

**Détermination d'une régie d'hivernage en pépinière ornementale à
l'aide de modèles thermodynamiques liés aux composantes
environnementales**

Rapport d'étape

Présenté à :



Par :

Mario Comtois, B. Sc. (biol.), agr.



Décembre 2015

Détermination d'une régie d'hivernage en pépinière ornementale à l'aide de modèles thermodynamiques liés aux composantes environnementales

Mario Comtois, B. Sc. (biol.), agr.¹

Durée : 04/2014 – 02/2017

OBJECTIF

Ce projet vise à définir un modèle thermodynamique qui décrit les effets des températures de chacun des facteurs environnementaux décrits à la fin de cette section sur celles des contenants durant l'hivernage des plantes cultivées en pépinière ornementale.

Il s'agit aussi de comprendre et de démontrer l'impact des différentes régies d'hivernage des contenants en fonction des matériaux utilisés sur une planche de production et d'hivernage, des membranes utilisées pour protéger les plants et de l'hivernage en serre et à l'extérieur sur les températures des terreaux.

Les objectifs sont les suivants:

- Mesurer l'effet de la conductivité thermique de différents types de sol sous les planches de culture de plants entreposés à l'extérieur.
- Définir un modèle de régie de chauffage et de ventilation afin de maintenir la température du terreau entre 0°C et -5°C durant l'hivernage.
- Évaluer l'effet des différents dispositifs de protections hivernales selon les deux méthodes d'hivernage soit en serre et en extérieur.
- Analyser les courbes de températures de façon à en faire des patrons de base pour établir des régies d'hivernage.

Les résultats attendus sont les suivants :

- «L'étude de la fluctuation des températures à l'intérieur des types de sols sous les planches de culture permettra de mieux choisir les matériaux utilisés pour les construire»
- «L'impact qu'aura le choix d'une ou deux couvertures géotextiles (Arbropro) sur les courbes de températures permettra de mieux orienter les producteurs sur leurs utilisations»
- «En se servant des analyses du tampon de l'énergie latente dans la solution des pots et du levier que représente la chaleur du sol nous définirons un modèle de régie de chauffage et de ventilation pour les serres.»
- «Un modèle thermodynamique des températures durant la période hivernale servira de patron d'intervention préventive pour des consignes de contrôle d'environnement effectuées par des systèmes d'acquisitions et de contrôles informatisés.

¹ Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale (IQDHO)

MÉTHODOLOGIE

Dispositif expérimental

En serre

Deux dispositifs en serre ont été installés chez autant de producteurs (Québec/ Lanaudière). Dans chacune des deux entreprises, 3 serres avec 3 régies d'hivernage différentes ont été comparées. Les 3 serres étaient du même type et de grosseur équivalente. Dans chacune d'elle, 2 traitements qui étudient les couvertures hivernales ont été mesurés.

Les données de 7 sondes de température ont été analysées dans chacun des traitements. Nous avons étudié la dynamique des températures de 6 traitements différents ou 6 unités thermodynamiques.

Les sept sondes de températures ont mesuré ces températures;

- -30 cm dans le sol sous les planches de culture
- -10 cm dans le sol sous les planches de culture
- -1 cm dans le sol sous les planches de culture
- Dans les contenants
- Sous les couvertures hivernales
- Dans la serre
- Station météo extérieur.

À l'aide de d'autres sondes nous avons aussi mesuré;

- l'humidité du sol sous les planches de culture
- Le taux d'humidité relative dans les serres
- Le rayonnement solaire.

À l'extérieur

3 types de sols différents sous les planches de culture ont été comparés dans des productions extérieures (Montérégie / Lanaudière). Les dispositifs ont été installés de façon à garder ces 3 traitements sur un même site ou très près l'un de l'autre dans une même région. Deux types d'agrégats recouvrant le sol sous les planches de cultures ont aussi été étudiés. Sur chacune des planches de culture, 2 traitements de couvertures hivernales ont aussi été comparés. 6 sondes de températures ont été analysées dans chacun des traitements. Nous avons étudié la dynamique des températures de 15 traitements différents ou 15 unités thermodynamiques.

Les six sondes de températures ont mesuré ces températures;

- -30 cm dans le sol sous les planches de culture
- -10 cm dans le sol sous les planches de culture
- -1 cm dans le sol sous les planches de culture
- Dans les contenants
- Sous les couvertures hivernales
- Station météo extérieur.

À l'aide de d'autres sondes nous avons aussi mesuré;

- l'humidité du sol sous les planches de culture
- Le taux d'humidité relative dans les serres
- Le rayonnement solaire.

Tous les sites

L'ensemble des données de températures ont été fournies par 130 sondes du système de contrôle d'environnement Damatex Inc. et par 28 sondes Hobo U23 de Onset Computer Corp.

Les dispositifs en serre ont été installés chez Pépinière François Lemay Inc. (Lanaudière) et chez Québec Multiplants Enr. (Québec). Ceux à l'extérieur ont été fait à l'ITA de St-Hyacinthe, à la pépinière de l'IQDHO, chez Les serres Rosaire Pion et fils Inc., Pépinière Abbotsford Inc. et à la pépinière François Lemay Inc.

Les prises de données de toutes les sondes ont été effectuées à des intervalles de 15 minutes pour toute la période du 1 novembre 2014 au 1 avril 2015.

Au moins une fois par semaine, une vigile a été effectuée pour faire un suivi sur les consignes de températures dans les serres.

Traitements comparés

Traitements en serre

Comparaison entre trois différentes régies de températures

- Serre ventilée : Consignes de chauffage fixe à -15°C et consignes de ventilation variable (0°C à 20 °C) pour élever ou diminuer les moyennes de températures journalières
- Serre chauffée : Consignes de ventilation fixe à 5°C et consignes de chauffage variable en (0°C à -15 °C)
- Serre témoin : Consignes standard du producteur.

Comparaison entre deux installations de couvertures hivernales

- (1 Arbopro (Texel) + 1 polyéthylène blanc)
- (2 Arbopro (Texel) + 1 polyéthylène blanc).

Dans chacune des 3 serres étudiées il y avait 2 différentes installations de couvertures hivernales.

En tout, 12 traitements ont été comparés dans les serres de deux producteurs soit Québec Multiplants à St-Appolinaire et Pépinière François Lemay à Lanoraie. Chacun des producteurs ont fournis trois serres pour les fins du projet

Traitements extérieurs

Comparaison entre 3 types de sols sous les planches de culture;

- 1 planche composée de sable
- 1 planche composée d'argile
- 1 planche composée de loam.

Comparaison entre 2 types d'agrégats déposés sur le sol sous les planches de culture;

- 1 planche composée de sable déposé sur un sol argileux comparée à 1 planche composée d'argile seulement.
- 1 planche composée de 0-3/4 déposé sur un sol loameux comparé avec 1 planche composée de loam seulement.

Comparaison entre deux niveaux d'humidités contenues dans le sol; Cet essais a été ajouté (il n'apparaît pas sur le protocole de départ) en accord avec deux producteurs qui ont décidé de modifier leur planches de culture.

- 1 planche composée de sable mouillé comparée avec 1 planche composée de sable sec
- 1 planche composée de loam mouillé comparée avec 1 planche composée de loam sec

Comparaisons de 2 différentes installations de couvertures hivernales;

- 1 Arbopro + 1 polyéthylène blanc
- 2 Arbopro + 1 polyéthylène blanc

Dans chacune des planches de production extérieures étudiées il y avait 2 différentes installations de couvertures hivernales.

Comparaisons de 2 différentes conditions d'épaisseurs de neige

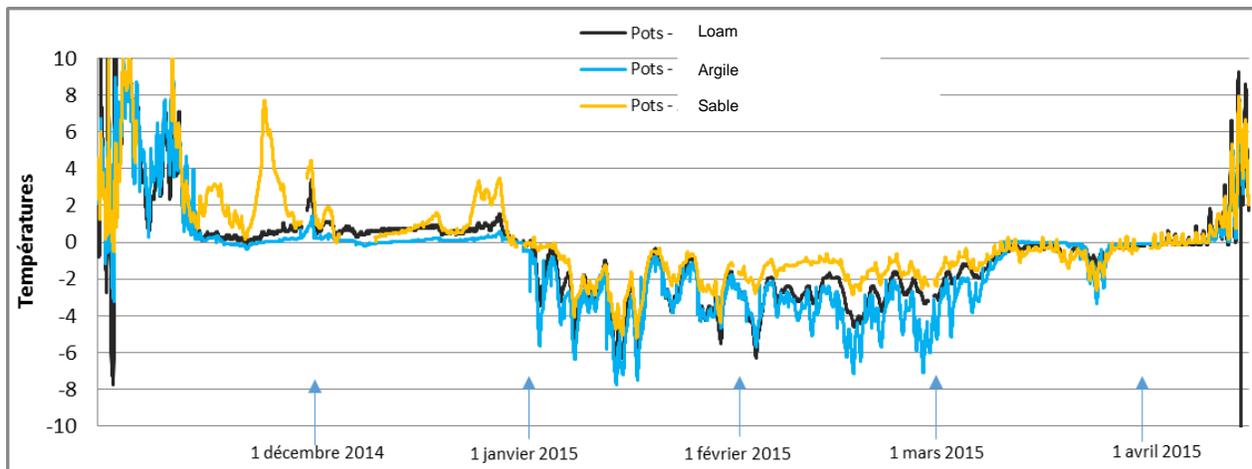
- 1 planche composée de sable situé dans une région où l'épaisseur de neige est grande (Lanoraie)
- 1 planche composée de sable situé dans une région où l'épaisseur de neige est faible (St-Paul d'Abbottford)

En tout 17 traitements différents ont été comparés en condition extérieur

RÉSULTATS

Suite à la première année d'essais, les résultats des différents traitements ont été très satisfaisants. La somme d'informations qui a été recueillie a en effet dépassé nos attentes. Cette section présente un sommaire des résultats. Voici un survol des résultats attendus mentionnés dans la demande qui mettent en lumière nos théories de départ :

- 1) «L'étude de la fluctuation des températures à l'intérieur de trois types de sols sous les planches de culture permettra de mieux choisir les matériaux utilisés pour les construire».

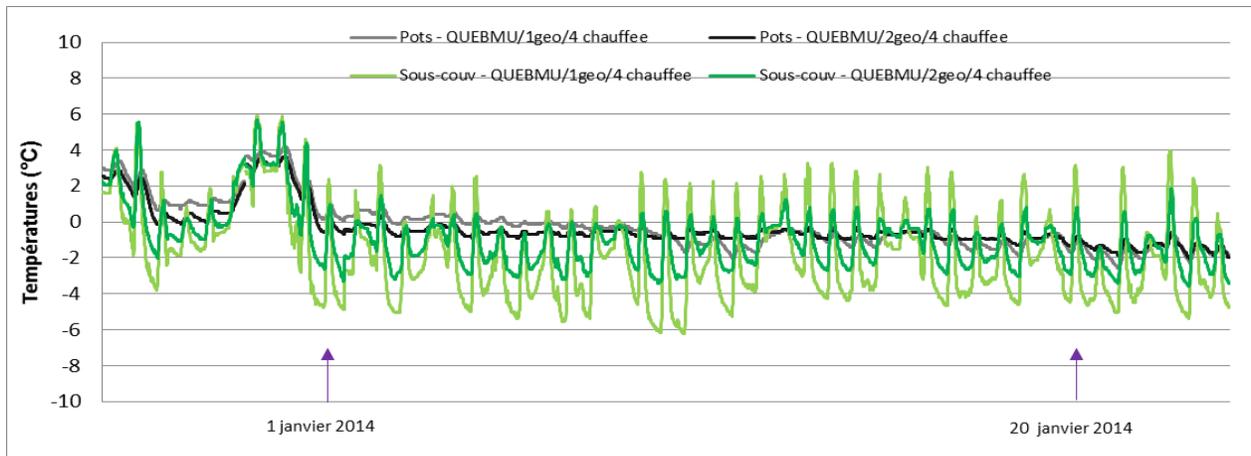


Graphique 1 : Effet de trois types de sols sous les planches de culture sur les températures des contenants durant l'hivernage.

Les courbes représentent les températures à l'intérieur des contenants qui ont été déposés sur des planches de culture formées de trois types de sol. Les mesures proviennent des traitements «1 Arbopro + 1 polyéthylène blanc».

Les pots déposés sur le sable présentent des températures significativement plus élevées peu importe le nombre de couvertures hivernales et la période. Ils présentent aussi une plus grande variabilité de températures pour la période entre le 15 novembre et le 1^{er} janvier, mais une variabilité plus faible entre le 1^{er} janvier et le 15 mars. Le sable saturé et non gelé présente les plus petites valeurs de capacité thermique volumique des types de sol. Ainsi, il faut moins d'énergie pour faire augmenter ou diminuer la température du sable de 1°C pour un volume donné que pour l'argile ou le loam. Il est donc plus réactif à une variation de température. Lorsque le sol est gelé, la capacité thermique volumique est limitée par la valeur de la capacité thermique volumique de la glace (elle ne peut pas être plus élevée).

- 2) «L'impact qu'aura le choix d'une ou deux couvertures géotextiles (Arbropro) sur les courbes de températures permettra de mieux orienter les producteurs sur leurs utilisations»

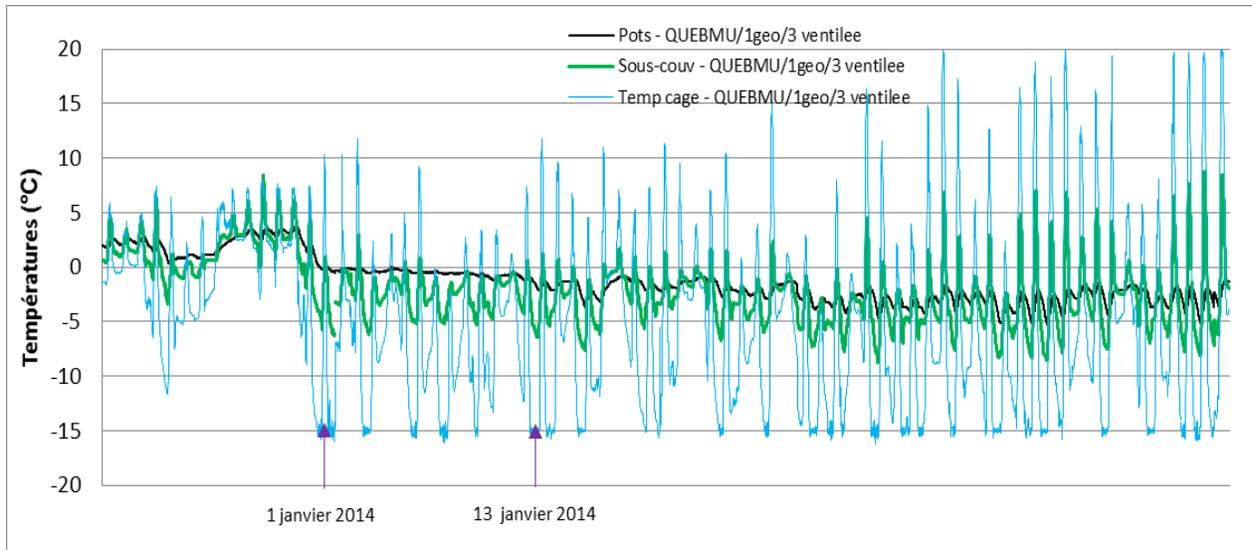


Graphique 2 : Effet deux types de recouvrement sur les températures des contenants durant l'hivernage.

Les courbes représentent les températures à l'intérieur des pots des traitements 1 géotextile «1 Arbopro + 1 polyéthylène blanc» et 2 géotextiles «2 Arbopro + 1 polyéthylène blanc» présents dans le traitement «Serre chauffée» de chez Québec Multiplants.

Une analyse statistique a été faite afin de déterminer s'il y a une différence significative entre les expériences à une géomembrane et à deux géomembranes. La plupart des sites testés montrent une moyenne de température un peu plus élevée dans les pots sous recouverts par deux Arbopro. Comme on peut le voir clairement dans le graphique 2 la présence d'une deuxième géomembrane semble également diminuer la variabilité (écart-type). En effet comme on peut le voir sur le graphique 2, l'amplitude des courbes de température est plus grande sous 1 géotextile

- 3) «En se servant des analyses du tampon de l'énergie latente dans la solution des pots et du levier que représente la chaleur du sol nous définirons un modèle de régie de chauffage et de ventilation pour les serres.»



Graphique 3 : Impact des températures dans la cage aspirante et sous les couvertures sur l'énergie latente dans les contenants.

Les courbes représentent les températures à l'intérieur des pots du traitement «Serre ventilée» «1 Arbopro + 1 polyéthylène blanc» de chez Quebec Multiplants. Les deux serres ventilées (Québec Multiplants et Pépinière Lemay) ont eu une consigne de ventilation de 10 °C jusqu'au 8 janvier. Par la suite, et ce jusqu'à la fin de l'hivernage, elle a été de 20°C. Malgré la consigne de ventilation à 20 °C à partir du 8 janvier, comme on peut voir sur le graphique, les températures dans les cages aspirantes des deux serres «ventilées» n'ont pas excédé 10 °C avant la fin de janvier.

On peut observer une stabilité des températures dans les pots autour de 0°C entre le 1 janvier et le 13 janvier 2015. Ce phénomène s'explique en grande partie par l'énergie de chaleur latente c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour faire changer de phase (liquide à solide) l'eau contenue dans le sol. Pour permettre à un pot de 1 gallon d'eau (3 litres) de changer de phase (liquide/solide ou solide/liquide) 1000Kj est nécessaire. Soit environ la même quantité qu'il faut à l'eau pour passer de 0°C à 80°C ou l'inverse.

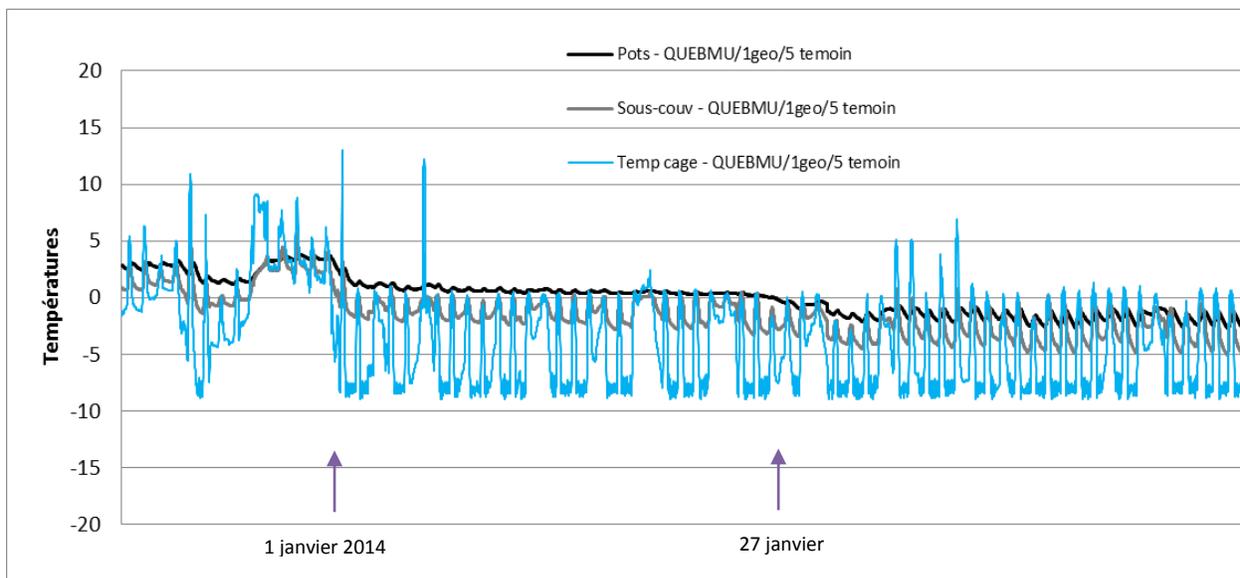
Avant l'expérimentation, les recommandations des consignes de ventilation étaient autour de 5 C pour ne pas faire dégeler les pots. Celles de chauffage étaient souvent de -15°C pour éviter que les températures ne descendent trop bas. En suivant cette régie d'hivernage les températures de terreaux descendaient souvent à près de -8 °C. Dans les cas où les producteurs désiraient garder les températures entre 0°C et -5°C ceux-ci étaient obligés de chauffer à -5°C ou -10°C.

Il est à noter qu'après avoir perdu leurs énergies latentes les températures des pots ne sont pas descendu en deçà de -5C (limite acceptable) chez Québec Multiplants. Le fait de ventiler à des températures plus élevées, tout en gardant une consigne de chauffage à -15 °C à contribuer à ce phénomène.

Les observations des courbes dans les traitements «Serre ventilée» nous ont permis de voir que;

- les températures ne s'élèvent pas autant qu'on le pensait durant les périodes froides de l'hiver
- Si les températures des pots sont à 0°C ou en deçà de 0°C, les températures dans la serre peuvent monter au-delà de 15°C ou 20°C sans que le terreau ne soit affecté par un réchauffement qui serait dangereux pour les plantes. L'énergie latente forme une barrière (tampon) au dégel trop rapide du substrat dans les pots

Comme le montre Le graphique 4 ci bas, Québec Multiplants avait l'habitude de chauffer à -8°C et de ventiler à 0 °C

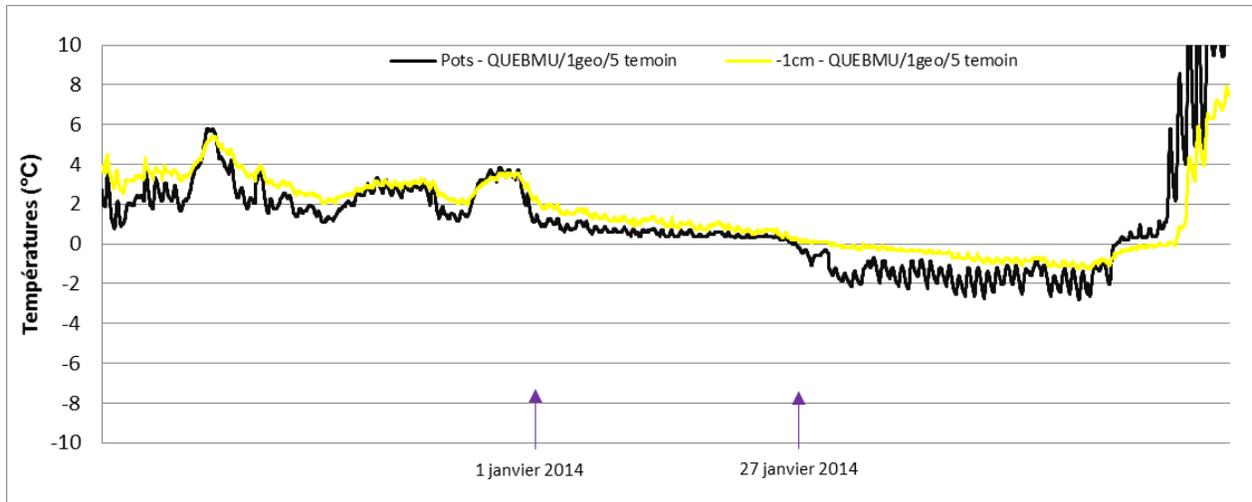


Graphique 4 : Impact des températures dans la cage aspirante et sous les couvertures sur l'énergie latente dans les contenants.

Les courbes représentent les températures à l'intérieur du traitement «Serre témoin» «1 Arbopro + 1 polyéthylène blanc» de chez Québec Multiplants. La consigne de chauffage était de -8°C et celle de la ventilation à 0°C. Le producteur a monté par erreur sa consigne de ventilation à 10°C pendant 5 jours au mois de février.

L'énergie latente a été perdue plus tard dans ce dernier traitement par rapport à la serre ventilée plus haut et les températures ne sont pas descendu en deçà de -2°C.

Les serres ventilées à des températures élevées permettent donc d'économiser de l'énergie tout en gardant les températures à des niveaux acceptables



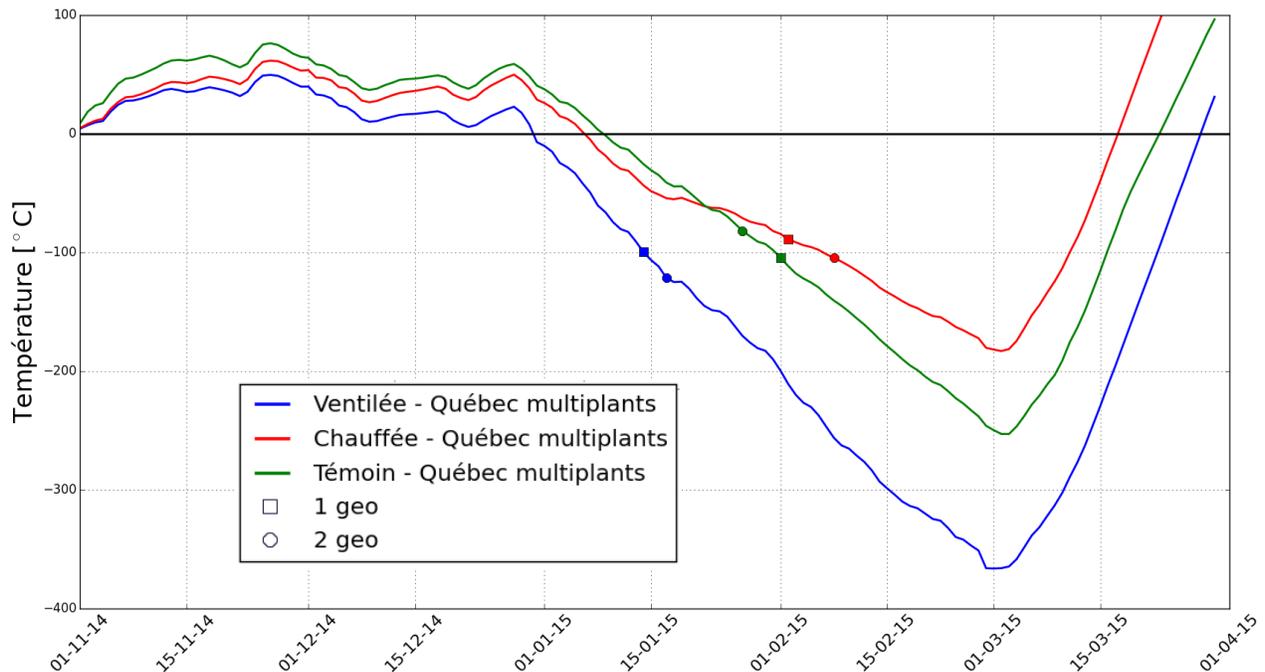
Graphique 5: Impact de la température du sol (-1 cm) sur celle de la température des contenants.

Les courbes représentent les températures à l'intérieur des pots des traitements 1 géotextile «1 Arbopro + 1 polyéthylène blanc» présents dans la serre «Serre témoin» de chez Québec Multiplants.

Un des objectifs de l'essai était de comprendre laquelle des variables suivantes «température du sol» ou «température sous les couvertures» avait le plus d'ascendance sur les températures des contenants. La température des terreaux a été considérée comme une variable dépendante dans l'équation. Une analyse statistique de type régression a été faite sur tous les traitements et il en ressort que la variable qui influence le plus la température des terreaux dans les contenants est la température du sol à -1 cm jusqu'à ce que celui-ci atteigne le 0°C. Ensuite, l'influence des températures sous les couvertures devient plus importante par rapport à celle dans le sol. Ce phénomène permet donc de garder, avec l'aide de l'énergie latente, des températures oscillant autour de zéro et ce de façon constante pendant une période de temps appréciable. Comme on peut le voir sur le graphique 5, les températures des contenants perdent leur énergie latente à partir du moment où le sol atteint zéro le 27 janvier. C'est à ce moment que les températures dans les pots sont plus fortement liés à celles sous les couvertures.

Cela permet d'avoir une période tampon où de l'énergie peut être ajouté ou enlevé sans que les températures des pots ne soit affectés. Cette période tampon est stabilisée par l'énergie latente combinée à la température du sol lorsqu'elle est en haut de 0°C. Une quantité appréciable d'énergie peut donc être additionnée dans le «système» en ventilant à des températures plus haute durant les périodes froides.

- 4) «Un modèle thermodynamique des températures durant la période hivernale servira de patron d'intervention pour des consignes de contrôle d'environnement effectuées par des systèmes de contrôle informatisés.»



Graphique 5: Somme de la moyenne des degrés-jour à partir des températures des cages aspirantes des serres de chez Québec Multiplants à partir du 1^{er} novembre 2014.

En étudiant la thermodynamique de chacun des systèmes (traitements) nous savons essayer de faire ressortir une équation qui pourrait anticiper le moment où la température du sol atteint 0°C. C'est à ce moment que les températures des pots diminuent sous le plateau de l'énergie latente. L'étude de la moyenne journalière des degrés jours faite à partir des températures dans les serres a permis d'élaborer une théorie assez simple. Lorsque ceux-ci sont calculés à partir du 1^{er} novembre à partir des sondes situées à -1 cm, l'ensemble des expériences atteint une température de 0°C après environ -100 degrés-jours. Il y a peu de variation entre les expériences à une ou deux géomembranes.

ÉLÉMENTS JUSTIFICATIFS POUR LA POURSUITE DU PROJET

La saison d'hivernage 2014-2015 a été très riche en découverte. Le rapport final mettra en lumière tous les détails des résultats.

Une saison de plus sera nécessaire pour confirmer les observations faites à partir des traitements à l'extérieur et en serre.

Les dispositifs de tous les sites resteront les mêmes. Les traitements extérieurs seront refaits dans leur intégralité.

L'étude de la thermodynamique de chacun des systèmes (traitements) en serre a mis en lumière une redéfinition de la régie d'hivernage dans la mesure où le concept de bilan énergétique soutenu par la chaleur du sol et de l'énergie latente devient une composante essentielle dans la prise de décision sur les consignes de températures.

Il est maintenant plus clair qu'il serait important de considérer le bilan énergétique du sol et de l'énergie latente durant l'hivernage des plants en serre.

Les traitements dans les serres seront revus pour vérifier les concepts du bilan énergétique et du modèle prévisionnel élaborer à partir des degrés-jours. Voici un aperçu des nouveaux traitements :

Chez Québec Multiplants

Une serre nommée «degrés-jours» vérifiera le système d'anticipation à l'aide des degrés jours. Elle sera aussi gérer de façon à garder le plus possible de chaleur dans le système thermodynamique de chacun des deux traitements de géotextile tout en évitant le plus possible de consommer de l'énergie pour le chauffage

Pendant le mois de novembre et décembre, tant que les températures seront relativement chaudes la nuit (pas plus bas que -7°C) le chauffage sera réglé à -3°C et la ventilation à 10°C

Le but est d'éviter de perdre de l'énergie en chauffant lorsque les températures d'automne sont chaudes. Pour éviter que les températures des contenants ne montent trop haut les consignes de ventilation resteront relativement basses durant cette période

Lorsque les froids d'hiver apparaîtront, les consignes de chauffages seront ajustées à -10°C et celles de ventilation à 20°C .

Lorsque la moyenne journalière des degrés-jours atteindra -80°C , les consignes de chauffage seront modifiées à -5°C . Si les moyennes de degrés jours redescendent en bas du point critique et se redirigent vers le zéro. Les consignes de chauffage reviendront à -10°C

Une serre nommée «réactive» changera ses consignes de chauffages en réaction à la perte de l'énergie latente dans les contenants. Elle servira aussi à vérifier si le système d'anticipation à l'aide des degrés jours a fonctionné. Elle sera aussi gérer de façon à garder le plus possible de chaleur dans le système thermodynamique de chacun des deux traitements de géotextile tout en évitant le plus possible de consommer de l'énergie pour le chauffage

Pendant le mois de novembre et décembre, tant que les températures seront relativement chaudes la nuit (pas plus bas que -7°C) le chauffage sera réglé à -3°C et la ventilation à 10°C

Le but est d'éviter de perdre de l'énergie en chauffant lorsque les températures d'automne sont chaudes. Pour éviter que les températures des contenants ne montent trop haut les consignes de ventilation restent relativement basses

Lorsque les froids d'hiver apparaîtront, les consignes de chauffages seront ajustées -10°C et celles de ventilation à 20°C .

Lorsque les contenants perdront leur énergie latente et que leurs températures descendront en bas de $-0,5^{\circ}\text{C}$, les consignes de chauffage seront modifiées à -5°C . Si les

températures des contenants reviennent à 0°C. Les consignes de chauffage seront réajustées à -10°C

Une serre nommée «témoin» servira à vérifier si le système d'anticipation à l'aide des degrés jours et le mode réactif ont fonctionné.

En tout temps elle sera chauffée à -10 °C et ventilée à 20°C durant les froids d'hiver.

Chez Pépinière François Lemay

Une serre nommée «degrés-jours» vérifiera le système d'anticipation à l'aide des degrés jours. Elle sera aussi gérer de façon à garder le plus possible de chaleur dans le système thermodynamique de chacun des deux traitements de géotextile tout en évitant le plus possible de consommer de l'énergie pour le chauffage

Pendant le mois de novembre et décembre, tant que les températures seront relativement chaudes la nuit (pas plus bas que -7°C) le chauffage sera réglé à -3°C et la ventilation à 10°C

Le but est d'éviter de perdre de l'énergie en chauffant lorsque les températures d'automne sont chaudes. Pour éviter que les températures des contenants ne montent trop haut les consignes de ventilation resteront relativement basses durant cette période

Lorsque les froids d'hiver apparaîtront, les consignes de chauffages seront ajustées à -10 °C et celles de ventilation à 20 °C.

Lorsque la moyenne journalière des degrés-jours atteindra -80°C, les consignes de chauffage seront modifiées à -5 °C. Si les moyennes de degrés jours redescendent en bas du point critique et se redirigent vers le zéro. Les consignes de chauffage reviendront à -10°C

Une serre nommée «réactive» changera ses consignes de chauffages en réaction à la perte de l'énergie latente dans les contenants. Elle servira aussi à vérifier si le système d'anticipation à l'aide des degrés jours a fonctionné. Elle sera aussi gérer de façon à garder le plus possible de chaleur dans le système thermodynamique de chacun des deux traitements de géotextile tout en évitant le plus possible de consommer de l'énergie pour le chauffage

Pendant le mois de novembre et décembre, tant que les températures seront relativement chaudes la nuit (pas plus bas que -7°C) le chauffage sera réglé à -3°C et la ventilation à 10°C

Le but est d'éviter de perdre de l'énergie en chauffant lorsque les températures d'automne sont chaudes. Pour éviter que les températures des contenants ne montent trop haut les consignes de ventilation restent relativement basses

Lorsque les froids d'hiver apparaîtront, les consignes de chauffages seront ajustées -10 °C et celles de ventilation à 20 °C.

Lorsque les contenants perdront leur énergie latente et que leurs températures descendront en bas de -0,5°C, les consignes de chauffage seront modifiées à -5 °C. Si les températures des contenants reviennent à 0°C. Les consignes de chauffage seront réajustées à -10°C

Une serre nommée «témoin» servira à vérifier si le système d'anticipation à l'aide des degrés jours et le mode réactif ont fonctionné. Elle servira aussi à reconfirmer la théorie de l'accumulation de chaleur dans le bilan énergétique à l'aide d'une ventilation à des températures élevées.

En tout temps elle sera chauffée à -10 °C et ventilée à 5°C durant les froids d'hiver.

POINT DE CONTACT

Nom du responsable du projet : Mario Comtois

Téléphone : 450-778-6514

Télécopieur : 450-778-6537

Courriel : mcomtois@iqdho.com

PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet est réalisé grâce à une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre du Volet C du Programme d'appui financier aux regroupements et aux associations de producteurs désignés.