



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

Réalisé 2014



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE L'AGROALIMENTAIRE
ET DE LA FORÊT

Description de l'action

A – Les finalités de l'action élémentaire

- le(s) problème(s) à résoudre, avec présentation du contexte et des enjeux

Pour beaucoup d'entreprises horticoles, les conditions de la compétitivité passent avant tout par la maîtrise de l'énergie et de la main-d'œuvre qui pèsent lourdement sur le coût de revient des produits horticoles. La gestion du climat des serres prend de plus en plus d'importance pour réduire les dépenses énergétiques, l'automatisation est à développer pour réduire le plus possible les coûts de main-d'œuvre.

La notion de compétitivité passe aussi par la création de valeurs nouvelles qui donneront aux entreprises la capacité de se différencier et de produire des produits de qualité.

Le maintien d'outils adaptés aux problématiques modernes nécessite régulièrement des investissements de mise aux normes : Ecophyto, certificats individuels, législation sur l'eau, bilan carbone, norme sur les serres ... sont autant de sujets de préoccupation.

Ces aspects purement réglementaires, traduisent bien souvent des défis importants pour lesquels l'horticulture comme l'agriculture se doit d'être un acteur incontournable de la préservation des ressources naturelles et de la biodiversité. Les entreprises de la filière, conscientes de l'impact de leurs activités sur la nature, se doivent de répondre aux pressions en matière d'environnement de la part des consommateurs, des associations, des riverains, des entreprises.

Il est donc nécessaire pour les entreprises d'intégrer l'environnement comme dimension de leur système de production, qu'elles se doivent de rendre lisible aux utilisateurs et aux consommateurs.

Les efforts à faire en matière d'environnement touchent de manière prégnante les horticulteurs : limitation de l'utilisation d'intrants fertilisants et phytosanitaires, limitation des sources d'énergie fossile, gestion des déchets, préservation de l'eau, limitation des polluants liés aux outils de chauffage... Les améliorations à mettre en place passent presque toujours par des approches pointues mettant en œuvre de nouvelles techniques et de nouveaux équipements : protection biologique intégrée, récupération des eaux pluviales, recyclage des eaux de drainage, recyclage des déchets, épuration des eaux saumâtres, remplacement des poteries en plastique ...

Pour relever ces défis, l'Institut doit apporter des réponses aux attentes de la filière :

Dans le domaine de **la maîtrise des coûts de l'énergie**, par le développement d'énergies alternatives, par l'évaluation de nouveaux dispositifs ou de nouvelles générations de serres horticoles, par le développement de cycles de cultures peu consommateurs d'énergie et de travailler sur une meilleure maîtrise de la gestion climatique des serres.

Dans le domaine de **la maîtrise des coûts de main-d'œuvre**, des innovations techniques et organisationnelles (automatisation...) sont à apporter tant pour améliorer la compétitivité que pour réduire la pénibilité du travail. Ce sujet est assez peu travaillé aujourd'hui au sein de l'Institut. Les compétences sont recherchées au travers de collaborations avec des entreprises du secteur privé ou du côté de centres techniques à l'étranger.

L'Institut doit aussi mettre l'accent sur **l'amélioration des itinéraires techniques** pour répondre à la fois à un besoin de compétitivité et de préservation de l'environnement. Ces travaux doivent nécessairement aujourd'hui être abordés selon **une approche globale**, en utilisant des indicateurs de mesure ou d'évaluation des systèmes de production. Plusieurs programmes sur ce sujet sont développés actuellement par l'Institut.

La prise en compte de ces enjeux environnementaux est maintenant relayée par les entreprises de la distribution, du monde du paysage, et les collectivités territoriales. La plupart des distributeurs de la filière mettent en œuvre des démarches de référencement, et de plus en plus de collectivités territoriales en font même aujourd'hui un critère pour l'attribution de leurs appels d'offre.

Pour répondre à cette attente sociétale d'une production respectueuse de l'environnement, la filière horticole française a mis en place la démarche de certification horticole Plante Bleue qui s'appuie sur la certification environnementale définie dans le cadre du Grenelle de l'environnement. Cette démarche s'inscrit aujourd'hui dans une réflexion globale associant tous les acteurs de la filière jusqu'à l'engagement des pouvoirs publics.

B – Rappel des travaux prévus, des résultats espérés et des partenariats planifiés

L'objectif de cette action est de permettre des systèmes de production plus performants pour des mêmes quantités d'intrants ou en utilisant moins d'intrants avec l'économie d'énergie comme sujet le plus préoccupant actuellement pour les horticulteurs.

Cette action vise à développer des solutions techniques, facilement adaptables dans les entreprises de production avec les outils existants, pour réaliser des économies d'énergie en serre et améliorer la performance énergétique des entreprises.

Les objectifs de ce projet sont 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 sont également évalués. Cette évaluation est réalisée pour les systèmes de culture suivants :

- en fleurs coupées sous serre, sur Rosier en hors-sol et sur fleurs annuelles cultivées en pleine terre (Lisianthus, Giroflée d'hiver ...).
- en plantes en pots et à massif :
 - pour les plantes de serre chaude : Cyclamen.
 - pour les productions 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°-7°C soit par une conduite sans chauffage, en adaptant la date de rempotage pour arriver à la même période au printemps et en sélectionnant les cultivars les plus résistants au froid.

Pour réaliser cette évaluation dans différents systèmes de production et pour des régions possédant des climats assez différents (continental, océanique, méditerranéen), ce programme a été mis en place dans 4 stations d'expérimentation d'ASTREDHOR.

Partenariat :

Astredhor Loire Bretagne, Astredhor Sud_Ouest, Astredhor Grand Est, Astredhor Méditerranée

C – Travaux réalisés, résultats obtenus et partenariats effectifs

Pour le début de la nouvelle campagne 2014-2015, a été réalisée l'étude comparative des 2 modes de gestions de la déshumidification afin de vérifier les résultats des années précédentes, notamment sur l'automne qui s'est avéré très pluvieux.

Modalités pour la phase 2 : avril à décembre 2014 :

Dispositif :

2 compartiments de serre dont les rosiers sont conduits de façon identique, avec des consignes climatiques identiques. Le premier (n° 7) d'une surface totale de 450 m² dispose d'un déshumidificateur, le second (n°6C) de 150 m² n'en a pas. La serre 7 est située coté Est de l'ensemble des serres, le compartiment 6C y est contigu et plus enclavé.

Variété en culture dans les 2 compartiments : Milva.

La surface totale de l'essai est de 600 m² pour les comparaisons climatiques et énergétiques. Elle est estimée à 75 m² pour les comptages et notation de la récolte.

- Serre 6 C : Serre verre de référence, avec conduite économe en intégration des températures avec une moyenne mobile.

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

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

Déshumidification indépendante du chauffage avec une gestion du déshumidificateur gérée par l'ordinateur de gestion climatique de la serre (Priva). Pour cette serre, les ouvrants doivent être maintenus fermés lorsque le déshumidificateur peut être mis en route. La fermeture des ouvrants en lien avec le démarrage possible de l'appareil ne peut pas être gérée automatiquement par l'ordinateur, ce qui limite l'optimisation de l'usage de l'appareil. Pour pallier à cela, nous travaillons par périodes durant lesquelles l'ouverture est interdite et le démarrage du déshumidificateur autorisé (ou l'inverse). Un tel pilotage peut limiter l'usage de la déshumidification passive, qui reste par contre toujours possible chez le témoin. Ainsi, faute d'un logiciel climatique adapté, la gestion climatique sera toujours plus optimale chez le témoin.

Trois types de conduite sont appliqués :

- Période à faible risque botrytis ou avec des impératifs culturels nécessitant une aération de la serre (exemple : limitation de la température de nuit, etc.). Utilisation possible de l'appareil pour déshumidifier ponctuellement la nuit durant 3 à 5 heures/jour (23h à 2h ou 23 à 4h). Mois estimés : septembre-octobre, avril-mai.

- Période à risque botrytis, la serre pouvant être fermée : Utilisation possible de l'appareil pour déshumidifier durant de longues périodes de 14 à 20 heures/jour (de 18h à 09h ou de 15h à 11h). Mois estimés : novembre-décembre, février-mars.

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

Durant les périodes autorisant le fonctionnement de l'appareil, la consigne de démarrage varie de 85 à 94 % d'HR en fonction du risque climatique Botrytis (indice calculé) et de l'abondance de fleurs (risque cultural estimé).

Chaque période de fonctionnement du déshumidificateur dure au moins 15 minutes (avec une pause minimum de 10 minutes entre chaque période). Si la température de la serre est inférieure à 10°C ou supérieure à 24°C l'appareil est arrêté automatiquement.

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

- Chauffage eau chaude par des tubes ceinturant chaque banquette de culture, géré par l'ordinateur climatique selon les consignes. Consignes de chauffage avec plancher mobile de 5°C à 15°C (en fonction du stade phénologique des tiges et des conditions climatiques naturelles). Lorsque les conditions de lumière et d'hygrométrie l'autorisent, les consignes de ventilation élevées (forçage intensif et peu d'aération) permettront d'obtenir des températures moyennes très supérieures aux consignes 'plancher'.

- La gestion de l'hygrométrie sera rendue plus difficile par les variations de températures prévues dans le calendrier de gestion climatique.

- Consignes de ventilation hivernale susceptibles de 18°C nuit/ 24°C matin et 28°C après-midi.
- Apport de CO2 froid, avec une consigne CO2 serre fermée de 600 ppm.

Mesures et observations :

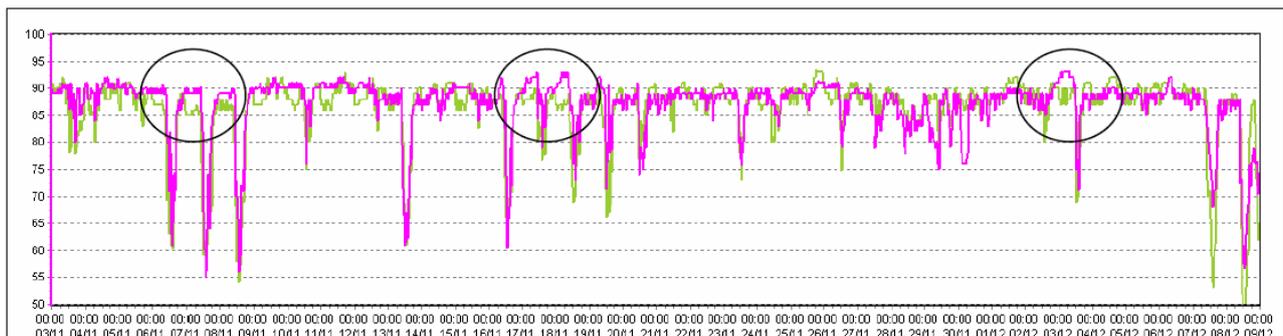
Les mesures énergétiques et agronomiques sont réalisées durant toute l'année.

- 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).

RESULTATS

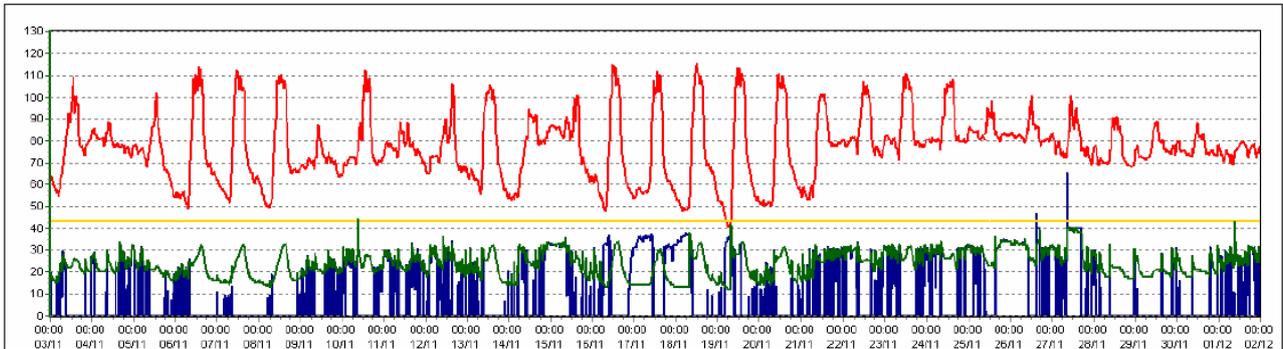
1) SUIVI DU CLIMAT DES SERRES

La figure ci-dessous montre que les consignes de gestion de l'humidité relative ont été dans l'ensemble bien gérées dans les deux compartiments, avec même une humidité sensiblement plus faible dans la serre 7 avec déshumidificateur (86.4 contre 87%), mais cela peut aussi être dû à une différence de volume de végétation entre les 2 serres ou une différence de sonde de mesure. Une analyse plus détaillée montre toutefois que certains jours la consigne a été moins bien appliquée dans la serre 6 (zones entourées).



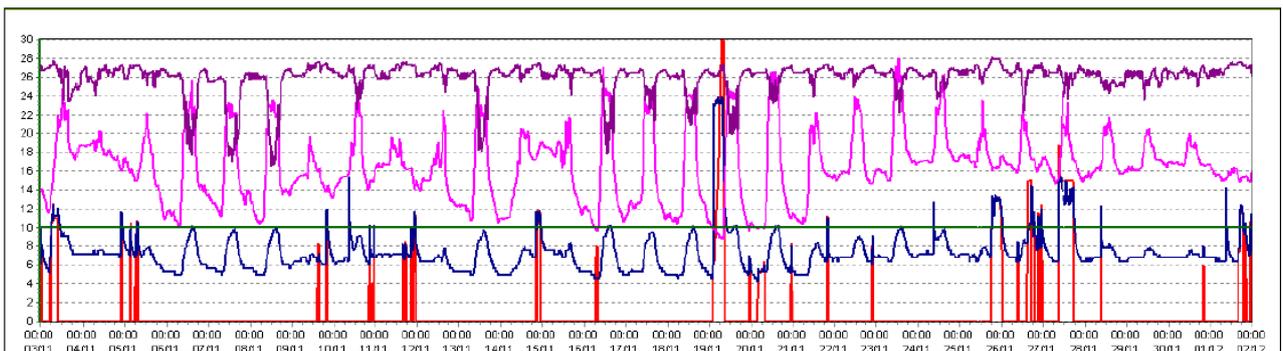
Evolution de l'humidité relative dans la serre 7 (en vert) et la serre 6C (en violet) au cours du mois de novembre 2014

Le mode de régulation de l'humidité a été bien différent entre les 2 serres. Sur la figure suivante, nous voyons que cette gestion a généré de très nombreux trains d'eau chaude (en bleu) dans la serre 6C, donc une forte consommation énergétique, alors même que la température de serre (en rouge) était supérieure à la consigne (en jaune).



Climat de la serre 6C (gestion par thermosiphon) durant le mois de novembre 2014

A l'inverse, nous voyons sur la figure ci-dessous que l'usage du déshumidificateur a réduit fortement les demandes en eau chaude (en rouge) dans la serre 7, hormis lorsque la température (en rose) le nécessitait (voir le 19-11-2014).

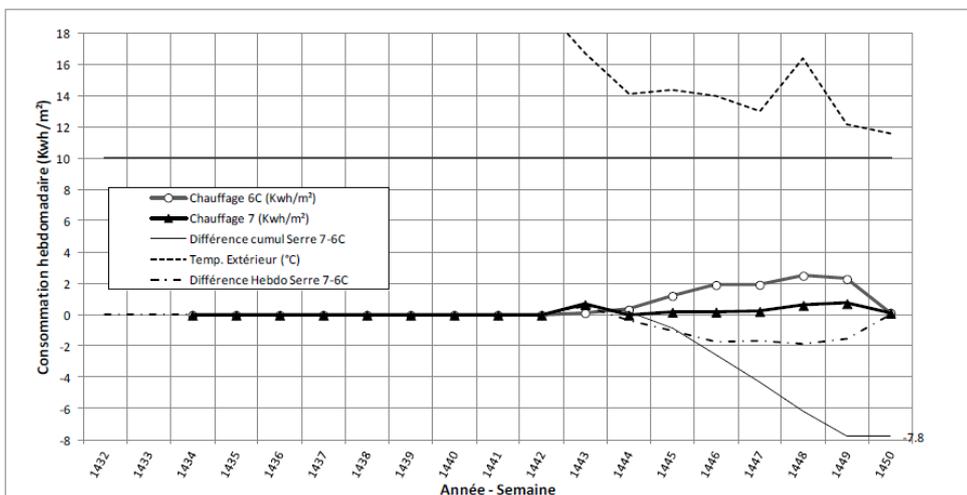


Climat de la serre 7 (gestion avec déshumidificateur) durant le mois de novembre 2014

2) RESULTATS ENERGETIQUES

Il découle logiquement des observations présentées ci-dessus que l'usage du chauffage a été supérieur dans la serre 6C, notamment durant la période critique de novembre et début décembre (semaines 45 à 49). Cela correspond à une période humide (fortes pluies) avec une moyenne extérieure oscillant autour de 14°C.

La différence hebdomadaire de consommation entre les serres était alors proche de 2 kWh/m² et le cumul de cela conduit à une consommation supérieure de 7.8 kWh/m² dans la serre 6C en semaine 50.



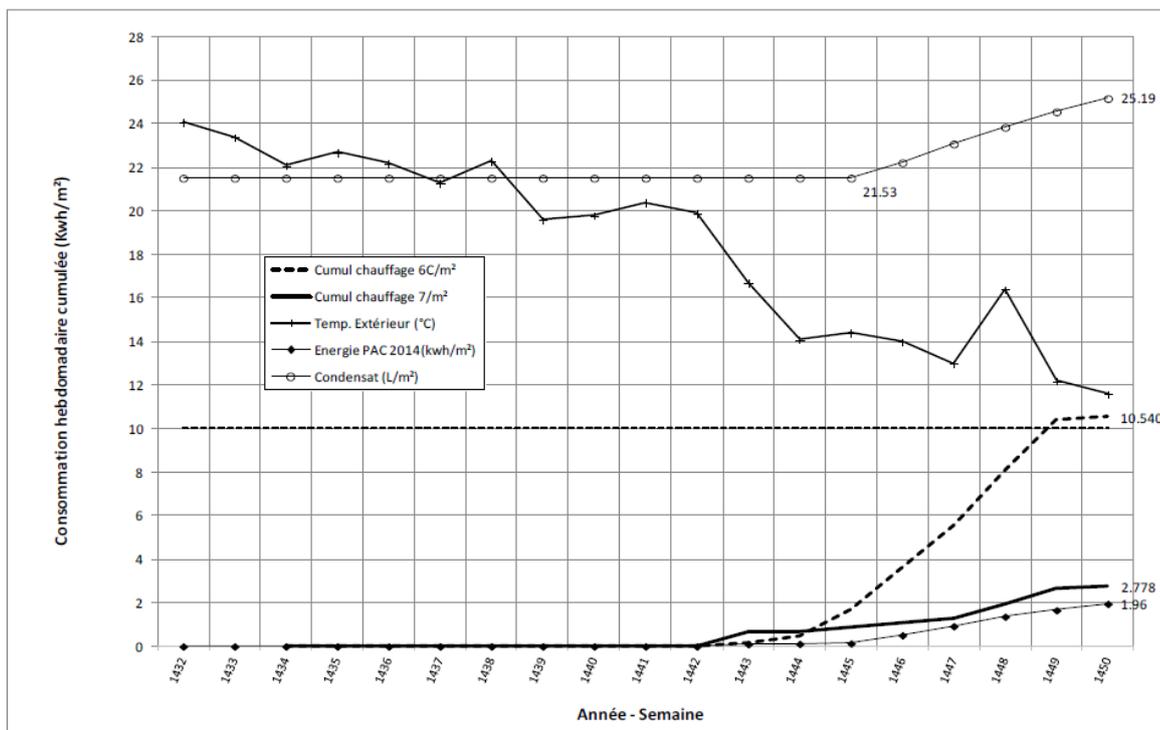
Evolution hebdomadaire des consommations énergétiques pour le chauffage/déshumidification par thermosiphon (serre 6) et chauffage et déshumidificateur thermodynamique (serre 7) selon les serres. (Année Semaine 1448 : année 2014 semaine 48)

Le bilan à la mi-décembre (date d'arrêt de l'étude) conduit aux résultats suivants.

Jusqu'en semaine 43 (fin octobre), sous l'effet d'un climat très doux, la consommation énergétique a été nulle dans les 2 serres.

De la semaine 44 à 49, période très douce et humide, la consommation est forte dans la serre 6C avec un cumul de 10.54 kWh/m² (énergie fossile). Elle reste très modérée dans la serre 7 avec 2.78 kWh/m² (énergie fossile) à quoi il convient d'ajouter 1.95 kWh/m² d'énergie électrique (correspondant au fonctionnement du déshumidificateur).

Notons que sur la période, le déshumidificateur a extrait en moyenne 3.66 litres d'eau/m² de serre.



Cumul des consommations énergétiques selon les serres. Energie PAC = énergie électrique, Chauffage = par thermosiphon (énergie gaz). (Année Semaine 1448 : année 2014 semaine 48).

Sur la période, l'usage du chauffage a été principalement causé par la déshumidification, et l'effet de l'utilisation du déshumidificateur est plus que notable.

La différence de consommation d'énergie fossile entre les 2 serres est de + 7,8 kWh/m² au détriment de la serre 6C.

La serre 7 consomme par contre 1.95 kWh/m² d'énergie électrique qui, au Scradh, coûte près de 2,6 fois plus que le gaz. On peut donc convertir ces 1,95 en $1,95 \times 2,6 = 5,07$ kWh équivalent gaz, de sorte que la consommation totale théorique de la serre 7 devient $2,78 + 5,07 = 7,85$ kWh/m².

Avec le coefficient correcteur de 28% entre les serres 7 et 6C, nous pouvons prendre pour le calcul une valeur de 7,07 kWh/m².

Sur la période, l'usage de l'appareil a donc permis d'économiser $10,54 - 7,07 = 3,47$ kWh/m² d'énergie fossile, ce qui est un résultat économiquement intéressant et permet d'envisager le calcul d'un possible retour sur investissement. En prenant 0,05 €/Kwh gaz, l'économie est donc de 0,173 euros sur la période. Même en ayant de nombreuses périodes de ce type durant l'année, l'amortissement sera long !

L'étude de la période confirme donc bien l'intérêt technique et économique du déshumidificateur sur des périodes très précises, mais malheureusement trop ponctuelles sous notre climat.

3) BILAN GLOBAL DU PROGRAMME ET PERSPECTIVES

Premier point avéré, le système est techniquement efficace pour les cultures étudiées et la puissance de l'appareil semble bien adaptée à des serres de roses $\pm 450 \text{ m}^2$.

Même si l'appareil réchauffe un peu l'ambiance, le grand avantage technique est de pouvoir gérer l'humidité indépendamment du chauffage. Ainsi, en période douce, il n'est pas nécessaire de chauffer exagérément la serre pour baisser l'hygrométrie, comme nous l'avons vu en novembre 2014.

La validation technique de l'appareil, ou plutôt du principe de gestion de l'hygrométrie, est donc encore une fois très nette.

Notons que la mise en œuvre d'une conduite économe en énergie associée à l'utilisation d'un déshumidificateur thermodynamique nécessite des adaptations en fonction des espèces de fleurs cultivées et des périodes de l'année au cours desquelles elle est mise en œuvre. Mais dans tous les cas, pour une polyvalence nécessaire, le déshumidificateur doit avoir une limite de fonctionnement de 5°C , au lieu des 10°C bien trop restrictifs vu les nouveaux modes de conduites et les espèces cultivées.

Si le point technique est positif, la conclusion économique qui pourrait déboucher sur une recommandation à l'investissement n'est pas évidente. En effet, si sur une courte période ou une période exceptionnelle, l'intérêt de l'appareil est économiquement positif (bien que faible), il n'en est rien sur une campagne entière de production.

En fait, la réflexion doit être intégrée à la stratégie de chaque entreprise. L'achat d'un déshumidificateur doit se raisonner finement car il ne s'agit pas d'un gadget mais d'un investissement de l'ordre de 8000 € HT pièce (prix Giordano Industrie 2014). Un investissement est amorti par le gain qu'il apporte et plus ce gain est chiffrable, plus le plan d'amortissement est simple. Si les coûts sont souvent aisés à calculer, tous les gains ne sont pas facilement chiffrables, et dans un tel cas faut-il alors refuser l'investissement ?

Les coûts engendrés par cette technique sont principalement le coût de la machine, son coût de fonctionnement en énergie électrique (non négligeable, de l'ordre de $12 \text{ kWh/m}^2/\text{campagne}$, avec un prix en hausse) auquel il faut rajouter la maintenance (vérification annuelle) et les automatismes nécessaires pour gérer l'ouverture et la fermeture des abris lors du fonctionnement de la machine (s'ils n'existent pas).

Une des limites à l'achat de cet appareil vient du fait que le fonctionnement est très partiel durant l'année car, sous notre climat, l'excès d'humidité est un problème ponctuel (même si ce ponctuel peut durer 1 mois comme en novembre 2014). A terme, le gain apporté par la machine est forcément réduit, alors que le coût de l'investissement reste le même.

Si l'on détaille par type de gain, voyons ce que peuvent apporter ces machines. Il y a d'abord les gains économiques directs :

- Augmentation du rendement brut : Aucune augmentation n'a été observée sur rosier.
 - Réduction des pertes par une meilleure qualité d'ensemble: Gain possible à condition que les modalités de lutte classiques ne soient pas efficaces, ce qui n'était pas le cas dans nos essais.
 - Meilleure rémunération grâce à une meilleure qualité : Le lien entre l'augmentation de la qualité et celui de la rémunération n'est pas évident. Par contre, le lien entre la baisse de qualité et la baisse de rémunération est avéré et sans équivoque.
 - Economie d'énergie (en global) : Dans notre essai sur rosier, la consommation électrique de l'appareil sur une campagne est équivalente à l'économie d'énergie fossile engendrée par son usage. Il est donc difficile d'y voir un gain et d'envisager un amortissement de l'appareil.
 - Economie suite à une réduction des interventions phytosanitaires : Non mis en évidence sur rosier.
- Les quelques gains chiffrables de l'usage du déshumidificateur n'incitent pas à l'achat de ce type de machines, mais il faut aussi intégrer dans la réflexion tous les gains économiques indirects, qui relèvent souvent de l'ordre de l'assurance et de la stratégie :
- Meilleure conduite des plantes y compris en période humide. Il s'agit d'avoir les moyens de réaliser une conduite des plantes toujours adaptée tenant compte de la faible luminosité et la forte humidité (qui sont souvent liées). Ne pas forcer les plantes en chauffant alors que la luminosité est faible, etc.
 - Présence permanente sur le marché avec une qualité constante indépendante du climat. Ne pas pouvoir fournir un produit de qualité éloigne les acheteurs qui chercheront le produit ailleurs. Augmenter la part de produit de faible qualité favorise la chute des cours. De plus en plus, l'argument de vente de nos produits est la qualité, ce qui suggère que l'on a les moyens de la garantir.

La conclusion d'ensemble pourrait donc être, sous notre climat, « Investir par stratégie plutôt que par économie »... encore faut-il en avoir les moyens de le faire.

D – Livrables et diffusion

Pour 2014, comme pour chaque année de réalisation de ce projet pluriannuel, les résultats ont donné lieu à un compte rendu à la fin des travaux qui sera accessible aux conseillers et aux professionnels sur la base de données de l'ensemble des expérimentations de l'Institut. Les conseillers sont soit intégrés, soit liés aux stations d'expérimentation, ce qui permet une diffusion rapide des résultats. Ce sont ces conseillers qui réalisent le transfert vers les professionnels. L'organisation de la base d'expérimentation qui accueille les résultats d'essais, le transfert des données vers le site internet de l'Institut sont réalisés par les personnels du service diffusion de l'unité nationale de l'Institut.

Au niveau des stations, dès lors que des résultats sont exploitables, ils sont repris et mis en valeur dans des publications qui sont pour certaines périodiques : Aujourd'hui et Demain pour le Caté, Fil vert pour l'Arexhor Grand Est, Atout-Fleurs (SCRADH), Bulletin de Liaison (GIE Fleurs et Plante du Sud-Ouest).

Les résultats des travaux ont été présentés par les personnels expérimentateurs lors des journées portes ouvertes des stations engagées dans le projet.

Les résultats sont repris dans le cadre de formations, de séminaires, de journées techniques à destination des professionnels, de la formation, de la recherche.

Pour cette action, les travaux, grâce à une répartition des sites d'expérimentation dans des climats différents, ont permis d'avoir des résultats explicites quant aux possibilités d'utilisation des déshumidificateurs pour des productions de plantes en pots et de fleurs coupées.

Des recommandations avec des avantages technico-économiques peuvent être données aux professionnels et leur permettre d'identifier la rentabilité de ces outils pour leurs cultures.

E – Evaluation et suivi de l'action élémentaire

L'action a été développée conformément aux objectifs fixés. La tâche 1.1 a été engagée et développée comme prévu avec les partenaires. Les objectifs ont été atteints.

Type d'indicateur	Stade	Indicateurs produits	Période de mise en œuvre
Indicateurs de définition des besoins	Prévisionnel	Compte rendu de Commission technique	11 juillet et 2 octobre 2013
Indicateurs d'élaboration	Prévisionnel	Compte rendu de présentation au Conseil stratégique de l'innovation	6 novembre 2013
Indicateurs d'évaluation des programmes	Prévisionnel	Compte rendu du Cost national	4 décembre 2013
Indicateurs de suivi en développement	Réalisation	Conventions avec les partenaires	11 juillet 2014
Indicateurs d'efficacité globale du dispositif	Post réalisation	Comptes rendus du Comité de suivi	2 unités de bassin tous les ans. Unité nationale 1 fois tous les 3 ans

F – Commentaires sur le projet

Suites à donner et perspectives

Le projet a permis d'évaluer les limites de la déshumidification grâce aux travaux menés dans différentes régions. Des poursuites seront réalisées par quelques stations à la demande des producteurs et pour des cultures spécifiques qui n'ont pas été étudiées dans le projet.

Points forts/points faibles

Les professionnels mettaient beaucoup d'espoir dans les déshumidificateurs pour faire des économies d'énergie. Les travaux des stations ont montré, grâce à la prise de risque par l'expérimentation, l'intérêt limité d'un tel matériel qui doit se réfléchir en fonction de la situation des entreprises, notamment la situation climatique et au regard des objectifs de culture (températures de production, humidité tolérable, etc.).

Autres, notamment des explications :

Si évolution des objectifs

Si différentiel entre résultats espérés et obtenus

Si évolution des modalités de pilotage, des partenaires, du calendrier, etc...

Pas de différentiel, les travaux ont été finalisés dans les objectifs qui avaient été définis.