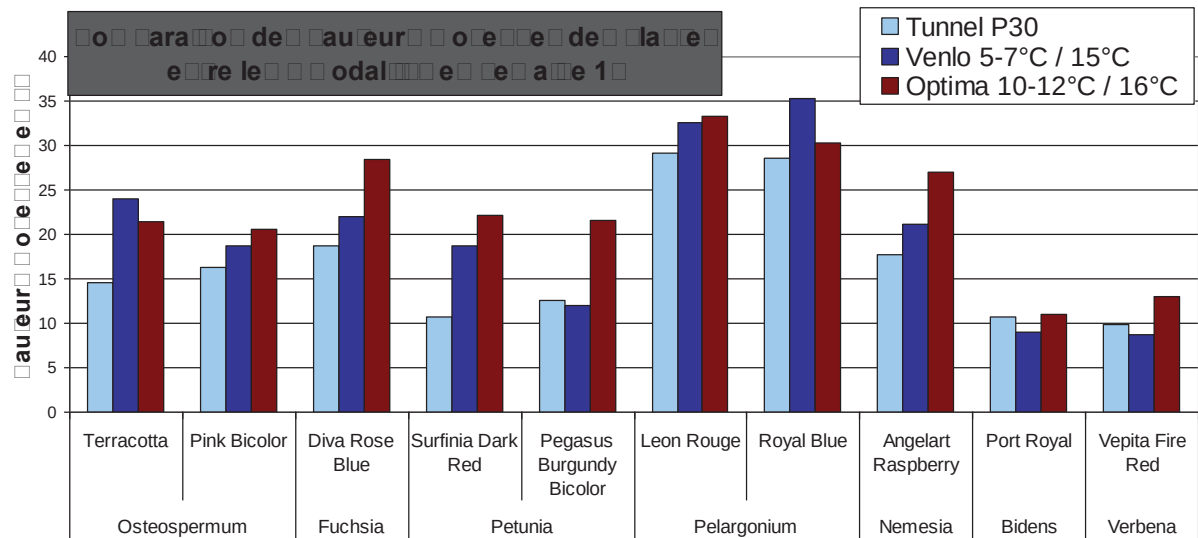
ANALYSE STATISTIQUE

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)



Croissance des plantes

HAUTEURS DES PLANTES



Osteospermum Terracotta	MODALITES	Groupe	Moyenne	Pelargonium hortorum Sunrise XL Leon Rouge		Groupe	Moyenne
	Tunnel	A	14,53		Tunnel	A	29,13
	Serre Chaude	B	21,40		Serre Froide	B	32,53
	Serre Froide	c	23,93		Serre Chaude	B	33,33
Osteospermum Cape Daisy Rose Bicolor	MODALITES	Groupe	Moyenne	Pelargonium peltatum Royal Blue		Groupe	Moyenne
	Tunnel	A	16,33		Tunnel	A	28,60
	Serre Froide	AB	18,73		Serre Chaude	A	30,33
	Serre Chaude	B	20,53		Serre Froide	B	35,27
Fuchsia x hybrida Diva Rose Blue		Groupe	Moyenne	Nemesia x hybrida Angelart Raspberry		Groupe	Moyenne
	Tunnel	A	18,67		Tunnel	A	17,73
	Serre Froide	B	21,93		Serre Froide	B	21,13
	Serre Chaude	C	28,40		Serre Chaude	C	27,00
Petunia x atkinsiana Surfinia Table Dark Red		Groupe	Moyenne	Bidens ferulifolia Port Royal		Groupe	Moyenne
	Tunnel	A	10,73		Serre Froide	A	8,93
	Serre Froide	B	18,67		Tunnel	B	10,67
	Serre Chaude	C	22,20		Serre Chaude	B	10,93
Petunia x atkinsiana Pegasus Table Burgundy		Groupe	Moyenne	Verbena Vepita Fire Red		Groupe	Moyenne
	Serre Froide	A	12,00		Serre Froide	A	8,67
	Tunnel	A	12,60		Tunnel	A	9,80
	Serre Chaude	B	21,60		Serre Chaude	B	13,07

Figures 1 et 2 : Comparaison des hauteurs moyennes des variétés de plantes testées dans les 3 modalités (semaine 15) et analyses statistiques correspondantes

Pour toutes les variétés, les hauteurs de plantes sont plus faibles dans le tunnel (barres bleu clair) en comparaison avec la serre témoin (barres rouge). A deux exceptions près (*Pelargonium* Royal Blue et *Bidens*), les analyses de variance confirment ces différences par des groupes statistiques distincts (A et B ou A et C). Compte tenu d'une croissance trop rapide en serre chaude, le *Pelargonium* Royal Blue a été taillé dans cette modalité ce qui explique la hauteur finale proche de celle mesurée dans le tunnel. Concernant la variété de *Bidens*, les températures de culture plus importantes en serre chauffée n'ont pas d'action significative sur sa croissance. Etant donné les effets observés du froid sur le développement des plantes, les résultats attendus sur cet essai correspondent à un gradient de hauteurs croissant du tunnel à la serre chauffée. Néanmoins, en fonction des variétés testées, les moyennes trouvées en serre découvrable ne sont pas toujours intermédiaires. C'est le cas de l'*Osteospermum* Terracotta présentant une hauteur plus importante en serre découvrable par rapport au témoin ou encore du *Petunia* Burgundy Bicolor et de la verveine qui sont plus compacts en serre découvrable par rapport au tunnel.

Pour les deux dernières variétés, la différence s'explique non plus par les températures minimales de nuit mais par l'aération mieux maîtrisée dans la serre Venlo Optim'air en journée.

Les résultats les plus cohérents obtenus sur le *Fuchsia*, le *Pelargonium* Leon Rouge, le *Surfinia* Dark Red et le *Nemesia* donnent des hauteurs croissantes modalité tunnel à la modalité serre noter que des colorations de apparaissent sur certaines plantes tunnel comme le rougissement sur *Nemesia* (figure 3)



Figure 3 : Effet du froid sur feuilles de *Nemesia*

(Modalité tunnel à gauche, serre verre à droite)

sont
sont
Petunia
qui
de la
verre. A
feuillage
dans le
les

les

L'UTILISATION DES REGULATEURS DE CROISSANCE

Les hauteurs finales mesurées précédemment sont obtenues après plusieurs applications aux régulateurs de croissance qui diffèrent en fonction des modalités et des variétés. La synthèse des traitements est reprise dans le tableau 2, page suivante. Pour certains genres comme les *Petunia* ou les *Nemesia*, les nombres d'applications sont quasiment identiques entre les 3 modalités, seuls les lots cultivés sans chauffage ont permis d'économiser un passage sur les 5 effectués sous serre. Pour les *Osteospermum* et les *Verbena*, les plantes en serre chauffée ont reçu entre 2 et 4 traitements supplémentaires par rapport aux modalités froides.

L'interprétation des résultats obtenus sur les croissances des 10 variétés permet de déterminer des catégories de plantes en fonction de leur sensibilité aux basses températures.

Tout d'abord, nous trouvons les plantes sensibles au froid dans lesquelles peuvent se positionner les *Fuchsia*, les *Pelargonium* et les *Osteospermum*. Il s'agit de plantes dont la croissance est fortement réduite par le froid. L'utilisation de régulateurs n'est pas obligatoire si les basses températures sont bien maîtrisées, les produits commercialisables étant tout de même plus compacts que les témoins. Ensuite, nous avons les plantes moyennement sensibles telles que les *Bidens*, les *Verbena* et les *Nemesia* donnant un aspect final proche des témoins avec moins d'applications de régulateurs en cours de culture. Enfin, nous trouvons les plantes peu sensibles au froid comme les *Petunia* qui maintiennent une croissance soutenue malgré les basses températures. Ce sont surtout des plantes très réactives aux augmentations de températures en journée. Des différences avec le témoin sont visibles en fin de culture à condition d'appliquer le même nombre et la même fréquence de régulateurs de croissance.

Variétés		□1	□□	□□	□□	□□	□1□	□11	□1□	□1□
Osteospermum Terracotta	Tunnel	□				□				
	Serre Froide	□				□				
	Serre chaude	□				□				
Osteospermum Cape Daisy Rose Bicolor	Tunnel	□				□				
	Serre Froide	□				□				
	Serre chaude	□				□				
Pelargonium hortorum Sunrise XL Leon Rouge	Tunnel			□						
	Serre Froide			□						
	Serre chaude			□						
Pelargonium peltatum Royal Blue	Tunnel			□						
	Serre Froide			□						
	Serre chaude			□		□				
Verbena Vepita Fire Red	Tunnel				□					
	Serre Froide				□					
	Serre chaude				□		x□			
Fuchsia x hybrida Diva Rose Blue	Tunnel				□					
	Serre Froide				□					
	Serre chaude				□					
Nemesia x hybrida Angelart Raspberry	Tunnel				□					
	Serre Froide				□		x□			
	Serre chaude				□		x□			
Petunia x atkinsiana Surfinia Table Dark Red	Tunnel				□					
	Serre Froide				□					
	Serre chaude				□					
Petunia x atkinsiana Pegasus Table Burgundy	Tunnel				□					
	Serre Froide				□		x□			
	Serre chaude				□		x□			
Bidens ferulifolia Port Royal	Tunnel				□					
	Serre Froide				□					
	Serre chaude				□					
□ = Départ Essai		□ = Taille		□lar □□□		□□□ 1□□				

Tableau 2 : Récapitulatif des applications de régulateurs de croissance sur les 3 modalités
X2 correspond à deux applications dans la semaine

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 *Petunia*, des *Nemesia*, de la *Verbena* et du *Bidens*. En revanche, les *Osteospermum* induisent une floraison plus précoce et de meilleure qualité avec le froid du tunnel et l'aération de la serre Venlo. De même, le nombre de fleurs est plus important pour les *Pelargonium* cultivés à basse température.

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 Surfinia Table Dark Red S15



Bidens Port Royal S15



Verbena Vepita Fire S15



Fuchsia Diva Rose Blue S18



Nemesia Angelart Raspberry S15

Figures 4 à 13 : Comparaison 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 *Petunia*, les *Verbena* et les *Bidens*. Enfin, le *Pelargonium* zonale ou le *Fuchsia* illustrent 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. Concernant le *Pelargonium* lierre, la modalité en serre chauffée a été taillée en cours de culture compte tenu d'une vigueur trop importante, ce qui explique le décalage de croissance sur la photo.

Dépenses énergétiques

DONNEES METEOROLOGIQUES

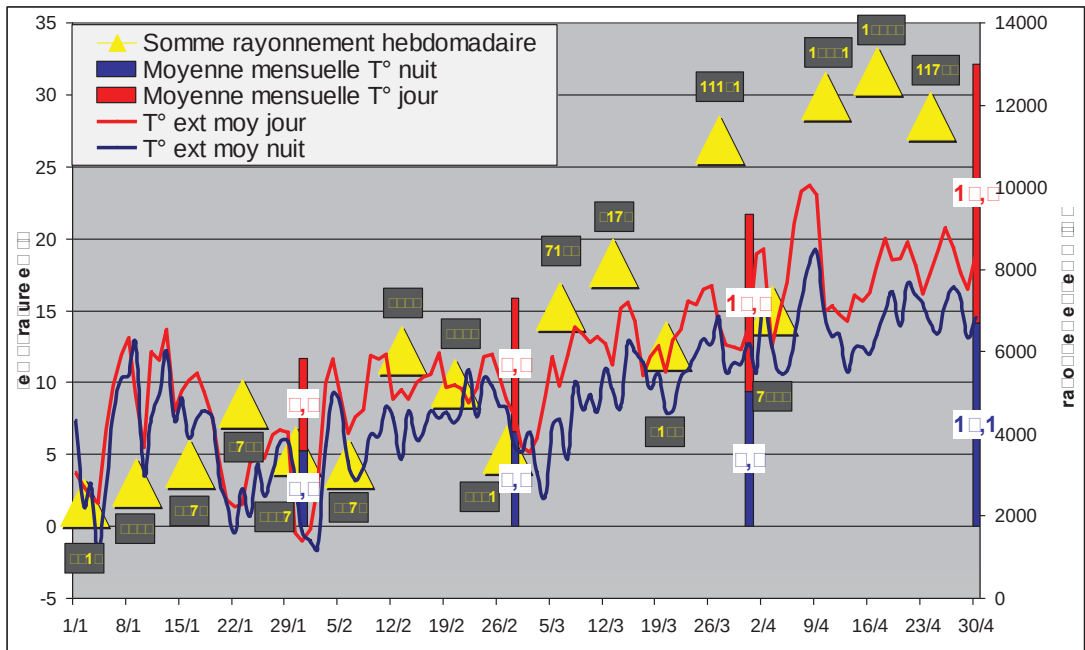


Figure 14 : Températures moyennes extérieures de nuit et de jour, et rayonnement solaire sur la période de l'essai.

Le début d'année 2011 est particulièrement chaud par rapport à 2010. D'après le tableau 3, de janvier à avril, les températures moyennes mensuelles de jour comme de nuit atteignent 2°C de plus en 2011. Autant de différences de températures sur 4 mois consécutifs entraînent d'importantes diminutions de besoins en chauffage sur cette période. Par ailleurs, la figure 14 indique seulement 5 nuits où la température moyenne est restée négative (début janvier et début février) et seulement 2 journées sur tout l'hiver. Excepté la période du 22 janvier au 2 février, les températures minimales passent rarement en dessous de 5°C qui est la consigne basse de la modalité « Serre Froide ». En ce qui concerne le rayonnement, les valeurs hebdomadaires représentées par les triangles jaunes donnent un aperçu de l'ensoleillement et du couvert nuageux sur les semaines de culture. Ainsi la 4^{ème} semaine de janvier est particulièrement ensoleillée tandis que les semaines de début et de fin février sont très nuageuses. C'est le même constat pour la 3^{ème} semaine de mars et la 1^{ère} semaine d'avril. Parallèlement, le contraste de rayonnement entre janvier/février et mars/avril est très important. Le cumul sur mars représente la somme de janvier et de février et le cumul sur avril est trois fois plus important que le cumul sur janvier. L'analyse de l'ensoleillement explique la maîtrise difficile des températures de journée dans une serre verre classique.

		décembre	janvier	février	mars	avril
2009/2010 □	Jour	7,7	4,3	6,7	10,5	15,1
	Nuit	6	3	4,7	6,8	11,6
	Jour-Nuit	1,7	0,7	2	3,7	3,5
2010/2011 B	Jour	5,4	6,4	9,2	12,3	18
	Nuit	3,8	5	6,8	9,6	14,3
	Jour-Nuit	1,6	1,4	2,4	2,7	3,7
B □ □	Jour	□□,□	□□,1	□□,□	□1,□	□□,□
B □ □	Nuit	□□,□	□□	□□,1	□□,□	□□,7

Tableau 3 : Comparaison des températures moyennes mensuelles entre 2010 et 2011

MESURES DE TEMPERATURES DANS LES CULTURES

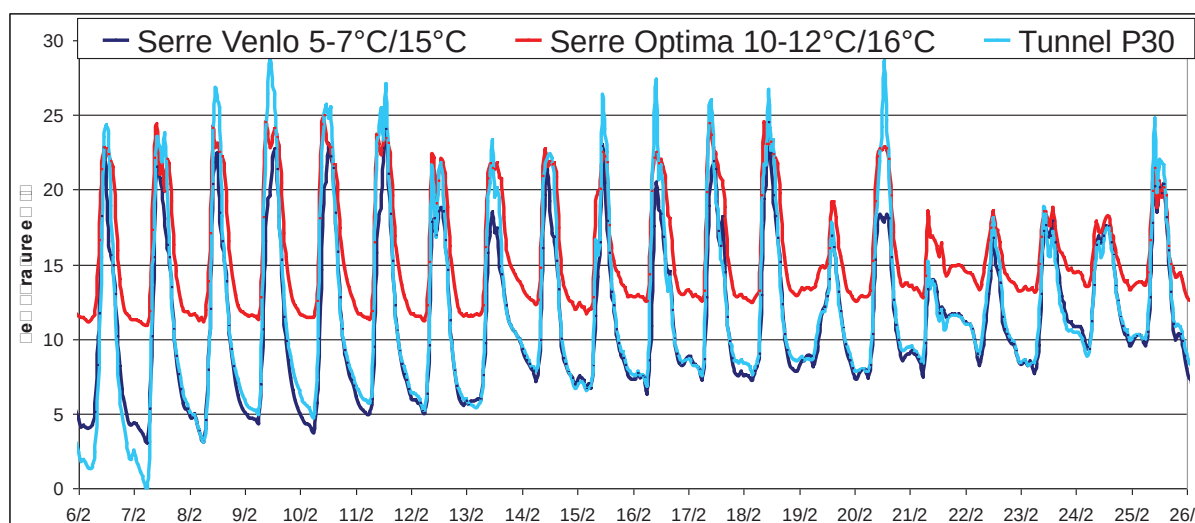


Figure 15 : Suivi des températures de l'air au sein des cultures sur le mois de février.

Sur la période présentée (février), les courbes de températures sont proches entre les modalités Tunnel et Serre Venlo (courbes bleu clair et bleu foncé). Les minima sont quasiment superposés excepté en début de mois où le P30 dans le tunnel maintient tout juste 0°C. En revanche, les températures en journée dans le tunnel sont régulièrement au-dessus de celles mesurées dans les autres modalités. L'écart peut aller jusqu'à 10°C entre le tunnel et la serre découvrable à cause de l'aération manuelle et de l'élévation de température dans le tunnel. Dans la modalité « Serre verre », excepté pour la dernière semaine de février très nuageuse (figure 14), les températures de journée sont toujours au-dessus de 20°C, l'aération de cette structure ne permet pas de maintenir 16°C avec un bon ensoleillement. La meilleure maîtrise de températures en journée est observée en serre découvrable grâce aux aérations latérales et aux ouvrants inversés.

BILAN ENERGETIQUE

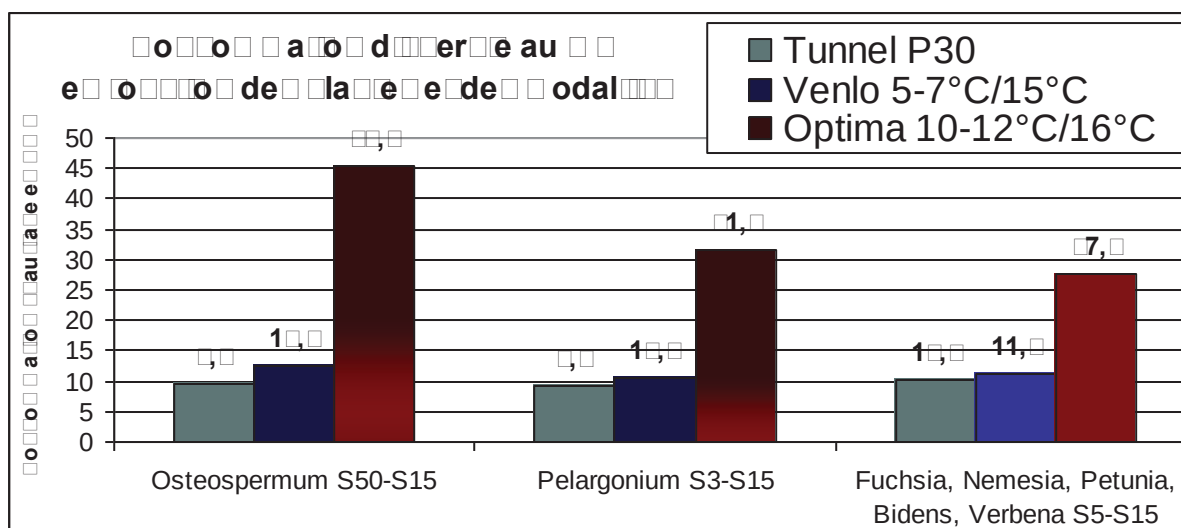


Figure 16 : Consommation du chauffage pour les 3 modalités de janvier à avril 2011

Selon 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

[Texte]

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 demandé environ 10 KWh au m² soit 0,14 KWh par plante (densité de 70 plantes au m² pendant la phase d'enracinement). En bleu foncé, nous avons la consommation pour la serre Venlo Optim'air. Compte tenu des conditions climatiques de cette année, 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 0,03 KWh par plante jusqu'à la vente ce qui est très faible. Enfin, notre modalité témoin en serre Optima est la plus consommatrice en énergie. Maintenir 10 °C la nuit et 12°C le jour en période hivernale coûte 0,63 KWh par plante en plus de la phase d'enracinement pour une réception de plante en semaine 5. Cette modalité a consommé environ 44 L de gaz par plante cultivée, soit 3 centimes d'euro hors taxe par plante.

□ o □ □ lu □ □ o □

En résumé, les résultats de 2011 mettent 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'absence de 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.



Association Inter Régionale d'Expérimentation Horticole

01 71 22 22 22, 01 71 22 22 22
 01 71 22 22 22 01 71 22 22 22
arexhor.org arexhor.org
 01 71 22 22 22 - 01 71 22 22

Développement d'itinéraire techniques économes en énergie par
développement de techniques économes en énergie par
techniques économes en énergie par
techniques économes en énergie par

Responsable de l'essai : M.A. JOUSSEMET
Année d'expérimentation : 2011

1. Objectifs de l'essai

1.1. Objectifs de l'essai

1.1. Objectifs de l'essai

1.1.1. Objectifs de l'essai

1.1.2. Objectifs de l'essai

1.1.3. Objectifs de l'essai

1.1.4. Objectifs de l'essai

2. Conditions de l'essai

2.1. Structure d'accueil et lieu

2.2. Typologie de la parcelle d'essai

2.3. Matériel végétal

2.4. Dates de l'expérimentation

2.5. Objectifs de l'essai

2.6. Objectifs de l'essai

2.7. Description

2.8. Variables mesurées

2.9. Planning des notations

2.10. Objectifs de l'essai

2.11. Objectifs de l'essai

2.12. Objectifs de l'essai

2.13. Objectifs de l'essai

2.14. Cas du Bidens ferulifolia exp Solaire© semi double compact

2.15. Cas du Fuchsia erigee Koralle

2.16. Cas du Nemesia Sunsatia Plus retombant Pomelo P

2.17. Cas du Osteospermum ecklonis exp Jamboana light bronze

2.18. Cas du Osteospermum ecklonis exp Tradewinds yellow with

blue eye

2.19. Cas du Pelargonium peltatum Temprano Maxime 'Fismaxi'

2.20. Cas du Pelargonium Survivor Fuchsia

2.21. Cas du Pelargonium zonale exp Tango® velvet red

2.22. Cas du Petunia hyb exp Sanguna double violet vein

2.23. Cas du Petunia hyb exp Whipers rose

star

2.24. Cas du Verbena hyb exp lanai peach improved

2.25. Objectifs de l'essai

2.26. Objectifs de l'essai

2.27. Objectifs de l'essai

2.28. La consommation de fioul

2.29. La consommation de fioul relatif à l'essai

2.30. Calcul du ratio chauffage / chiffre d'affaire

2.31. Objectifs de l'essai

1 □ Objectif de l'essai

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°C afin d'en mesurer les conséquences agronomiques sur les végétaux mais également l'impact sur le poste chauffage.

□□ □o□□a□□□a□□e□ □ur le □ue□

Bilan 2007:

- La réduction des températures de consigne de quatre degrés (8°C au lieu de 12°C) sur Antirrhinum, Argyranthemum, Bidens, Dianthus, Diasca, Gazania, Nemesia, Osteospermum, Pelargonium, Petunia, Verbena :

- n'a pas eu d'incidence négative sur le développement des taxons,
- selon les taxons, on note un retard de floraison de 1 à 2 semaines

a permis une économie de 40% de l'énergie nécessaire à la culture. Cette économie est indépendante de la date de repotage. En effet quelle que soit la date de repotage (semaine 2, semaine 3, semaine 7 ou même semaine 9) le passage d'une température de consigne de 12°C (sonde à proximité des plantes et chauffage en priorité en basses températures localisées) à une température de consigne de 8°C permet toujours le même niveau d'économie.

- L'adaptation des plannings de culture du Pelargonium (date de repotage et température de culture) permet également une économie d'énergie de l'ordre de 30% par rapport à un schéma "classique". Un jeune plant de Pelargonium repoté en semaine 3 cultivé 3 semaines à 12°C puis passé à 8°C est plus économe à produire que cette même bouture racinée démarrée en semaine 9 et cultivée à une température constante de 12°C.

Bilan 2008 :

Pour le Pelargonium, l'Argyranthemum ou le Calibrachoa, après 3 semaines à 12°C, et des passages progressifs à des températures de plus en plus basses, il est possible de terminer la culture sous tunnel maintenu à 1°C toujours sans incidence sur la qualité des plantes, avec un retard de floraison de 2 semaines (par rapport à une culture maintenue à 12°C) et une économie d'énergie de 55%. Ce passage à des températures de plus en plus basses (8°C, puis 5°C pour terminer à 1°C) doit être accéléré pour répondre aux exigences économiques des exploitations.

Bilan 2009/2010:

Après une phase d'enracinement de trois semaines à une température de consigne de 12°, il n'est pas nécessaire de baisser progressivement les températures de consigne pour atteindre en final une consigne de 1°C. Cet abaissement peut se faire brutalement sans conséquence agronomique sur les végétaux (gamme de printemps: Pelargonium, Verbena, Nemesia, Petunia). Dans ce cas, l'économie d'énergie atteint 20% supplémentaire par rapport à un abaissement progressif

Pour une culture démarrée 3 semaines à 12°C puis passée à 8°C, la consommation des 3

premières semaines représentent près des 3/4 de la consommation globale. Ainsi comment accélérer cette phase d'enracinement et la réduire à 2 semaines. Le trempage des jeunes plants dans une solution d'Osyryl n'a pas permis d'accélérer l'émission des racines et de réduire la phase d'enracinement. A des températures de l'ordre de 12°C, l'incorporation de Glomus n'a pas été jugée pertinente (température trop basse, cycle de production trop court).

□□ **areare** □□

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

□□□ □□**E**□**E**□□ **E**□ □**E**□□□□**E**□

1□□a□eur□ □□ud□□□e□□ odal□□□□e□□□e□

1 facteur, la température avec 3 modalités

- 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 gel.

2. Conditions de l'essai

2.1 Structure d'accueil et lieu

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

Opérateurs : Mme Marie Anne Joussemet et M. Pierre Müller

2.2 Typologie de la parcelle d'essai

Cet essai s'est déroulé sous deux abris :

- Une serre verre orientée Nord-Sud, comprenant



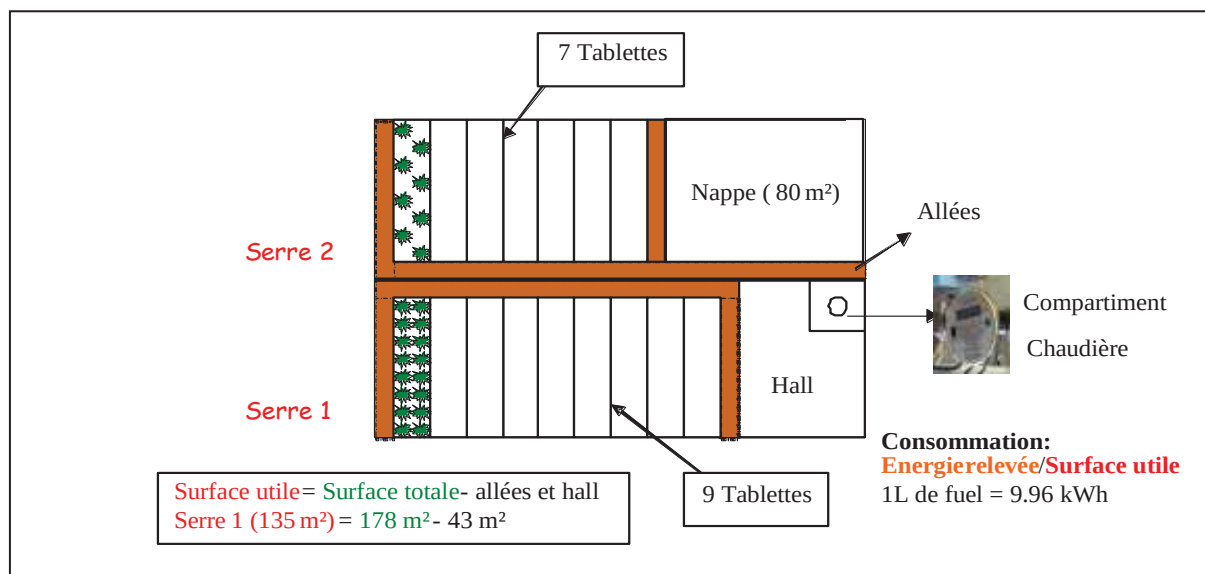
Un compartiment dit serre froide d'une surface totale de 250 m² disposant de 7 tablettes de 15 m² chacune où les plantes sont arrosées par un système de sub-irrigation. Ce compartiment dispose aussi d'une nappe au sol dont la

surface est de 80 m². La surface total utile du compartiment serre froide est donc de 185 m². Le chauffage se fait par un circuit basse température sous les tablettes aidées par

[Texte]

deux aérothermes. L'aération se fait par le toit qui est en double faîtage. C'est dans ce compartiment que la température est de 7°C jour et 5°C nuit.

Un compartiment dit serre chaude d'une surface totale de 178 m² disposant de 9 tablettes de 15 m² chacune où les plantes sont arrosées par un système de sub-irrigation. Ce compartiment dispose donc d'une surface utile de 135 m². Le chauffage se fait par circuit basse température sous les tablettes et un système de thermosiphon en ceinture et en toiture. L'aération se fait par le toit qui est en simple faîtage. C'est dans ce compartiment que la température sera maintenue à 12°C jour et 10°C nuit.



La consommation énergétique est enregistrée pour chaque serre par deux compteurs à calories, un sur chaque système de chauffage.

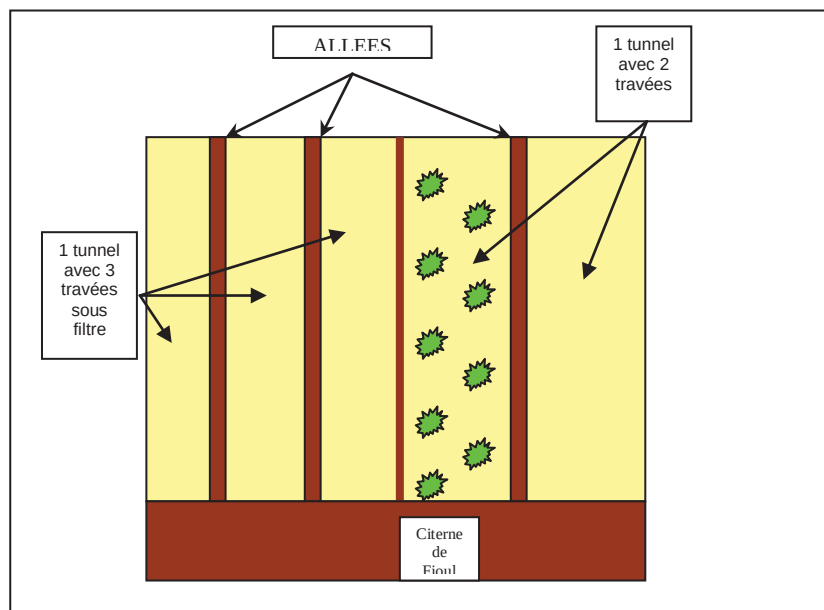
- Un bitunnel :



Un tunnel plastique de 500m², 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.

La consommation énergétique est enregistrée pour chaque serre par deux compteurs à calories, un sur chaque système de chauffage.

Essai mené sous serre verre orientée Nord - Sud, sur des végétaux en pot cultivés sur tablettes sub irrigantes.



2.3 Matériel végétal

□○□□□□	□axo□	□○□e□a□□
S&G	<i>Bidens ferulifolia exp Solaire© semi double compact</i>	Pot 10.5
Plan Ornemental	<i>Fuchsia erigee Koralle</i>	Pot 10.5
Plan Ornemental	<i>Nemesia sunsatia plus retombant Pomelo P</i>	Pot 10.5
S&G	<i>Osteospermum ecklonis exp Jamboana light bronze</i>	Pot 10.5
S&G	<i>Osteospermum ecklonis exp Tradewinds yellow with blue eye</i>	Pot 10.5
S&G	<i>Pelargonium peltatum Temprano Maxime 'Fismaxi'</i>	Pot 13
DUMMEN	<i>Pelargonium zonale Survivor Fuchsia</i>	Pot 13
S&G	<i>Pelargonium zonale exp Tango® velvet red</i>	Pot 13
S&G	<i>Petunia hyb exp Sanguna double violet vein</i>	Pot 10.5
S&G	<i>Petunia hyb exp Whipers rose star</i>	Pot 10.5
S&G	<i>Verbena hyb exp lanai peach improved</i>	Pot 10.5

Substrat de culture : substrat BP3 réf. 559 de la société Kasmann composé de ¼ de tourbe sphaigne blonde, 1/4 de tourbe sphaigne noire gelée, ¼ de fibre de tourbe et ¼ de fibre de bois.

Fertilisation engrais à libération lente Osmocote 5/6 mois 11.11.18 à la dose de 2.5kg/m³ pour les pots 10.5 et 3kg/ m³ pour les pots de 13, incorporé au substrat lors du repotage + trempage des jeunes plants dans une solution fertilisante – conductivité 1 mS (Soluplant 18.06.26)

2.1 Dates de l'expérimentation

- Début de l'essai : A la date de repotage, soit le 09 février 2011
- Fin de l'essai : À la date de la dernière mesure des taxons, soit le 04 mai 2011

3. Conduite et déroulement de l'essai

Interventions culturales

Chaque taxon a été repoté en semaine 06, et placé pendant trois semaines en serre chaude pour la phase d'enracinement.

Lors du repotage les jeunes plants ont été trempés dans une solution fertilisante Soluplant (18.06.26).

Suite à cette phase d'enracinement, les plantes ont été séparées en trois lots distincts, représentants les trois modalités étudiées.

Selon le cultivar et leur développement, les végétaux ont subi différent traitement (distançage, pincement, mise en place de Peltaclip)

Aucun régulateur de croissance n'a été utilisé.

Traitement cultural, selon les taxons :

Légende

- : Distançage
- : Pincement
- : Peltaclip

□a□□

- Bidens ferulifolia exp Solaire© semi double compact
- Osteospermum ecklonis exp Jamboana light bronze
- Osteospermum ecklonis exp Tradewinds yellow with blue eye
- Verbena hyb exp lanai peach improved

Semaine	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
M1	Serre chaude touche touche				D			D				
M2					D			D				
M3					D				D			

□a□□

- Fuchsia erigee Koralle
- Pelargonium Survivor Fuchsia
- Pelargonium M zonale exp Tango® velvet red

Semaine	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
M1	Serre chaude touche touche				D P		P	D				
M2					D P			P D				
M3					D P				D			

□a□□

- Nemesia sunsatia plus retombant Pomelo P
- Pelargonium peltatum Temprano Maxime 'Fismaxi'
- Petunia hyb exp Sanguna double violet vein
- Petunia hyb exp Whipers rose star

Semaine	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
M1	Serre chaude touche touche				D		P		D PC			
M2					D		P		D PC			
M3					D			P	D	D PC		

[Texte]

4.1 Description

90 plantes par itinéraire technique et par variété ou cultivar

4.2 Variables mesurées

Sur plante:

- Développement (sans destruction de la plante) : hauteur et diamètre des plantes
- Suivi de la floraison: précocité de floraison (relevé de la date de 50% du lot fleuri)
- Suivi des ravageurs et des maladies

Sur les températures/climat :

- Enregistrement de l'énergie par des compteurs à calories
- Enregistrement de données climatiques (intérieures et extérieures)

Approche économique :

- Consommation d'énergie (mesure avec des compteurs à calories)
- Coût du poste chauffage
- Calcul du ratio: coût chauffage/chiffre d'affaires

4.3 Planning des notations

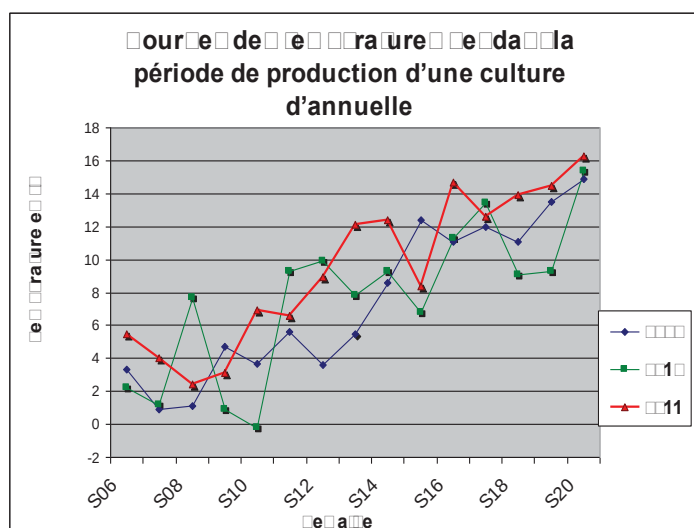
Selon le stade de commercialisation

axo	a e
Bidens ferulifolia exp Solaire© semi double compact	11.04.2011
Fuchsia erigee Koralle	02.05.2011
Nemesia sunsatia plus retombant Pomelo P	11.04.2011
Osteospermum ecklonis exp Jamboana light bronze	26.04.2011
Osteospermum ecklonis exp Tradewinds yellow with blue eye	20.04.2011
Pelargonium peltatum Temprano Maxime 'Fismaxi'	28.04.2011
Pelargonium Survivor Fuchsia	28.04.2011
Pelargonium zonale exp Tango® velvet red	20.04.2011
Petunia hyb exp Sanguna double violet vein	11.04.2011
Petunia hyb exp Whipers rose star	11.04.2011
Verbena hyb exp lanai peach improved	02.05.2011

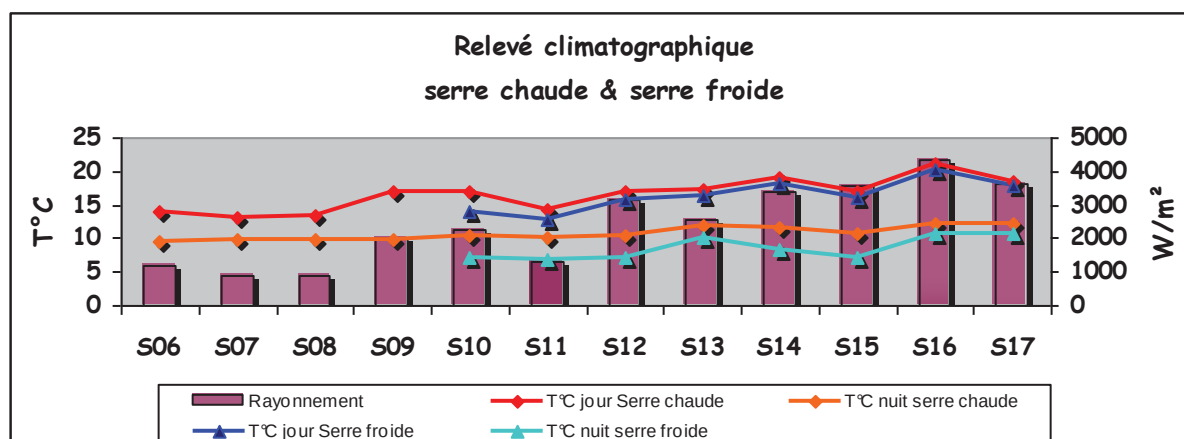
E E

1 e o ex e l a ue

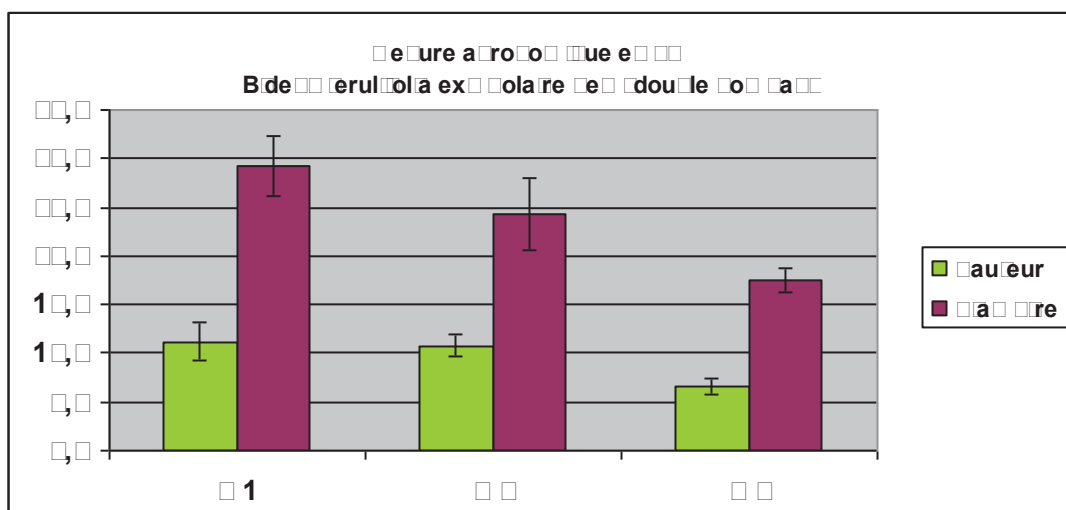
	Température moyenne			Rayonnement en W/m ²		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Semaine 06	3,3	2,2	5,5	695	1178	1199
Semaine 07	0,9	1,2	4	1038	1137	804
Semaine 08	1,1	7,7	2,4	888	1078	964
Semaine 09	4,7	0,9	3,1	1384	2100	2293
Semaine 10	3,7	-0,2	6,9	987	1938	1990
Semaine 11	5,6	9,3	6,6	1500	2120	1630
Semaine 12	3,6	9,9	8,9	3000	2190	3019
Semaine 13	5,5	7,8	12,1	1338	2174	2561
Semaine 14	8,6	9,3	12,4	3198	3077	3646
Semaine 15	12,4	6,8	8,4	3381	2964	3666
Semaine 16	11,1	11,3	14,7	2608	4439	4164
Semaine 17	12	13,4	12,6	3735	3349	3516
			total	77	77	



Nous observons qu'il y a deux périodes. Une plus froide qui va de la semaine 06 à la semaine 09. Pendant ces trois semaines, les plantes sont en phase d'enracinement, dans la serre chaude. On constate que l'année 2011 a bénéficié de températures plus élevées, lors de ces trois semaines. D'une manière générale, le rayonnement a été plus important en 2011.



2.1 Cas du *Bidens ferulifolia* exp Solaire© semi double compact



11.04.2011	1	2	3
Solaire (Moyenne)	11,2	10,8	6,6
Solaire (Moyenne)	29,2	24,3	17,4
Floraison (%)	100%	65%	35%

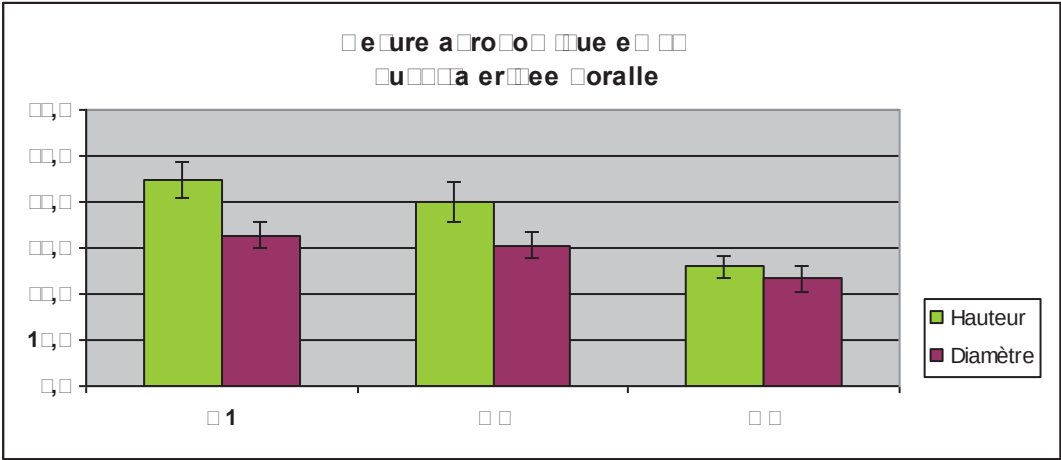
Le 11 avril 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les *Bidens* ont un port plus compact alors que les deux autres modalités sont similaires.

Dans la Modalité 3, les plantes sont moins fleuries (35% du lot fleuri), avec une moyenne de 1.5 fleurs, tandis que la modalité 1 a 100% du lot fleuri et 2.5 fleurs par plantes. Le décalage de floraison est de 4 jours.



2.2 Cas du *Fuchsia erigee* Koralle



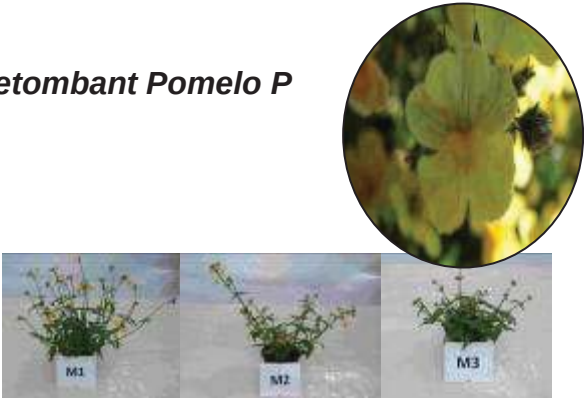


11.04.2011	1	2	3
Hauteur	44,9	40,1	26,0
Diamètre	32,7	30,6	23,3
Floraison	0%	0%	0%

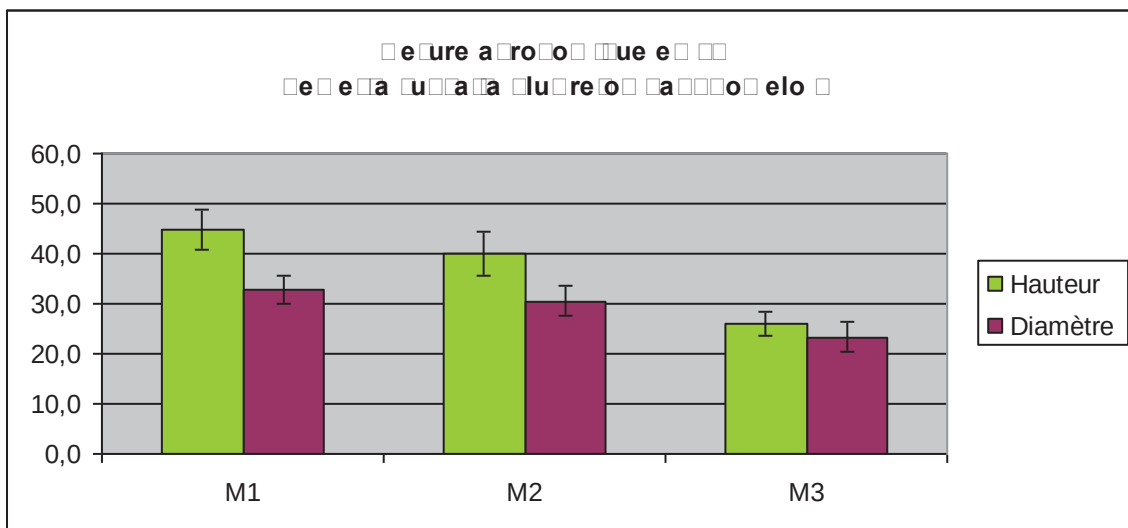
Le 04 mai 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Fuchsia sont plus petits et ont des entre-nœuds plus courts. Le port de la modalité est plus trapu et ce malgré, un pincement réalisé en semaine 12, pour la modalité 1 et en semaine 13 pour la modalité 2.

Quelle que soit la modalité, aucune plante n'a été fleurie lors de l'essai. (Floraison constatée mi-juin)

2.3 Cas du *Nemesia Sunsatia Plus retombant Pomelo P*



11.04.2011	1	2	3
Hauteur	24,5	20,5	16,1
Diamètre	26,8	27,9	18,5
Floraison	100%	85%	55%



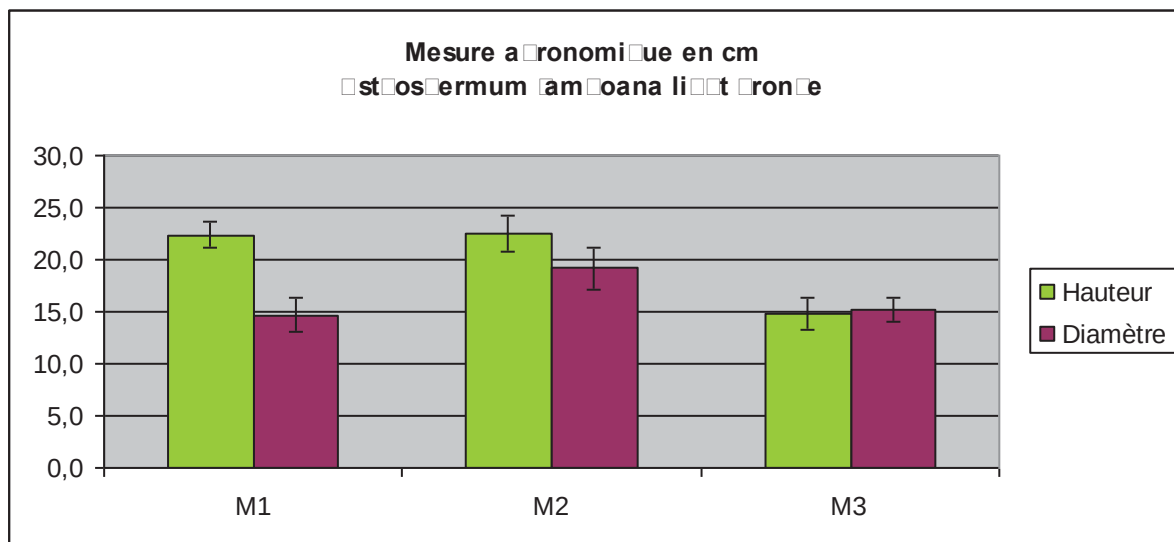
Le 11 avril 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les *Nemesia* ont un port plus compact et aussi fourni que la 1^{ère} modalité. Dans la modalité 2, les plantes sont plus développées. Dans la modalité 3, le feuillage a rougi et le port est resté peu développé. Ces plantes non pas eu une qualité suffisante, pour être commercialisées.

Le lot de la modalité 3 est moins fleuri (55% du lot fleuri), avec une moyenne de 6 fleurs, tandis que la modalité 1 compte une moyenne de 26 fleurs, par plantes. Le décalage de floraison est de 6 jours.

2.4 Cas de l'*Osteospermum ecklonis* exp Jamboana light bronze



26.04.2011	M1	M2	M3
Hauteur	22,4	22,5	14,8
Diamètre en cm	14,7	19,2	15,2
Floraison en %	100%	70%	5%

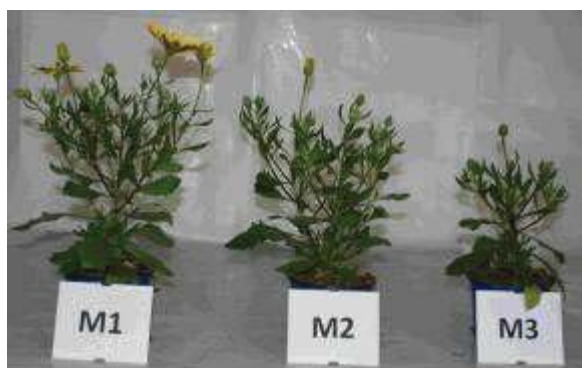


Le 26 avril 2011 : Les lots sont homogènes. On obtient un développement similaire entre les plantes de la modalité 1 et celles de la modalité 2, mais des plantes moins fleuries.

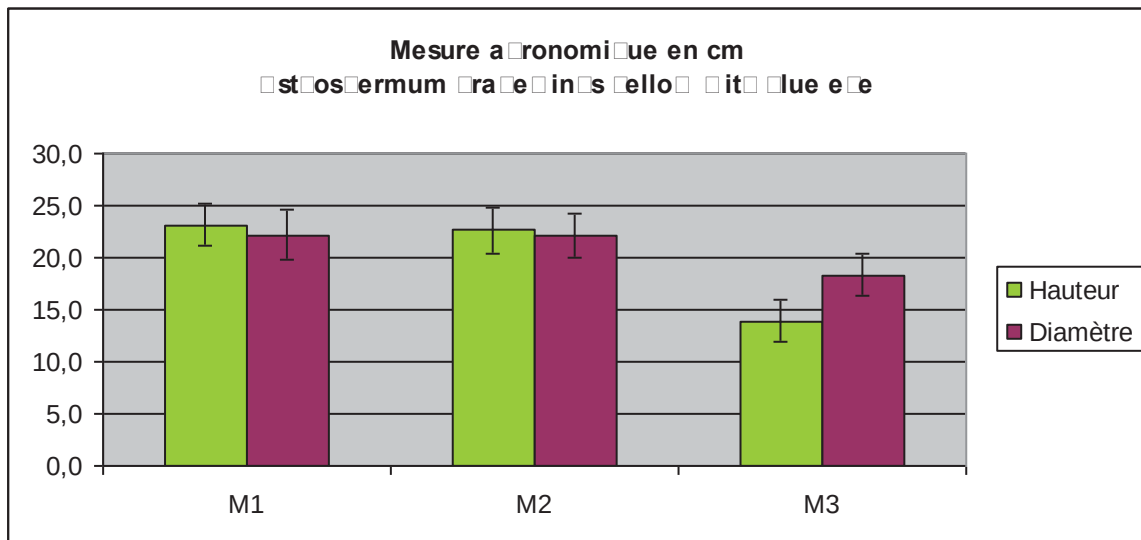
Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les ostéopermums ont un port plus compact. Cette modalité est très peu fleurie.

La modalité 1 offre 4.2 fleurs en moyenne par plante. Tandis que la modalité 2 a 0.7 fleur, par plante. Le décalage de floraison entre la première et la troisième modalité est de 7 jours (soit l'éclosion du premier bouton).

1.1 Cas du *Osteospermum ecklonis* exp Tradewinds yellow with blue eye



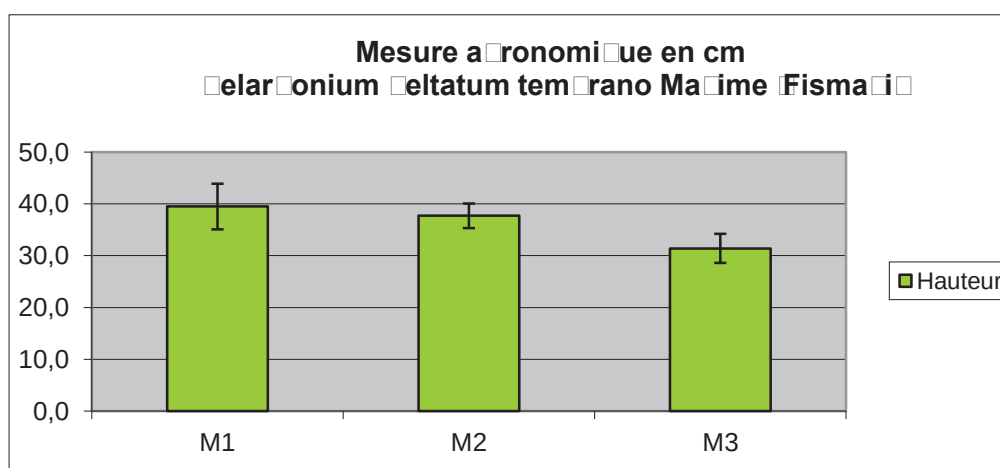
20.04.2011	M1	M2	M3
Hauteur	23,1	22,6	13,9
Diamètre en cm	22,2	22,1	18,3
Floraison en %	100%	35%	25%



Le 20 avril 2011 : Les lots sont homogènes. On obtient un développement similaire entre les plantes de la modalité 1 et celles de la modalité 2.
 Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Ostéoppermum ont un port plus compact.

La modalité 1 est fleurie à 100%, avec 1.7 fleurs par plante. Dans la seconde modalité il y a peu de plante fleurie (soit 35%), avec 0.4 fleur par plante.
 Le décalage de floraison est de 6 jours, entre la première et la dernière modalité.

1.2 Cas du *Pelargonium peltatum* Temprano Maxime 'Fismaxi'



28.04.2011	M1	M2	M3
Hauteur	39,5	37,7	31,4
Floraison en %	70%	40%	25%

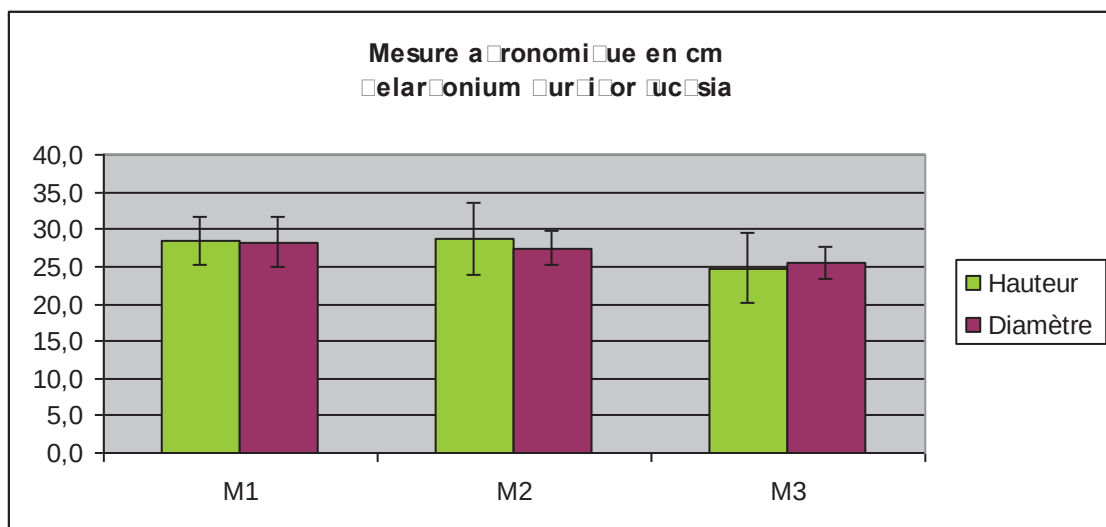
Le 28 avril 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Pelargonium ont un port plus compact et moins développé.

Les deux autres modalités sont similaires seule la précocité de floraison change : 70% du lot fleuri pour M1 et seulement 40% pour celui de M2. Le décalage de floraison est de 7 jours, entre la première modalité et la troisième.

1.3 Cas du Pelargonium Survivor Fuchsia



28.04.2011	M1	M2	M3
Hauteur	28,5	28,7	24,8
Diamètre en cm	28,3	27,5	25,5
Floraison en %	90%	95%	85%



Le 28 avril 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Pelargonium ont un port légèrement plus compact et moins développé. Les deux autres modalités sont similaires.

[Texte]

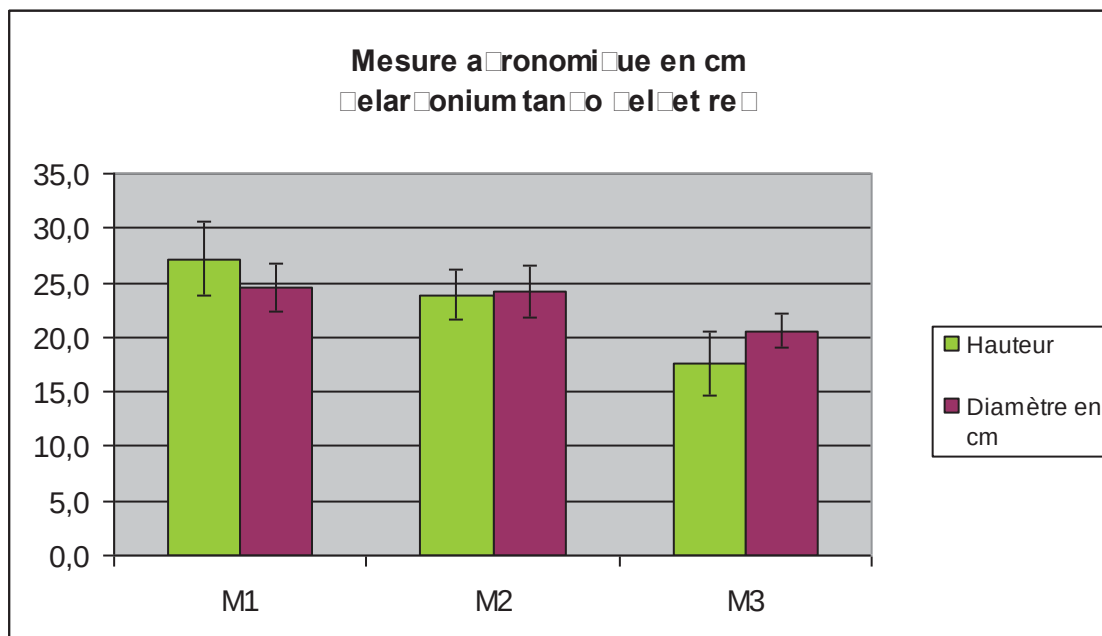
Cette variété a un fort développement.

La modalité 1 est fleurie avec 2.4 fleurs, par plante. La modalité 2 est à 95% fleurie, avec 1.85 fleurs. La modalité 3 est à 85 % de son lot fleuri, avec 1.3 fleurs par plante. Le décalage de floraison est de 5 jours, entre la première modalité et la troisième.

1.4 Cas du *Pelargonium zonale* exp Tango® velvet red



20.04.2011	M1	M2	M3
Hauteur	27,2	23,9	17,6
Diamètre en cm	24,6	24,2	20,6
Floraison en %	70%	15%	20%



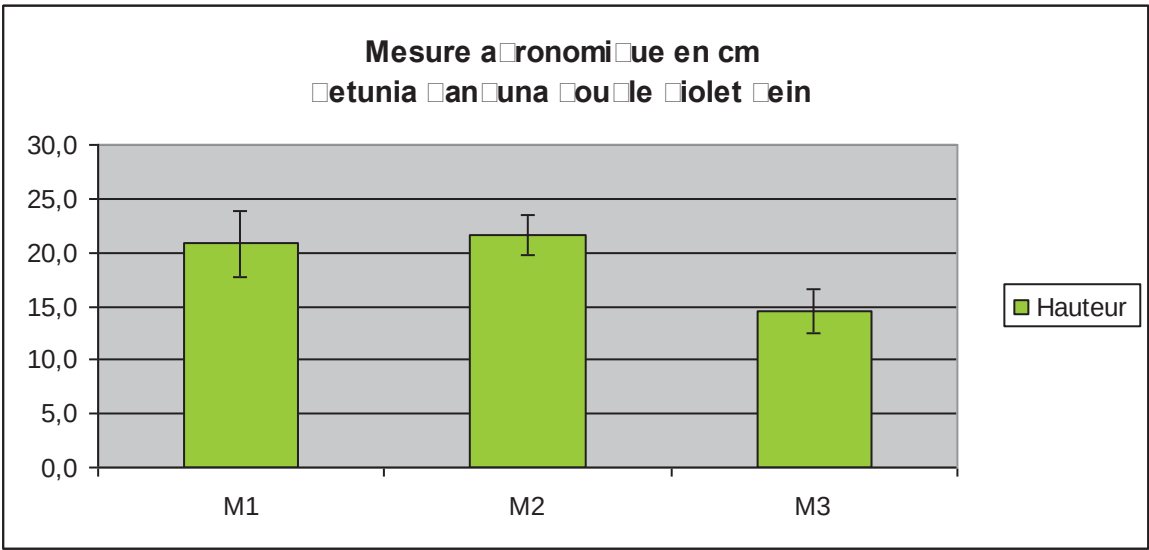
Le 20 avril 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Pelargonium ont un port plus compact.

Les modalités 2 et 3 sont peu fleuries. Le décalage de floraison est de 6 jours, entre la modalité 1 et la modalité 3.

1.5 Cas du *Petunia hyb exp Sanguna double violet vein*



11.04.2011	M1	M2	M3
Hauteur	20,8	21,6	14,6
Floraison en %	95%	5%	0%



Le 11 avril 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Petunia ont un port plus compact. Les deux premières modalités ont une croissance identique.

Aucune plante de la modalité 3 n'est fleurie. Dans la modalité 2, les plantes sont peu fleuries.

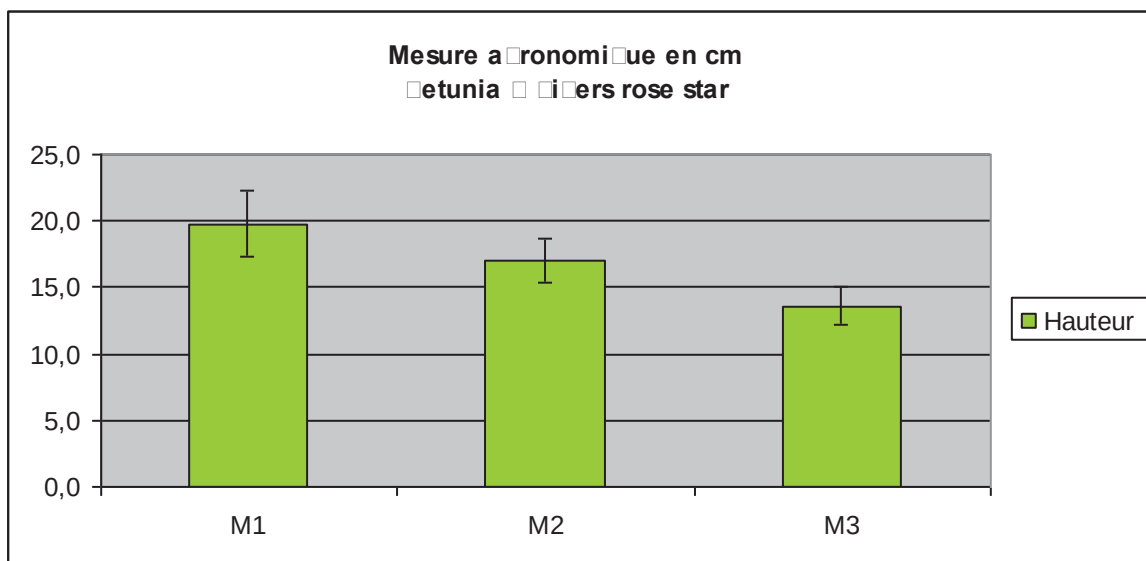
Le décalage de floraison est de 13 jours, entre la modalité 1 et la modalité 3.



1.6 Cas du Petunia hyb exp Whipers rose star



11.04.2011	M1	M2	M3
Hauteur	19,8	17,0	13,6
Floraison en %	100%	45%	30%



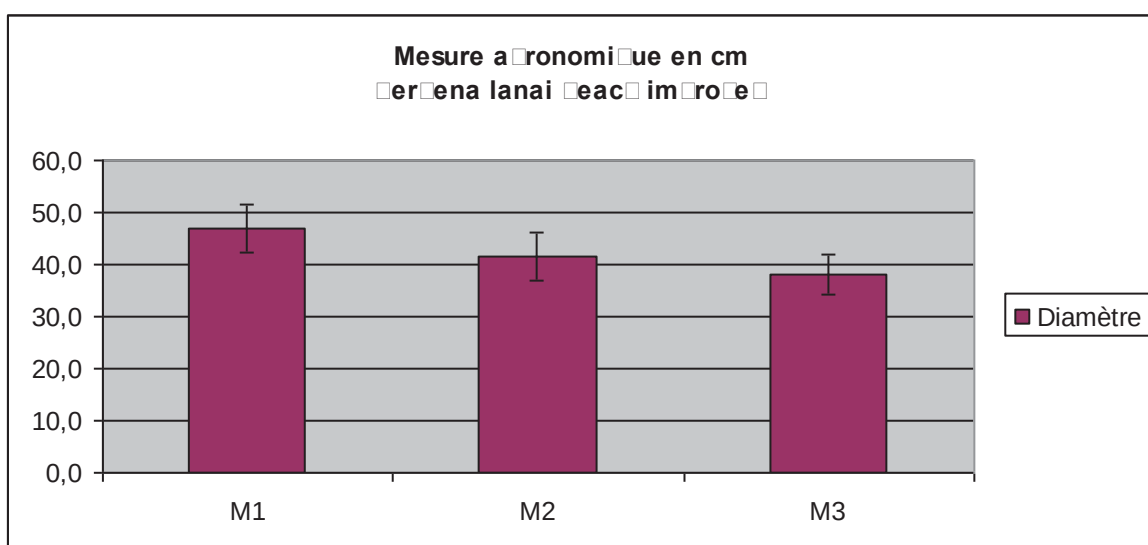
Le 11 avril 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Petunia ont un port plus compact.

Toutes les plantes de la première modalité sont fleuries. Le décalage de floraison est de 7 jours, entre la modalité 1 et la modalité 3.

1.7 Cas du Verbena hyb exp lanai peach improved



02.05.2011	M1	M2	M3
Diamètre	47.0	41.36	38.1
Floraison en %	100%	20%	15%



Le 02 mai 2011 : Les lots sont homogènes. Dans la modalité 3 (consigne de chauffage 1°C), les Verbena ont un port plus compact.

La modalité 3 est peu fleurie (15% du lot fleuri), avec une moyenne de 1 fleur, tandis que la modalité 1 compte une moyenne de 2.5 fleurs, par plante et 100% du lot fleuri. Le décalage de floraison est de 5 jours, entre la modalité 1 et la troisième.

2. État phytosanitaire des plantes

Grâce au système d'arrosage par subirrigation, le feuillage n'est pas mouillé. De ce fait, aucune maladie cryptogamique n'a été constatée, sur les trois modalités.

Il y a eu une attaque de puceron *Aulacorthum solami*, sur les fuchsias de la modalité 3 (bitunnel), le 22 mars 2011. Un traitement anti-puceron a été réalisé. Cette invasion de puceron est due aux plantes voisines à l'essai, en l'occurrence des Clematis et des Hedera helix.

3 Les résultats économiques

		M1	M2	M3
Lilium	Croissance	développée	développée	Compacte
	Floraison	100%	65%	35%
Fuchsia	Croissance	Plus développée	développée	Compacte
	Floraison	0%	0%	0%
Lemisia	Croissance	Plus développée	développée	Compacte
	Floraison	100%	85%	55%
L. steospermum ronde	Croissance	développée	développée	Compacte
	Floraison	100%	70%	5%
L. steospermum ello	Croissance	développée	développée	Compacte
	Floraison	100%	35%	25%
L. elarionum Majime	Croissance	développée	développée	Compacte
	Floraison	70%	40%	25%
L. elarionum purpur	Croissance	développée	développée	Compacte
	Floraison	90%	95%	85%
L. elarionum elvet	Croissance	Plus développée	développée	Compacte
	Floraison	70%	15%	20%
Petunia double	Croissance	développée	développée	Compacte
	Floraison	95%	5%	0%
Petunia rose star	Croissance	Plus développée	développée	Compacte
	Floraison	100%	45%	30%
Geranium	Croissance	Plus développée	développée	Compacte
	Floraison	100%	20%	15%

- Plante plus développée
- Plante développée
- Plante compacte

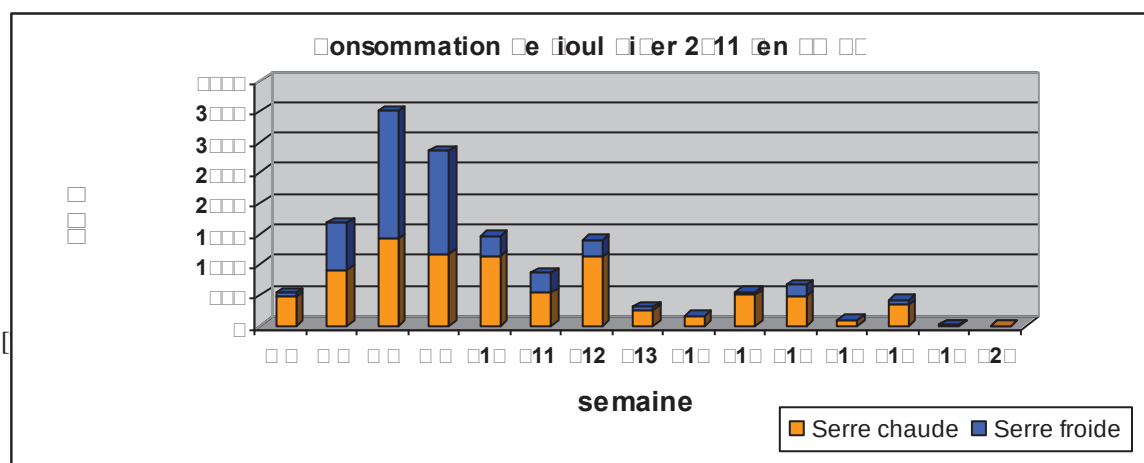
Pour la majorité des taxons traités, nous observons le même schéma : la modalité 1 (serre chaude 12-10°C) et la modalité 2 (serre froide (7-5°C) obtiennent des plantes avec un développement similaire. La troisième modalité (bitunnel 1°C) a des plantes plus petites.

Le décalage de la floraison est de 13 jours maximum, entre la première et la dernière modalité. (Cas du Petunia double vein).

Toutes les plantes sont indemnes de maladies. Une production basse température réduit les risques d'attaque de parasite, mais elle est aussi un frein à l'utilisation des auxiliaires.

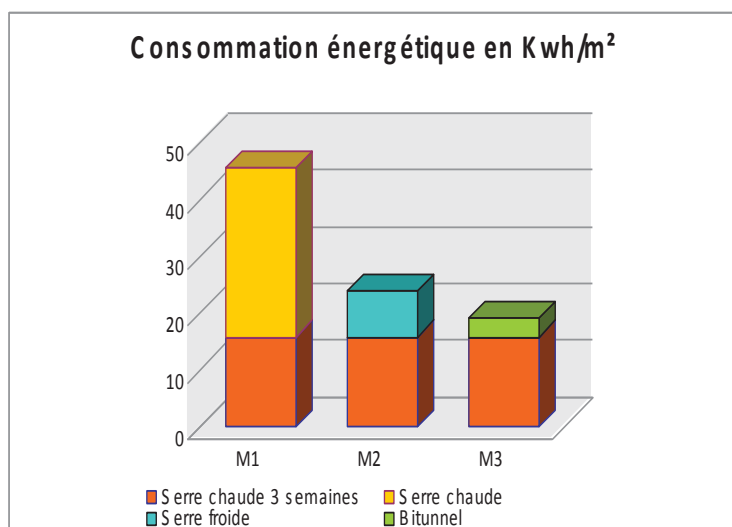
4 Les résultats économiques

4.1 La consommation de fioul



La consommation de fioul est de 14260kwh, soit 1432 litres de fioul utilisé pour chauffer de la semaine 06 à la semaine 17, la serre en verre. Soit une réduction de 54% de fioul par rapport à la même période en 2010.

2 La consommation de fioul relatif à l'essai



La phase d'enracinement en serre chaude demande une consommation de 15.5kWh /m², en fioul.

Pour la modalité 1, la phase d'enracinement représente 44% de la consommation globale

Pour la seconde, cette phase représente 66%

Pour la troisième modalité, la phase d'enracinement représente 82%.

Tableau exprimé en kWh/m²

	Serre chaude 3 semaines	Serre chaude	Serre froide	Bitunnel	Total
M1	15,7	29,9			45.6
M2	15,7		8,26		23.9
M3	15,7			3,5	19.2

La modalité 1 qui représente la méthode traditionnelle de production (12°C jour – 10°C nuit) consomme 45,6kWh/m².

En comparant la modalité 1 à celle de la modalité 3 (1°C), on réalise une économie d'énergie de 58%.

Entre la modalité 1 et la modalité 2, on obtient une économie d'énergie de 47%. Et entre la deuxième et la troisième modalité, le gain énergétique est de 20%.

3 Calcul du ratio chauffage / Chiffre d'affaire

Donnée générale:

	ri unitaire en euros	urface occupée
ot 1	0.80€	30 plantes / m ²
ot 13	1.20€	18 plantes / m ²

Donnée de l'essai:

	ompre de plantes modalité	ri modalité	urface occupée par modalité	ri en euro pour chaque modalité
ot 1	240 plantes	192€	8m ²	24€/m ²
ot 13	90 plantes	108€	5m ²	21.6€/m ²

[Texte]

Chiffre d'affaire moyen $(24+21.6) / 2 = 22.8\text{€}$

Donnée chauffage:

	M1	M2	M3
Chiffre d'affaire / m ²	45.6	23.96	19.2
Coût du chauffage / m ²	3.66€	1.92€	1.54€

1 litre de fioul = 9.96kWh

1 litre de fioul = 0.80€

Calcul du ratio :

	M1	M2	M3
Chiffre d'affaire / m ²	22.8€	22.8€	22.8€
Coût du chauffage / m ²	3.66€	1.92€	1.54€
Ratio du chauffage / chiffre d'affaire	16%	8%	6.7%

Calcul

$$\left(\frac{\text{Coût du chauffage}}{\text{Chiffre d'affaire moyen}} \right) \times 100$$

11 11 11 11 11 11 11

D'un point de vue agronomique, les plantes produites en serre verre (modalité 1 : 12 -10°C et la modalité 2 : 7-5°C) ont un développement souvent similaire. Au niveau de la floraison, il y a eu un décalage d'épanouissement des boutons, entre la modalité 1 et la modalité 3. Ce décalage peut aller jusqu'à 13 jours. C'est le cas du taxon Petunia double vein.

D'un point de vue énergétique, le mode de production basse température permet un gain d'énergie. En comparant ce mode de culture (modalité 3) à une culture traditionnelle, en serre chaude (modalité 1), on constate un gain énergétique de 58%. La phase d'enracinement, en l'occurrence trois semaines en serre chaude 12°C jour – 10°C nuit consomme 15.5kWh/m². Ce qui représente 44% de la consommation énergétique globale de la modalité 1, 66% de la modalité 2 et 82% de la modalité 3. Ces trois semaines sont les plus consommatrices en énergie.

D'un point de vue financier, le chiffre d'affaire moyen généré par ce type de production est de 22.8€/m². En calculant le ratio du chauffage sur le chiffre d'affaires, on s'aperçoit que pour la modalité 1, le chauffage représente 16% du chiffre d'affaire, pour la modalité 2, il est de 8%, et enfin pour la troisième modalité, il est de 6.7%.

Pour finir, avec une consigne de température à 7°C le jour et 5°C la nuit, soit 5°C de moins que la modalité témoin (M1), on arrive à produire des plantes de meilleures qualités (plantes plus compactes) tout en réalisant une économie de 47% de la dépense énergétique□