



PCAA

Programme canadien d'adaptation agricole

Rapport final

Évaluation de différentes régies de culture sur la survie hivernale des échinacées

Projet n° 6652

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

De janvier 2012 à décembre 2013

Rédigé par

Émilie Lemaire, agr. M. Sc. Chargée de projets

Mario Comtois, agr. Conseiller en pépinière

Martin Trépanier, agr. Ph. D. Professionnel de recherche

Suzanne Simard B. Sc., Assistante aux chargés de projets

20 décembre 2013

Une partie du financement de ce projet a été fournie par l'entremise des conseils sectoriels du Québec, et de l'Ontario qui exécutent le Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA) pour le compte d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) est déterminé à travailler avec des partenaires de l'industrie. Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de l'IQDHO et ne sont pas nécessairement partagées par AAC.

Table des matières

Liste des tableaux	iv
Liste des figures.....	vi
1 Objectifs.....	1
1.1 Objectif général.....	1
1.2 Objectifs spécifiques	1
2 Résultats et analyse.....	2
2.1 Résultats obtenus et analyse	2
2.1.1 Description des activités réalisées	2
2.1.2 Présentation et analyse des résultats obtenus.....	7
2.2 Discussion générale.....	39
3 Diffusion des résultats.....	45
4 Conclusions	49
5 Sommaire des accomplissements du projet	51
6 Plan de financement et conciliation des dépenses	52
7 Remerciements.....	52
8 Références bibliographiques.....	53
ANNEXE 1	54
ANNEXE 2	55
ANNEXE 3	56
ANNEXE 4	57
ANNEXE 5	58
ANNEXE 6	59

Liste des tableaux

Tableau 1 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de l'Université Laval.....	7
Tableau 2 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de l'Université Laval.....	8
Tableau 3 : Analyse en binomiale de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de l'Université Laval.....	9
Tableau 4 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de Fleurs Rustiques	9
Tableau 5 : Analyse en binomiale de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de Fleurs Rustiques	10
Tableau 6 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (<i>E. purpurea</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval.....	11
Tableau 7 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tangerine Dream</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval	12
Tableau 8 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tiki Torch</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval.....	13
Tableau 9 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tomato soup</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval	14
Tableau 10 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (<i>E. purpurea</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques	15
Tableau 11 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tangerine Dream</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	16
Tableau 12 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tiki Torch</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques	16
Tableau 13 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tomato soup</i>) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	17
Tableau 14 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon le moment de la taille des fleurs – site de l'Université Laval.....	18
Tableau 15 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de taille – site de l'Université Laval.....	19
Tableau 16 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon le moment de la taille des fleurs – site de Fleurs Rustiques	20
Tableau 17 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de taille – site de Fleurs Rustiques	21
Tableau 18 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (<i>E. purpurea</i>) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval	22
Tableau 19 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tangerine Dream</i>) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval.....	23
Tableau 20 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tiki Torch</i>) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval	24
Tableau 21 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tomato Soup</i>) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval.....	25
Site de Fleurs Rustiques	25
Tableau 22 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (<i>E. purpurea</i>) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	26
Tableau 23 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tangerine Dream</i>) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques	27
Tableau 24 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. <i>Tiki Torch</i>) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	28

Tableau 25 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato Soup) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques	29
Tableau 26 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon l'âge des plants – site de l'Université Laval.....	30
Tableau 27 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon l'âge des plants (tous cultivars confondus) – site de l'Université Laval.....	30
Tableau 28 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacées selon l'âge des plants – site de l'Université Laval	31
Tableau 29 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacées selon l'âge des plants – site de Fleurs Rustiques	32
Tableau 30 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacées selon l'âge des plants (tous cultivars confondus) – site de Fleurs Rustiques	32
Tableau 31 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacées selon l'âge des plants – site de Fleurs Rustiques.....	33
Tableau 32 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacées selon l'âge des plants (tous cultivars confondus) – site de Fleurs Rustique.....	33
Tableau 33 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (E. purpurea) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval	34
Tableau 34 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval	34
Tableau 35 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval	35
Tableau 36 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato Soup) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval	35
Tableau 37 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (E. purpurea) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	36
Tableau 38 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	37
Tableau 39 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	37
Tableau 40 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato Soup) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.....	38

Liste des figures

<i>Figure 1 : Aperçu du dispositif portant sur l'irrigation (Université Laval- 29 juin 2012)</i>	3
<i>Figure 2 : Aperçu des dispositifs en fin de saison (Université Laval – 18 octobre 2012)</i>	5
<i>Figure 3 : Comparaison des trois traitements de fertilisation – cv. Tomato Soup (Université Laval – 23 octobre 2012)</i>	8
<i>Figure 4 : Exemple de systèmes racinaires- cv. Tomato Soup (Université Laval – 23 octobre 2012)</i>	19
<i>Figure 5 : Plant d'échinacée dont la couronne est morte et attaquée par Botrytis (14 février 2013)</i>	41
<i>Figure 6 : Plant dont la couronne est morte, mais les racines sont encore bien vivantes 1 mois après la remise en culture (25 mars 2013)</i>	42

1 Objectifs

1.1 OBJECTIF GÉNÉRAL

Ce projet vise à minimiser les pertes hivernales de plants d'échinacée en optimisant les soins culturaux, les méthodes d'hivernage et le calendrier de production de ces plantes.

1.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

De façon plus spécifique, le projet a pour but de :

- Mesurer la survie hivernale de plants d'échinacées démarrés à différents moments durant la saison;
- Évaluer l'effet de la fertilisation sur l'acclimatation et la survie au froid de différents cultivars d'échinacée;
- Évaluer l'effet de la taille des fleurs et de la période de taille sur l'acclimatation et la survie au froid des échinacées;
- Déterminer la meilleure méthode d'hivernage de différents cultivars d'échinacées afin de réduire les pertes, et ce en fonction des traitements de fertilisation, de taille et de stade de développement de la plante;
- Déterminer la qualité de la reprise des plants au printemps suite aux différents traitements d'acclimatation et d'hivernage;
- Établir des recommandations en matière de préparation des plantes au froid et des meilleures méthodes d'hivernage à adopter pour les autres cultivars d'échinacées ainsi que pour toute autre plante vivace particulièrement sensible au froid produite en pépinière.

2 Résultats et analyse

2.1 RÉSULTATS OBTENUS ET ANALYSE

2.1.1 Description des activités réalisées

Description du site

Étant donné les différences régionales du couvert de neige et des conditions climatiques, les essais ont été réalisés simultanément dans deux régions du Québec, soit dans la région de Québec (Université Laval) et en Montérégie chez un producteur (Fleurs Rustiques Inc, St-Damase). Chez Fleurs Rustiques, les dispositifs expérimentaux ont été installés sous une serre conventionnelle dans un complexe de serres jumelées et à l'Université Laval, sous un tunnel individuel.

Pour le site de l'Université Laval, la remise en croissance après l'hiver a été réalisée dans une pépinière de la région de Québec (Québec Multiplants, St-Apollinaire) qui disposait de serres avec les installations de chauffage appropriées à la poursuite du projet.

Matériel végétal

Les cultivars d'échinacée qui ont été utilisés sont issus d'un croisement entre *Echinacea purpurea* et *Echinacea paradoxa* soit les cultivars 'Tiki Torch', 'Tomato Soup' et 'Tangerine Dream'. Ces choix se justifient par leur popularité sur le marché et leur différence de sensibilité au froid. Les trois cultivars ont été comparés à un témoin, *Echinacea purpurea*, reconnu pour sa grande capacité de survie aux hivers québécois.

À l'exception de *E. purpurea* qui à été produit à partir de semis chez Fleurs Rustiques, les essais ont été effectués avec de jeunes plants issus de multiplication *in vitro* provenant de l'entreprise Terra Nova Nurseries Inc. (Canby, OR, USA). Terra Nova Inc. est un hybrideur spécialisé en innovations végétales et il est le principal fournisseur d'échinacées au Québec.

Dispositifs expérimentaux, traitements et prise de mesures

Objectif 1 : Effet de la fertilisation sur l'acclimatation des échinacées

La quantité et le moment d'application des fertilisants peuvent influencer la préparation de la résistance au froid de la plante. Les traitements de fertilisation suivants ont donc été appliqués sur les trois cultivars hybrides et le témoin :

F1 : Programme régulier de fertilisation (≈ 200 ppm de 20-8-20 en continu dans le but de maintenir la salinité à 0,75 mS; méthode 2 :1) jusqu'à la mi ou fin octobre (témoin, *i.e.* méthode généralement utilisée chez les producteurs);

F2 : Programme régulier de fertilisation (≈ 200 ppm de 20-8-20 en continu dans le but de maintenir la salinité à 0,75 mS) jusqu'au début août;

F3 : Programme régulier de fertilisation (≈ 200 ppm de 20-8-20 en continu dans le but de maintenir la salinité à 0,75 mS) jusqu'au début août, suivi d'une réduction de l'apport (≈ 100 ppm en continu dans le but de maintenir la salinité à 0,50 mS) jusqu'à la mi ou fin octobre.

Les traitements ont été appliqués sur des plantules démarrées en juin en pot de 1 gallon. Le dispositif expérimental comprenait les trois traitements détaillés ci-hauts avec les quatre cultivars, répétés quatre fois et disposés selon un plan en blocs complets aléatoires. Au cours de la saison de culture, les unités expérimentales étaient constituées de neuf plants (Fleurs Rustiques) ou 12 plants (U. Laval) subissant le même traitement, mais dont trois étaient destinés à être placés dans chacun des trois ou quatre différents modes d'hivernage à l'automne (voir p.4). Suite à des pertes au moment de la production de semis des *E. purpurea*, le nombre de plants a dû être réduit à deux par mode d'hivernage.

En utilisant la méthode 2:1, des analyses de pH et de salinité ont été réalisées à chaque semaine, dans le but de s'assurer que la fertilisation était adéquate pour le maintien de la salinité prévue dans chacun des traitements. La fertilisation a été effectuée à l'aide d'un système de ferti-irrigation goutte-à-goutte composé de plusieurs lignes d'irrigation et d'un système de valves permettant de ne fertiliser que les unités expérimentales associées à un traitement (Figure 1).



Figure 1 : Aperçu du dispositif portant sur l'irrigation (Université Laval- 29 juin 2012)

Objectif 2 : Effet de la taille des fleurs sur l'acclimatation des échinacées

La présence d'une inflorescence peut avoir un impact majeur sur les relations source/puits en limitant l'accumulation de réserves dans la couronne. Ces réserves sont importantes pour la survie à l'hiver. Afin de mesurer l'impact de l'élimination des fleurs sur la survie hivernale de quatre cultivars d'échinacées, les quatre traitements suivants ont été réalisés au cours de la période de floraison :

T1 : Aucune taille. Le plant se développe naturellement sans intervention (témoin);

T2 : Taille de la tige florale dès son apparition;

T3 : Taille de la tige florale au début de la floraison des capitules;

T4 : Taille de la tige florale à la fin de la floraison des capitules.

Les traitements ont été effectués sur des plantules démarrées en juin en pot de 1 gallon. Le dispositif expérimental était composé de ces quatre traitements et des quatre mêmes cultivars répétés dans quatre blocs complets aléatoires. La constitution des unités expérimentales est la même que celle décrite précédemment dans l'objectif 1.

Objectif 3 : Effet du stade physiologique des plants sur leur potentiel de survie à l'hiver

L'objectif de cet essai est de mesurer la survie hivernale de plants d'échinacées démarrés à différents moments durant la saison. Nous souhaitons ainsi apporter des réponses aux producteurs de vivaces quant à la survie hivernale d'un groupe « indicateur » d'échinacées issu de différents cycles de production. Pour y arriver, les deux cycles de production suivants ont été comparés :

S1 : Jeunes plants empotés en juin 2012;

S2 : Jeunes plants empotés en février 2012.

Les jeunes plants livrés par Terra Nova Nurseries en février (S2) ont tous été empotés chez Fleurs Rustiques et mis en culture dans une serre chauffée. Le producteur a fait l'entretien jusqu'à la réception des autres plants (S1) au début juin. À ce moment, la moitié des plants empotés en pot de 1 gallon en février a été livré par Fleurs Rustiques à l'Université Laval avec les plantules en multicellules (juin).

Le dispositif expérimental qui a été mis en place en juin était composé des deux traitements détaillés plus haut et des quatre cultivars répétés quatre fois et disposés en blocs complets aléatoires. La constitution des unités expérimentales est la même que celle décrite précédemment dans l'objectif 1.

Modes d'hivernage

Au cours de la troisième semaine d'octobre, après la prise de données finale, les plants des trois essais réalisés à l'Université Laval (Québec) et chez Fleurs Rustiques (Montérégie) ont été taillés, puis soumis à l'un des quatre modes d'hivernage suivants :

1-serre chauffée à -15 °C et ventilée à 5 °C avec protections hivernales;

2-planche de culture extérieure avec protections hivernales;

3-serre non chauffée avec protections hivernales;

4-chambre froide à -2 °C sans protection hivernale (Université Laval seulement).

Suite à la découverte d'un bris du système de chauffage au cours de l'été 2012, les plants de l'Université Laval qui auraient être hivernés sous les trois premiers modes d'hivernage ont été transférés chez Québec Multiplants, un producteur de la région qui possédait les infrastructures fonctionnelles nécessaires à la bonne réalisation du projet.

Suivi agronomique et entretien régulier :

Un suivi agronomique a été effectué par un conseiller de l'IQDHO tout au long du projet pour s'assurer du bon développement des plants.

Pour les deux objectifs qui ne recevaient pas les différents traitements de fertilisation, des analyses de pH et de salinité ont été réalisées à chaque semaine, sur l'ensemble du dispositif en utilisant la méthode 2:1, dans le but de s'assurer que la fertilisation suivait les valeurs cibles d'une régie conventionnelle de production

Nous avons également procédé au tuteurage des tiges florales pour éviter qu'elles ne s'affaissent et causent des dommages à la couronne.

De plus, pour respecter les méthodes culturales normales de production, les fleurs ont été taillées à mesure qu'elles fanaient (pétales décolorés et floraison des capitules terminée) sur chaque plant qui ne subissait pas un traitement de taille.

Après la prise de données finale, le feuillage et les tiges florales de tous les plants ont été taillés en préparation de l'hivernage. La figure 2 présente un aperçu de l'ensemble des dispositifs avant la taille finale.



Figure 2 : Aperçu des dispositifs en fin de saison (Université Laval – 18 octobre 2012)

Prises de données

À la fin de la saison de croissance dans la troisième semaine d'octobre, tous les plants ont été caractérisés selon différents paramètres. D'abord, le nombre de fleurs et de tiges florales produites ainsi que le nombre de bourgeons floraux ont été comptés. Ensuite, la circonférence

des plants au niveau du sol a été mesurée. Finalement, la qualité et la quantité du système racinaire ont été évaluées selon une cote de 1 à 5 (5= excellent).

Des thermocouples ont été disposés dans chacun des modes d'hivernage afin d'enregistrer les températures dans le substrat, sous les couvertures et à l'extérieur des couvertures (température ambiante).

Vers la mi-février 2013, les plants ont été retirés de leur mode d'hivernage et ont été placé en serre-tunnel chauffé afin de permettre leur redémarrage végétatif. Les plants ont été observés à chaque semaine, permettant de prendre en note le moment de la floraison de chaque plant. Lors de cette floraison, une cote (1 à 4) décrivant la qualité du plant a été estimée (1=mort, 4=sans dommage). Le nombre de tiges florales et le nombre de fleurs (incluant les boutons) ont aussi été quantifiés à ce moment. L'expérience a pris fin à la mi-juin.

Analyses statistiques

Les paramètres de croissance des plants de la première année ont été analysés à l'aide de la procédure 'Mixed' du logiciel SAS. Puisque deux facteurs sont présents (effets des cultivars et effets des traitements), nous déterminons d'abord s'il existe une interaction significative entre ces deux facteurs. Si tel est le cas, cela signifie que les cultivars répondent différemment aux traitements et il faut alors comparer indépendamment chaque combinaison (traitement/cultivar) à l'aide du test 'LSMeans' de SAS. S'il n'y a pas d'interaction entre les cultivars et les traitements, nous pouvons alors évaluer les effets simples liés uniquement aux traitements, en combinant tous les cultivars. Il arrive souvent que les cultivars soient significativement différents entre eux, ce qui est fort prévisible puisque leur mode de croissance est très différent (ex. le cultivar X produit plus de fleurs que le cultivar Y et ce, indépendamment du traitement). Lorsque cette situation se présentait, il est inscrit à titre informatif '*Effet cult*' au bas des colonnes de résultats. Les effets liés uniquement aux cultivars sont de moindre importance pour le présent projet. Lors de l'évaluation de la reprise en février 2013, les cultivars ont été évalués indépendamment, éliminant ainsi les interactions qui rendent plus difficile l'interprétation des résultats.

Puisqu'une cote racinaire n'est pas un élément normalement analysé par un logiciel de statistique (cela ne représente pas une valeur absolue), les cotes de 1 à 3 ont été assemblées en un groupe, qualifié de non-désirable, et les cotes 4 et 5 ont été regroupées en un groupe qualifié de favorable. Une analyse binomiale (*Procédure Genmod de SAS*) a ainsi été réalisée afin de déterminer le pourcentage de probabilité qu'un plant reçoit une cote favorable selon le traitement appliqué.

La survie des plants au moment de la reprise en 2013 a été évaluée par mesure binomiale (morts ou vivants) et la distribution de fréquence. Un pourcentage de survie pouvait ainsi être obtenu, lié à une analyse de la variance. Les cotes 1 et 2, représentant des plants non-vendables, ont été regroupées dans la catégorie «morts» alors que les cotes 3 et 4 ont été regroupées dans la catégorie «vivants».

2.1.2 Présentation et analyse des résultats obtenus

Objectif 1 : Effet de la fertilisation sur l'acclimatation des échinacées

Première année

Site de l'Université Laval

Le tableau 1 présente la caractérisation des plants pour le site de l'Université Laval. L'analyse statistique démontre que la fertilisation n'a pas influencé le nombre de tiges, le nombre de fleurs et le nombre de bourgeons. La circonférence des plants à la base a par contre été significativement influencée par les traitements de fertilisation et ce, pour la plupart des cultivars. Une fertilisation élevée prolongée (F1) a permis d'obtenir des plants avec une couronne plus large, alors qu'un arrêt précoce de la fertilisation (F2) a donné des plants avec une couronne significativement plus étroite. L'apparence des plants à l'automne a été fortement influencée par la fertilisation, ceux ayant reçu une plus forte fertilisation étant plus verts (Figure 3). Cette fertilisation élevée a par contre entraîné une diminution de la qualité et de la quantité des racines pour tous les cultivars. Puisque l'analyse statistique n'a pas démontré d'interaction entre les traitements de fertilisation et les cultivars pour ces derniers paramètres, nous présentons au Tableau 2 les valeurs regroupées pour les trois traitements de fertilisation. On y observe que les racines du traitement avec la plus forte fertilisation (F1) sont significativement moins abondantes et de moindre qualité que les racines des deux autres traitements de fertilisation.

Tableau 1 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de l'Université Laval

Traitements	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Nombre de bourgeons	Circonférence (cm)	Quantité racines	Qualité racines
<i>E. purpurea</i>						
F1	1,8	3,6	4,2	14,8 c	3,7	3,2
F2	1,4	3,1	2,0	9,9 a	4,0	3,5
F3	1,3	3,6	2,8	11,5 b	4,0	3,4
<i>Tangerine Dream</i>						
F1	1,3	7,9	0,6	8,6 b	2,9	3,4
F2	1,1	6,6	0,4	6,0 a	3,0	3,8
F3	1,2	6,4	0,7	7,4 b	2,8	3,4
<i>Tiki Torch</i>						
F1	1,1	1,1	1,1	19,2 c	2,9	3,0
F2	1,7	3,2	1,9	13,6 a	3,7	3,4
F3	1,1	1,1	0,8	16,4 b	3,4	3,3
<i>Tomato Soup</i>						
F1	3,6	6,3	4,7	15,9 b	3,4	3,2
F2	3,6	7,0	3,1	13,0 a	3,7	3,8
F3	4,0	7,1	5,2	15,9 b	3,8	3,8
Prob.interaction	Effet culti	Effet culti	Effet culti	0,0108	Effet culti Effet fert	Effet culti Effet fert

Tableau 2 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de l'Université Laval

Traitement	Quantité racines	Qualité racines
F1	3,2 a	3,2 a
F2	3,6 b	3,6 b
F3	3,5 b	3,4 b
Prob.	0,0017	0,0007



Figure 3 : Comparaison des trois traitements de fertilisation – cv. Tomato Soup (Université Laval – 23 octobre 2012)

Le tableau 3 indique que la probabilité d'obtenir un système racinaire de haute qualité est significativement plus élevée pour les traitements qui ont reçu une plus faible fertilisation. Cette tendance est observable pour la plupart des cultivars. On peut également constater que le cultivar 'Tangerine Dream' produit moins de racines que les autres cultivars.

Tableau 3 : Analyse en binomiale de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de l'Université Laval

Traitement	Quantité racines Probabilité (%) ¹	Qualité racines Probabilité (%)
<i>E. purpurea</i>		
F1	59,6 a	25,5 a
F2	83,3 b	47,9 b
F3	81,2 b	39,6 ab
<i>Tangerine Dream</i>		
F1	2,1 b	47,9 a
F2	10,4 b	77,1 b
F3	0,0 a	39,6 a
<i>Tiki Torch</i>		
F1	14,6 a	12,5 a
F2	68,8 c	39,6 b
F3	39,6 b	38,5 b
<i>Tomato Soup</i>		
F1	47,9 a	29,2 a
F2	63,0 ab	76,1 b
F3	75,0 b	72,9 b
Prob.interaction	0,0081	0,0059

¹ : Probabilité d'obtenir une quantité de racines «très bonne à excellente» (cotes 4 et 5) en fonction des traitements

Site de Fleurs Rustiques

Les résultats obtenus au site de Fleurs Rustiques sont tous très similaires à ceux obtenus au site de l'Université Laval. Puisqu'il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs (fertilisation vs cultivar), nous avons fait une analyse en effet simple, en combinant tous les cultivars (Tableau 4). On peut observer que les plants qui ont reçu le plus faible régime de fertilisation (F2) ont significativement moins de tiges et de bourgeons floraux, mais que la qualité et la quantité des racines sont significativement plus élevées pour ce même traitement.

Tableau 4 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de Fleurs Rustiques

Traitement	Nombre de tiges	Nombre de bourgeons	Circonférence (cm)	Quantité racines	Qualité racines
F1	1,1 b	1,5 b	16,1 b	3,0 a	3,3 a
F2	0,8 a	0,8 a	14,2 a	3,6 b	3,8 b
F3	1,1 b	2,0 b	15,7 b	3,2 a	3,4 a
Prob.	0,0512	0,0236	0,0003	0,0236	0,0003

¹ : Probabilité d'obtenir une quantité de racines «très bonne à excellente» (cotes 4 et 5) en fonction des traitements

L'analyse binomiale de la qualité et de la quantité de racines n'a pas démontré d'interaction significative entre les cultivars et les traitements de fertilisation. L'analyse a donc pu être réalisée en considérant uniquement la fertilisation (tous cultivars confondus). Le tableau 5 nous indique que l'utilisation du traitement de fertilisation avec le plus faible régime (F2) procure une plus forte probabilité d'obtenir un système racinaire plus dense et de meilleure qualité, alors qu'il n'y a pas de différence entre les deux régimes de fertilisation les plus élevés (F1 et F3).

Tableau 5 : Analyse en binomiale de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de fertilisation – site de Fleurs Rustiques

Traitement	Quantité racines Probabilité (%) ¹	Qualité racines Probabilité (%)
F1	17,8 a	30,5 a
F2	56,2 b	69,8 b
F3	30,0 a	44,3 a
Prob.	0,0001	0,0001

¹ : Probabilité d'obtenir une quantité de racines «très bonne à excellente» (cotes 4 et 5) en fonction des traitements

Deuxième année

Site de l'Université Laval

La survie des plants a été évaluée au printemps 2013 afin de voir si les traitements de fertilisation appliqués l'année précédente pouvaient améliorer la résistance des plants à l'hiver. Parallèlement, quatre traitements d'hivernage ont été utilisés, certains offrant potentiellement une meilleure protection contre le gel. Les tableaux 6 à 9 présentent les résultats obtenus pour chacun des cultivars. S'il n'y avait pas d'interaction entre les facteurs «Fertilisation» et le facteur «Hivernage», les effets simples liés à ces deux traitements peuvent être analysés individuellement.

Pour l'espèce *E. purpurea* (Tableau 6), aucune différence significative n'est observée entre les différents traitements. Cette espèce a présenté une survie relativement bonne à l'hiver, atteignant jusqu'à 91 % de plants vendables. Le traitement d'hivernage 3 (tunnel non-chauffé) semble présenter une légère diminution de la survie, mais cette différence n'est pas significative. Les traitements n'ont pas non plus eu d'effet sur la floraison.

Tableau 6 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (*E. purpurea*) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
<i>E. purpurea</i>	Fert 1	Hivernage 1	83,3	7,17	13,6	125,4
		Hivernage 2	41,7	2,89	6,6	129,4
		Hivernage 3	45,8	7	14,7	125
		Hivernage 4	75	6,75	7,9	125
	Fert 2	Hivernage 1	54,2	6,92	8,8	125
		Hivernage 2	75	5,54	14,1	127,1
		Hivernage 3	54,2	4,96	8	125,3
		Hivernage 4	66,7	5,33	7,3	121,4
	Fert 3	Hivernage 1	91,7	8,88	15,3	124
		Hivernage 2	58,3	6,79	11,4	123,2
		Hivernage 3	45,8	6,50	16,9	129,6
		Hivernage 4	75	8,17	11,3	113,7
Effet fertilisation			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fert*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Le cultivar 'Tangerine Dream' (Tableau 7) a présenté un taux important de mortalité au site de l'Université Laval. Au total à peine 3 % des plants ont survécu et ce, uniquement dans les traitements de fertilisation 2 et 3 (avec une baisse de la fertilisation à l'automne). Notons que même les plants qui ont été conservés en chambre froide pendant l'hiver (Hivernage 4) ont présenté ce faible taux de survie. La faible présence de plants rend impossible l'analyse statistique des données de floraison par le logiciel SAS.

Tableau 7 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tangerine Dream	Fert 1	Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
		Hivernage 4	0	nd	nd	nd
	Fert 2					
		Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	8,3	13	18,5	125
	Fert 3	Hivernage 4	8,3	10	18	125
		Hivernage 1	8,3	7	6,5	125
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	16,7	10,5	11,5	125
		Hivernage 4	8,3	7	9	125
Effet fertilisation			n.s.	--	--	--
Effet Hivernage			n.s.	--	--	--
Fert*Hivernage			n.s.	--	--	--

Ce faible taux de survie a aussi été observé pour le cultivar 'Tiki Torch' (Tableau 8). Nous pouvons par contre observer une différence significative entre les traitements de fertilisation, indépendamment des traitements d'hivernage. Le traitement de fertilisation 2, qui consistait à couper complètement la fertilisation à partir du 1er août présente significativement un meilleur taux de survie que le traitement 1, où la fertilisation se poursuivait jusqu'au 15 octobre. Le traitement intermédiaire (F3) à ces deux traitements a également présenté une valeur intermédiaire. Ce cultivar semble donc améliorer la survie à l'hiver si la fertilisation est diminuée hâtivement lors de l'été.

Tableau 8 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tiki Torch	Fert 1	Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
		Hivernage 4	8,3	3,5	5,9	125
	Fert 2					
		Hivernage 1	37,5	8,7	13,5	125
		Hivernage 2	29,2	7	15,2	125
		Hivernage 3	8,3	8	11,7	125
	Fert 3	Hivernage 4	8,3	14,5	26,9	125
		Hivernage 1	8,3	7	7,7	114,5
		Hivernage 2	25	2,4	5,6	125
		Hivernage 3	16,7	4,2	8,8	125
		Hivernage 4	0	nd	nd	nd
Effet fertilisation			0,0483	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage				n.s.	n.s.	n.s.
Fert*Hivernage				n.s.	n.s.	n.s.
	Fert 1		2,1 b			
	Fert 2		20,8 a			
	Fert 3		12,5 ab			

L'effet bénéfique d'une diminution hâtive de la fertilisation observé précédemment est également présent pour le cultivar 'Tomato Soup' (Tableau 9). Ici encore, la fertilisation la plus faible en fin de saison a amélioré significativement le taux de survie des plants, passant de 0 % à 31 %. Pour ce cultivar, nous observons également un effet de la technique d'hivernage, les plants ayant été conservés au congélateur démontre un meilleur taux de survie l'année suivante. La combinaison d'une faible fertilisation et d'un entreposage en chambre froide a permis l'obtention d'un excellent taux de survie de 75 %, taux habituellement très difficile à atteindre dans les pépinières québécoises.

Tableau 9 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato soup) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de l'Université Laval

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tomato Soup	Fert 1	Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
		Hivernage 4	0	nd	nd	nd
	Fert 2					
		Hivernage 1	8,3	2,6	nd	nd
		Hivernage 2	25	7,6	3,5	130
		Hivernage 3	16,7	4,8	1,5	127,5
	Fert 3	Hivernage 4	75	4,8	4	128,3
		Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	8,3	12,3	4	125
		Hivernage 4	16,7	3,6	3	132,5
Effet fertilisation			0,0001	n.s.	n.s.	--
Effet Hivernage			0,0125	n.s.	n.s.	--
Fert*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	--
	Fert 1		0 b			
	Fert 2		31,3 a			
	Fert 3		6,25 b			
		Hivernage 1	2,8 b			
		Hivernage 2	8,3 b			
		Hivernage 3	8,3 b			
		Hivernage 4	30,6 a			

Site de Fleurs Rustiques

L'expérience qui s'est déroulée sur le site de l'entreprise 'Fleurs Rustiques' comportait un traitement de moins d'hivernage, puisque l'entreprise ne possède pas de chambre réfrigérée. Les résultats de survie hivernale sont présentés dans les tableaux 10 à 13.

L'espèce-type, *E. purpurea*, a à nouveau présenté des taux intéressants de survie hivernale, pouvant avoisiner le 100 % (Tableau 10). Des différences significatives ont été observées à la fois pour le facteur «Fertilisation» que pour le facteur «Hivernage». Pour cette espèce vigoureuse et exigeante en engrais, il semble que le fait de couper la fertilisation en août (F2) diminue ses chances de survies hivernales. À l'automne, les plants ayant reçu ce programme de fertilisation présentaient d'importants signes de carence. Ce traitement a abaissé le taux de survie de 79 % à 37 %. Concernant l'hivernage, le traitement 2 (hivernage à l'extérieur sous protection hivernale) a entraîné une diminution significative de la survie comparativement aux deux autres traitements. Le faible couvert de neige a sans doute entraîné un gel trop profond des plants. On observe également qu'une faible fertilisation a causé un délai significatif de la floraison.

Tableau 10 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (*E. purpurea*) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
<i>E. purpurea</i>	Fert 1	Hivernage 1	87,5	5,38	10,5	91,3
		Hivernage 2	25	4,5	10	94,5
		Hivernage 3	87,5	17,25	8,25	70,4
	Fert 2	Hivernage 1	37,5	2,75	6,5	106,5
		Hivernage 2	25	4,67	8,33	103,7
		Hivernage 3	50	2	2,5	100
	Fert 3	Hivernage 1	87,5	3,88	7,75	91,6
		Hivernage 2	50	4,33	8,17	90,5
		Hivernage 3	100	4,5	11,88	76,3
Effet fertilisation			0,021	n.s.	n.s.	0,0144
Effet Hivernage			0,008	n.s.	n.s.	0,0332
Fert*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Fert 1		66,7 a			85,4 b
	Fert 2		37,5 b			103,4 a
	Fert 3		79,2 a			86,1 b
		Hivernage 1	70,8 a			96,5 a
		Hivernage 2	33,3 b			96,2 a
		Hivernage 3	79,2 a			82,2 b

Le cultivar 'Tangerine Dream' n'a présenté aucune différence significative de survie à l'hiver ou de floraison sous les différentes combinaisons de traitements utilisés (Tableau 11). De façon générale, la fertilisation 2 semble à nouveau procurer une meilleure résistance à l'hiver, alors que le traitement d'hivernage 2 (à l'extérieur) semble donner de moins bons résultats si une plus forte fertilisation est utilisée. L'absence de différence significative ne permet pas de tirer des conclusions définitives. Notons que ce cultivar avait présenté une très forte mortalité au site de l'Université Laval.

Tableau 11 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tangerine Dream	Fert 1	Hivernage 1	37,5	4,66	16	90,5
		Hivernage 2	2	nd	nd	nd
		Hivernage 3	45,8	4,13	9,8	90,5
	Fert 2	Hivernage 1	54,2	2,75	6,6	81,3
		Hivernage 2	57,9	5,4	10,7	92
		Hivernage 3	33,3	3,46	10,5	89
	Fert 3	Hivernage 1	70,8	3,88	9,8	90,7
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	33,3	3,51	6,8	87,6
Effet fertilisation			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fert*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

La survie hivernale du cultivar 'Tiki Torch' présente une interaction significative entre le facteur «Fertilisation» et le facteur «Hivernage» (Tableau 12). Cela signifie que nous pouvons comparer les valeurs obtenues pour chaque combinaison de ces deux facteurs, et que nous ne pouvons pas observer les différences des effets simples de chacun de ces facteurs individuellement. Le meilleur résultat de survie est obtenu avec la fertilisation 2 en serre chauffée (hivernage 1). Ce traitement d'hivernage a également donné un bon taux de survie avec la fertilisation 3, mais a été très néfaste avec la fertilisation 1. L'effet protecteur de la fertilisation 2 ne semble pas avoir été suffisant pour lutter contre le froid plus important procuré par le traitement d'hivernage 2 (à l'extérieur).

Tableau 12 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tiki Torch	Fert 1	Hivernage 1	1 d	1,48	4,25	67
		Hivernage 2	0 d	nd	nd	nd
		Hivernage 3	54,2 ab	1,88	11,25	69,8
	Fert 2	Hivernage 1	62,5 a	2,88	8,63	89,8
		Hivernage 2	11,1 cd	0,48	7,25	108
		Hivernage 3	25 bcd	1,67	4,47	97,5
	Fert 3	Hivernage 1	41,7 abc	3,61	13	97,3
		Hivernage 2	8,3 cd	1,3	4,98	67
		Hivernage 3	29,2 abcd	3,78	9,18	90
Effet fertilisation			--	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			--	n.s.	n.s.	n.s.
Fert*Hivernage			0,022	n.s.	n.s.	n.s.

Le cultivar 'Tomato Soup' (Tableau 13) s'est comporté de façon similaire à ce qui avait été obtenu au site de l'Université Laval. La fertilisation 2 a de nouveau entraîné une augmentation significative de la survie hivernale, passant de 2,8 % en fertilisation continue à 27,8 % si la fertilisation est arrêtée le 1er août. L'hivernage 1 (serre chauffée/ventilée) semble favorable, mais n'a pas présenté de différence réellement significative.

Tableau 13 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato soup) selon les traitements de fertilisation et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Fertilisation	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tomato Soup	Fert 1	Hivernage 1	8,3	6,79	12	102,9
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
	Fert 2					
		Hivernage 1	41,7	3,79	8	104,4
		Hivernage 2	25	2,83	6	100,8
	Fert 3	Hivernage 3	16,7	2,84	6,5	106,3
		Hivernage 1	16,7	2,68	5,5	103,8
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	33,3	8,26	11,67	105,4
Effet fertilisation			0,0371	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage				n.s.	n.s.	n.s.
Fert*Hivernage				n.s.	n.s.	n.s.
	Fert 1		2,8 b			
	Fert 2		27,8 a			
	Fert 3		16,7 ab			

Conclusion de l'objectif 1

L'observation de l'ensemble des données de l'objectif 1 pour les deux sites permet de tirer quelques conclusions très intéressantes pour les producteurs. Il semble bien évident que pour les cultivars plus sensibles aux pertes hivernales, il est primordial d'abaisser rapidement la fertilisation en été (1er août) afin d'enclencher les mécanismes de mise en dormance de la couronne du plant. Les plants d'échinacées, principalement les cultivars hybrides, semblent vouloir poursuivre leur croissance très tard en automne, nuisant à cette entrée en dormance. La plante semble insensible aux signaux d'abaissement de la photopériode ou des températures plus froides. La diminution hâtive de la fertilisation semble être un moyen prometteur pour forcer cette mise en dormance de la plante, et ainsi assurer une meilleure survie hivernale. Par contre, pour un cultivar vigoureux et rustique comme *E. purpurea*, cette baisse de fertilité entraînera des carences qui nuiront à sa survie. Pour cette espèce, il est donc préférable de conserver un programme standard de fertilisation.

Concernant les protections hivernales, la conclusion pouvant être tirée pour le moment est qu'un hivernage à l'extérieur sous couverture géotextile n'assure pas une protection adéquate des plants si l'épaisseur de neige n'est pas suffisante.

Objectif 2 : Effet de la taille des fleurs sur l'acclimatation des échinacées

Première année

Site de l'Université Laval

Le tableau 14 présente la caractérisation des plants pour le site de l'Université Laval. L'analyse statistique démontre que le cultivar 'Tangerine Dream' a réagi favorablement à une taille précoce de la tige florale en produisant davantage de tiges florales et en présentant une circonférence de la couronne significativement supérieure à la fin de la saison. La quantité de racines a également été supérieure dans ce traitement pour ce cultivar. Le cultivar 'Tomato Soup' a également présenté une augmentation du nombre de tiges lorsque les hampes florales sont coupées dès leur apparition (T2). Les autres cultivars n'ont pas démontré de différence significative entre les traitements pour les facteurs mesurés.

Tableau 14 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon le moment de la taille des fleurs – site de l'Université Laval

Traitement	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Nombre de bourgeons	Circonférence (cm)	Quantité racines	Qualité racines
<i>E. purpurea</i>						
T1	1,9 a	4,0	4,9	14,3 a	4,3 a	3,7
T2	1,3 a	-	-	15,3 a	4,2 a	3,5
T3	1,7 a	2,4	4,3	14,5 a	4,3 a	3,4
T4	1,6 a	4,0	4,2	13,6 a	3,9 a	3,5
<i>Tangerine Dream</i>						
T1	1,1 a	6,7	0,6	8,0 a	3,0 a	3,5
T2	6,2 b	-	-	15,5 c	3,4 b	3,8
T3	1,4 a	6,5	1,4	10,1 b	2,9 a	3,3
T4	1,2 a	6,2	0,6	7,9 a	2,7 a	3,2
<i>Tiki Torch</i>						
T1	1,0 a	1,6	0,7	18,4 a	3,4 a	3,5
T2	1,3 a	-	-	18,3 a	3,5 a	3,5
T3	1,0 a	1,2	0,8	18,2 a	3,4 a	3,3
T4	1,2 a	1,3	1,0	17,4 a	3,6 a	3,5
<i>Tomato Soup</i>						
T1	3,2 a	6,6	4,2	15,3 a	3,4 a	3,6
T2	4,5 b	-	-	15,5 a	3,4 a	3,6
T3	3,3 a	6,8	4,0	15,2 a	3,5 a	3,5
T4	3,4 a	7,5	3,8	14,8 a	3,6 a	3,8
Prob. interaction	0,0001	Effet culti	Effet culti	0,0001	0,0108	ns

L'analyse binomiale indique que la probabilité d'obtenir un système racinaire de haute qualité est variable selon le cultivar (Tableau 15). Pour le cultivar 'Tangerine Dream', une taille précoce de la tige florale entraînera une augmentation de la quantité et de la qualité des racines. Les résultats obtenus chez les trois autres cultivars sont variables, mais on peut observer la tendance que plus on retarde la taille, moins il y aura de racines. Un exemple de l'apparence des systèmes racinaires est présenté à la figure 4.

Tableau 15 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de taille – site de l'Université Laval

Traitement	Quantité racines Probabilité (%) ¹	Qualité racines Probabilité (%)
<i>E. purpurea</i>		
T1	90,6 b	62,5 b
T2	84,8 ab	54,5 ab
T3	84,8 ab	36,3 a
T4	69,2 a	42,3 a
<i>Tangerine Dream</i>		
T1	12,8 b	48,9 b
T2	39,6 c	79,1 c
T3	6,3 b	33,3 ab
T4	0,0 a	25,0 a
<i>Tiki Torch</i>		
T1	34,0 a	53,2 a
T2	52,1 a	54,1 a
T3	46,8 a	40,2 a
T4	52,1 a	52,1 a
<i>Tomato Soup</i>		
T1	37,5 a	58,3 a
T2	52,1 ab	57,4 a
T3	44,7 ab	53,2 a
T4	58,3 b	68,8 a
Prob.	0,0001	0,0012

¹ : Probabilité d'obtenir une quantité de racines «très bonne à excellente» (cotes 4 et 5) en fonction des traitements



Figure 4 : Exemple de systèmes racinaires- cv. Tomato Soup (Université Laval – 23 octobre 2012)

Site de Fleurs Rustiques

Les résultats obtenus pour le site de Fleurs Rustiques (Tableau 16) sont très similaires à ceux obtenus à l'Université Laval. Ici encore le cultivar 'Tangerine Dream' répond favorablement à une taille précoce, en produisant une couronne de plus forte circonférence et un plus grand nombre de tiges florales. Ce cultivar, de même que 'Tomato Soup', répondent donc à la taille précoce des fleurs par un tallage plus prononcé. Selon notre hypothèse, ce tallage pourrait potentiellement améliorer la survie à l'hiver.

Tableau 16 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon le moment de la taille des fleurs – site de Fleurs Rustiques

Traitement	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Nombre de bourgeons	Circonférence (cm)	Quantité racines	Qualité racines
<i>E. purpurea</i>						
T1	0,25 a	0,42	0,54	18,0 a	4,8	4,7
T2	0,48 a	-	-	17,8 a	4,7	4,5
T3	0,50 a	0,25	1,3	17,1 a	4,7	4,5
T4	0,85 a	0,73	1,8	17,7 a	4,7	4,6
<i>Tangerine Dream</i>						
T1	1,0 a	5,2	0,69	10,7 a	2,9	3,5
T2	7,1 b	-	-	19,3 c	3,4	3,8
T3	1,1 a	5,8	0,50	14,8 b	2,9	3,4
T4	1,0 a	5,2	0,73	11,0 a	2,9	3,4
<i>Tiki Torch</i>						
T1	0,69 a	1,2	0,39	20,8 a	3,1	3,4
T2	0,86 a	-	-	21,3 a	3,3	3,4
T3	0,39 a	0,5	0,19	21,3 a	3,1	3,3
T4	0,89 a	0,6	0,61	21,5 a	3,1	3,6
<i>Tomato Soup</i>						
T1	1,7 a	4,0	2,3	20,8 a	3,9	4,4
T2	4,0 b	-	-	22,0 a	4,2	4,5
T3	2,1 a	4,6	2,4	20,0 a	3,8	4,5
T4	1,7 a	4,6	1,7	20,3 a	4,1	4,3
Prob. interaction	0,0001	Effet culti	Effet culti	0,0001	Effet trait Effet culti	Effet culti

L'analyse statistique n'a pas démontré d'interaction significative entre les cultivars et les traitements de taille pour la variable «quantité de racines». Nous avons donc pu extraire l'effet simple des traitements de fertilisation, tous cultivars confondus. Le tableau 17 nous indique donc qu'une taille hâtive de la tige florale entraîne une augmentation significative de la quantité de racines, et qu'il n'y a pas de différence entre les autres traitements.

Tableau 17 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacée selon les traitements de taille – site de Fleurs Rustiques

Traitement	Quantité racines
T1	3,7 a
T2	3,9 b
T3	3,6 a
T4	3,7 a
Prob.	0,0086

Pour terminer, le regroupement des cotes racinaires en plants favorables et défavorables n'a pas présenté de différence significative entre les traitements, malgré certaines tendances similaires à celles observées sur le site de l'Université Laval. Nous observons un effet «cultivar» significatif, indiquant que certains cultivars ont moins de racines que d'autres. Ce facteur présente par contre peu d'intérêt dans la présence étude.

Deuxième année

Site de l'Université Laval

La survie des plants a été évaluée au printemps 2013 afin de voir si les traitements de taille des fleurs appliqués l'année précédente pouvaient améliorer la résistance des plants à l'hiver. Parallèlement, les quatre mêmes traitements d'hivernage de l'objectif 1 ont été utilisés. Les tableaux 18 à 21 présentent les résultats obtenus pour chacun des cultivars. S'il n'y avait pas d'interaction entre les facteurs «Taille» et le facteur «Hivernage», les effets simples liés à ces deux traitements peuvent être analysés individuellement.

Pour l'espèce-type (*E. purpurea*), aucune différence significative n'a été observée sur la survie hivernale ou la floraison, peu importe la combinaison de traitement de taille ou d'hivernage (Tableau 18). Cette espèce a tout de même obtenu en général une bonne survie à l'hiver, limitant la possibilité d'obtenir un gain par l'utilisation de traitements spécifiques. Rappelons que la taille des fleurs à différents moments n'avait pas entraîné de modification dans la morphologie de la plante au cours de la première année (voir Tableau 14).

Tableau 18 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (*E. purpurea*) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
<i>E. purpurea</i>	Taille 1	Hivernage 1	100	8,2	17,8	122,7
		Hivernage 2	75	10,3	26,4	125
		Hivernage 3	41,7	12,2	19,5	122,3
		Hivernage 4	75	8,8	14,5	117
	Taille 2					
		Hivernage 1	100	9,1	12,9	122,4
		Hivernage 2	87,5	12,4	28,3	125
		Hivernage 3	62,5	8,3	20,3	124,1
	Taille 3	Hivernage 4	75	10,2	13	120
		Hivernage 1	75	8,2	13,6	122,9
		Hivernage 2	95,2	5,6	14	120
	Taille 4	Hivernage 3	100	11,5	18,8	119,3
		Hivernage 4	87,5	7,5	21	119,8
		Hivernage 1	100	13,1	20,4	123,3
		Hivernage 2	75	8,3	12,1	122,4
		Hivernage 3	62,5	9	22,5	122,3
		Hivernage 4	52,1	9	11	121
Effet taille			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Taille*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Pour les cultivars 'Tangerine Dream' (Tableau 19) et 'Tiki Torch' (Tableau 20), nous n'observons également aucune différence significative sur la survie hivernale ou sur la floraison. Notons que le taux de survie a été très faible pour le cultivar 'Tangerine Dream', limitant une conclusion trop hâtive sur les effets réels des traitements. Pour le cultivar 'Tiki Torch', l'hivernage en tunnel non chauffé (Hivernage 3) semble avoir donné les moins bons résultats de survie, mais cette différence n'est pas significative.

Tableau 19 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tangerine Dream	Taille 1	Hivernage 1	16,7	3,8	4,5	123,8
		Hivernage 2	8,3	6	2	124,4
		Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	16,7	11	9	124,4
	Taille 2					
		Hivernage 1	0	0	0	nd
		Hivernage 2	29,2	5,8	6	119,2
		Hivernage 3	16,7	5,6	6,5	125,3
	Taille 3	Hivernage 4	0	0	0	nd
		Hivernage 1	0	0	0	nd
		Hivernage 2	0	0	0	nd
	Taille 4	Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	0	0	0	nd
		Hivernage 1	25	6,3	4,3	124,5
		Hivernage 2	8,3	15	11	124,4
		Hivernage 3	16,7	4,8	1	129,5
		Hivernage 4	0	0	0	nd
Effet taille			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Taille*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tableau 20 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval.

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tiki Torch	Taille 1	Hivernage 1	8,3	5	3	123,4
		Hivernage 2	33,3	5	8,5	117,6
		Hivernage 3	8,3	10	10	104
		Hivernage 4	35,4	5	10,2	122,8
	Taille 2					
		Hivernage 1	16,7	5,5	8,5	107,2
		Hivernage 2	16,7	8	12	122,1
		Hivernage 3	0	0	0	nd
	Taille 3	Hivernage 4	16,7	6,5	12,5	118,8
		Hivernage 1	8,3	9	15	126,3
		Hivernage 2	12,5	0	0	nd
	Taille 4	Hivernage 3	8,9	1,5	3	111,7
		Hivernage 4	6,8	3	2,8	114,9
		Hivernage 1	10,4	6	8,3	118,1
		Hivernage 2	0	0	0	nd
		Hivernage 3	1,6	4	6	118,9
		Hivernage 4	3,6	7	12	116,6
Effet Taille			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Taille*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Pour le cultivar 'Tomato Soup' (Tableau 21), le taux de survie en général a aussi été très faible. On remarque cependant un effet significatif de la technique d'hivernage, les plants ayant été conservés en chambre froide à -2°C (Hivernage 4) présentant une meilleure survie à l'hiver comparativement aux trois autres traitements. Il n'y a pas eu d'effet sur la floraison.

Tableau 21 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato Soup) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de l'Université Laval

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tomato Soup	Taille 1	Hivernage 1	8,3	1	0	nd
		Hivernage 2	8,3	5,5	2	130,5
		Hivernage 3	8,3	14	9	124,4
		Hivernage 4	16,7	5,3	3	133
	Taille 2					
		Hivernage 1	0	0	0	nd
		Hivernage 2	0	0	0	nd
		Hivernage 3	0	0	0	nd
	Taille 3	Hivernage 4	33,3	6,9	4,7	130
		Hivernage 1	8,3	8	5	126,1
		Hivernage 2	8,3	1	1	125
	Taille 4	Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	33,3	5,8	1,3	127,5
		Hivernage 1	0	0	0	nd
		Hivernage 2	25	8	4,3	128,5
		Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	41,7	4,4	1,8	130,1
Effet Taille			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			0,0001	n.s.	n.s.	n.s.
Taille*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		Hivernage 1	4,2 b			
		Hivernage 2	10,4 b			
		Hivernage 3	2,1 b			
		Hivernage 4	31,3 a			

Site de Fleurs Rustiques

Les résultats obtenus au site de Fleurs Rustiques sont très similaires à ceux obtenus au site de l'Université Laval, à savoir que la taille des fleurs au cours de l'année 2012 n'a pas eu d'incidence sur la survie à l'hiver des plants. Pour *E. purpurea (Tableau 22), les traitements d'hivernage ont cependant démontré des différences significatives au niveau de la survie, les plants qui ont été hivernés à l'extérieur sous protection hivernale (membrane géotextile) présentant une survie significativement inférieure aux deux autres traitements. Le peu de neige n'a donc pas procuré une protection suffisante pour cette espèce pourtant reconnue comme étant tolérante au froid. Une interaction significative est observée entre les deux facteurs (taille et hivernage) en ce qui a trait au nombre de fleurs produites. Cette interaction indique que certains traitements de taille donneront davantage de fleurs selon la technique d'hivernage utilisée. De façon générale, les plants dont les fleurs ont été taillées dès leur apparition l'été précédent semblent produire davantage de fleurs.*

Tableau 22 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (*E. purpurea*) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
<i>E. purpurea</i>	Taille 1	Hivernage 1	65,2	5,25	8,48 cde	91,8
		Hivernage 2	37,5	3,5	4,32 e	103,5
		Hivernage 3	100	4,63	9,88 cd	94,5
	Taille 2					
		Hivernage 1	98,6	4	11,8 abcd	87,7
		Hivernage 2	50	5,25	17,1 a	97,8
	Taille 3	Hivernage 3	81,4	4,17	9,53 cde	87,3
		Hivernage 1	100	5	7,5 de	99,5
	Taille 4	Hivernage 2	62,5	4,17	10,8 bcd	96,7
		Hivernage 3	100	5,5	14 abc	77,5
Effet Taille			n.s.	n.s.	--	n.s.
Effet Hivernage			0,0031	n.s.	--	n.s.
Taille*Hivernage			n.s.	n.s.	0,0095	n.s.
		Hivernage 1	87,8 a			
		Hivernage 2	53,1 b			
		Hivernage 3	95,4 a			

Les cultivars 'Tangerine Dream' (Tableau 23) et 'Tiki Torch' (Tableau 24) se sont comportés de façon similaire au moment de la reprise. Les traitements de taille n'ont pas amélioré significativement la survie hivernale, malgré le fait que peu de plants du cultivar 'Tangerine Dream' n'aient survécu parmi ceux qui ont reçu le traitement de taille 4 (taille à la fin de floraison). Cependant, nous observons à nouveau pour ces deux cultivars un effet significatif du traitement d'hivernage, les plants qui ont été conservés à l'extérieur sous protection hivernale ayant démontré le plus faible taux de survie.

Tableau 23 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tangerine Dream	Taille 1	Hivernage 1	12,5	1,43	5,5	83,6
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	25	4,53	7	83,4
	Taille 2					
		Hivernage 1	37,5	2	6,8	71
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
	Taille 3	Hivernage 3	29,2	2,83	6,5	80,9
		Hivernage 1	29,2	6,45	11,8	87,9
	Taille 4	Hivernage 2	12,5	4,65	10	76,4
		Hivernage 3	54,2	4,5	10,1	84,6
Effet Taille			n.s.	0,0188	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			0,0183	n.s.	n.s.	n.s.
Taille*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		Hivernage 1	19,8 ab			
		Hivernage 2	3,1 b			
		Hivernage 3	33,3 a			

Tableau 24 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques.

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tiki Torch	Taille 1	Hivernage 1	25	2,67	9,67	64,9 c
		Hivernage 2	20,8	4,5	10,5	83,7 ab
		Hivernage 3	50	2	7,5	68,8 bc
	Taille 2					
		Hivernage 1	20,8	4,33	11	66,4 bc
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
	Taille 3	Hivernage 3	25	2,5	5,67	63,8 c
		Hivernage 1	58,3	2,17	6	90,7 a
	Taille 4	Hivernage 2	8,3	2	3,5	61,7 bc
		Hivernage 3	33,3	2,75	7,25	67,4 bc
Effet Taille			n.s.	n.s.	n.s.	--
Effet Hivernage			0,0084	n.s.	n.s.	--
Taille*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	0,0258
		Hivernage 1	35,4 a			
		Hivernage 2	7,3 b			
		Hivernage 3	35,4 a			

Tout comme dans l'objectif 1, le cultivar 'Tomato Soup' a à nouveau présenté un grand nombre de plants morts pour le site de Fleurs Rustiques, rendant difficile toute analyse statistique (Tableau 25). Un effet significatif lié à la taille a été observé, mais ce faible taux de survie rend risqué l'énoncé d'une conclusion à ce sujet.

Tableau 25 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato Soup) selon les traitements de taille des fleurs et d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Taille	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tomato Soup	Taille 1	Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	8,3	5	14	108
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
	Taille 2	Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
	Taille 3	Hivernage 1	8,3	6	19	108
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
	Taille 4	Hivernage 1	25	4	7	108
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	16,7	2	6	94,5
Effet Taille			0,009	--	--	--
Effet Hivernage			n.s.	--	--	--
Taille*Hivernage			n.s.	--	--	--
	Taille 1		2,8 b			
	Taille 2		0 b			
	Taille 3		2,8 b			
	Taille 4		13,9 a			

Conclusion de l'objectif 2

Suite à la première année de culture, nous avons observé que le fait de couper précocement les tiges florales a entraîné chez certains cultivars la formation de plants avec une couronne plus large et bien souvent, avec un plus grand nombre de tiges (effet de tallage) et davantage de racines. Ces effets ne semblent pas avoir apporté aucun avantage lié à la survie hivernale et à la floraison l'année suivante. Par contre, nous observons à nouveau que la méthode d'hivernage a un impact majeur sur la survie au froid, tout comme il avait été observé dans l'objectif 1. Si le couvert de neige risque d'être faible, il est préférable d'éviter d'hiverner les plants à l'extérieur avec comme seule protection une membrane géotextile. Ce traitement a entraîné les pertes les plus importantes. Par contre, si la neige est abondante et précoce, cette technique peut devenir appropriée mais demeurera risquée.

Objectif 3 : Effet du stade physiologique des plants sur leur potentiel de survie à l'hiver

Première année :

Site de l'Université Laval

Les tableaux 26 et 27 démontrent clairement que l'âge du plant a un effet considérable sur le nombre de tiges produits au cours de la saison, ainsi que sur le nombre de fleurs et sur la qualité des racines. Les plants les plus vieux (S2) ont produit significativement davantage de tiges florales et de fleurs, et présentent généralement une couronne de plus grande circonférence. La qualité des racines a par contre été supérieure pour les plus jeunes plants (S1), ce qui peut être normal puisque les racines brunissent naturellement lorsqu'elles sont plus âgées. On pourrait ainsi s'attendre à ce que les plants plus âgés présentent une meilleure survie à l'hiver.

Tableau 26 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon l'âge des plants – site de l'Université Laval

Traitement	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Nombre de bourgeons	Circonférence (cm)	Quantité racines	Qualité racines
<i>E. purpurea</i>						
S1	1,0 a	2,1	3,6	11,2 a	3,7	3,7
S2	2,6 b	5,1	2,9	18,7 b	3,8	3,2
<i>Tangerine Dream</i>						
S1	1,4 a	6,8	1,1	7,7 a	2,5	3,4
S2	4,5 b	8,8	2,3	15,8 b	2,7	2,5
<i>Tiki Torch</i>						
S1	0,6 a	0,8	0,4	14,8 a	3,5	3,8
S2	1,7 b	2,6	0,7	18,6 b	3,1	2,7
<i>Tomato Soup</i>						
S1	2,9 a	7,0	2,9	13,9 a	3,7	3,9
S2	4,3 b	8,8	2,9	15,5 a	4,0	3,3
Prob. interaction	0,0001	Effet culti Effet stade	Effet culti	0,0117	Effet culti	Effet culti Effet stade

Tableau 27 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacée selon l'âge des plants (tous cultivars confondus) – site de l'Université Laval

Traitement	Nombre de fleurs	Qualité racines
S1	4,2 a	3,7 b
S2	6,3 b	2,9 a
Prob.	0,0001	0,0001

L'analyse binomiale de la qualité des racines démontre que la probabilité d'obtenir un système racinaire de bonne qualité est significativement plus élevée chez les jeunes plants et ce, pour trois des cultivars à l'étude (Tableau 28). Concernant la quantité de racines, seuls les cultivars ont démontré entre eux une différence significative, ce qui est peu important pour cette étude.

Tableau 28 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacées selon l'âge des plants – site de l'Université Laval

Traitement	Quantité racines Probabilité (%) ¹	Qualité racines Probabilité (%)
<i>E. purpurea</i>		
S1	59,4	46,9 a
S2	40,2	31,9 a
<i>Tangerine Dream</i>		
S1	4,3	41,3 b
S2	10,6	2,1 a
<i>Tiki Torch</i>		
S1	52,1	54,3 b
S2	32,6	15,2 a
<i>Tomato Soup</i>		
S1	59,0	74,4 b
S2	68,8	22,9 a
<i>Prob. interaction</i>	<i>Effet culti</i>	0,0127

¹ : Probabilité d'obtenir une quantité de racines «très bonne à excellente» (cotes 4 et 5) en fonction des traitements

Site de Fleurs Rustiques

Encore une fois, les données recueillies au site de Fleurs Rustiques sont très similaires à celles obtenues au site de l'Université Laval. Les plants plus âgés présentent un nombre de tiges significativement plus élevé que les jeunes plants (Tableau 29). Pour deux des cultivars (*Purpurea* et 'Tangerine Dream'), la circonférence des plants plus âgés est également supérieure à celles des jeunes plants, comme il avait été observé à l'Université Laval. Pour ces deux mêmes cultivars, la quantité de racines est significativement plus grande chez les plants plus âgés. Puisqu'il n'y avait pas d'interaction entre les cultivars et les traitements pour les variables «nombre de racines» «nombre de bourgeons» et «qualité des racines», nous avons pu observer les effets simples liés uniquement au stade (Tableau 30). On observe que les jeunes plants produisent significativement moins de fleurs et de bourgeons, mais maintiennent un aspect du système racinaire de meilleure qualité.

Tableau 29 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacées selon l'âge des plants – site de Fleurs Rustiques

Traitement	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Nombre de bourgeons	Circonférence (cm)	Quantité racines	Qualité racines
<i>E. purpurea</i>						
S1	0,3 a	0,3	0,7	16,2 a	3,9 a	4,4
S2	3,1 b	4,4	1,3	21,3 b	4,4 b	3,3
<i>Tangerine Dream</i>						
S1	1,0 a	4,5	0,8	9,2 a	2,6 a	3,5
S2	5,2 b	8,3	1,5	18,3 b	3,6 b	2,6
<i>Tiki Torch</i>						
S1	0,9 a	0,6	0,6	21,8 a	3,0 a	3,7
S2	1,8 b	2,4	1,1	19,9 a	3,1 a	2,2
<i>Tomato Soup</i>						
S1	1,6 a	4,4	1,8	21,3 a	3,9 a	4,6
S2	4,1 b	7,6	3,0	21,3 a	3,8 a	3,3
Prob. interaction	0,0036	Effet culti Effet stade	Effet culti Effet stade	0,0001	0,0003	Effet culti Effet stade

Tableau 30 : Évaluation de la qualité des plants d'échinacées selon l'âge des plants (tous cultivars confondus) – site de Fleurs Rustiques

Traitement	Nombre de fleurs	Nombre de bourgeons	Qualité racines
S1	2,5 a	1,0 a	4,0 b
S2	5,6 b	1,7 b	2,8 a
Prob.	0,0001	0,0012	0,0001

L'analyse binomiale de la quantité et de la qualité des racines est variable selon les cultivars. Pour 'Tangerine Dream', les jeunes plants avaient très peu de racines comparativement aux plants plus âgés (Tableau 31). L'absence d'interaction a permis d'isoler des traitements de stade, ce qui a permis de démontrer que les jeunes plants ont des racines significativement de meilleure qualité que les plants plus âgés (Tableau 32), exactement comme il avait été aussi observé au site de l'Université Laval.

Tableau 31 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacées selon l'âge des plants – site de Fleurs Rustiques

Traitement	Quantité racines Probabilité (%) ¹	Qualité racines Probabilité (%)
<i>E. purpurea</i>		
S1	88,9 a	88,8 a
S2	74,1 a	51,6 a
<i>Tangerine Dream</i>		
S1	0,00 a	42,8 b
S2	67,7 b	9,7 a
<i>Tiki Torch</i>		
S1	31,4 a	54,2 b
S2	28,0 a	12,0 a
<i>Tomato Soup</i>		
S1	69,4 a	97,2 b
S2	78,8 a	45,5 a
Prob. interaction	0,0001	<i>Effet culti</i> <i>Effet stade</i>

¹ : Probabilité d'obtenir une quantité de racines «très bonne à excellente» (cotes 4 et 5) en fonction des traitements

Tableau 32 : Évaluation de la qualité des racines d'échinacées selon l'âge des plants (tous cultivars confondus) – site de Fleurs Rustique

Traitement	Qualité racines Probabilité (%) ¹
S1	79,8 b
S2	25,2 a
Prob.	0,0001

¹ : Probabilité d'obtenir une quantité de racines 'très bonne à excellente' (cote 4 et 5) en fonction des traitements.

Deuxième année

Site de l'Université Laval

Nous avons observé au cours de la première année que les plants qui ont été empotés en février (Stade 2) présentaient pour la plupart des cultivars une dimension de la couronne et un nombre de tiges supérieurs aux plants ayant été empotés plus tard, en juin (Stade 1). Pour l'espèce *E. purpurea*, qui obtient généralement une bonne survie à l'hiver, aucune différence significative n'est observable entre les différentes combinaisons de traitements de stade et d'hivernage (Tableau 33).

Tableau 33 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (*E. purpurea*) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval et de Québec Multiplants

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
<i>E. purpurea</i>	Stade 1	Hivernage 1	66,7	7,6	17,6	124,1
		Hivernage 2	87,5	7,3	15,1	116,3
		Hivernage 3	75	9,1	20,2	120,6
		Hivernage 4	62,5	8	19,3	120,3
	Stade 2	Hivernage 1	58,3	9,1	15,8	122,3
		Hivernage 2	75	8,7	12,3	122
		Hivernage 3	41,7	9,7	23,4	120,2
		Hivernage 4	54,2	7	12,5	115,4
Effet Stade			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Effet Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Stade*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Dans cette expérience (objectif 3), les cultivars 'Tangerine Dream' (Tableau 34) et 'Tiki Torch' (Tableau 35) n'ont pas obtenu une très forte survie hivernale, rendant l'interprétation des analyses plus hasardeuse. Néanmoins, aucune différence significative n'est visible pour la survie selon le stade et les traitements d'hivernage.

Tableau 34 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval et de Québec Multiplants

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tangerine Dream	Stade 1	Hivernage 1	1	3,3	2,8	76
		Hivernage 2	0	0	0	nd
		Hivernage 3	8,3	4,3	3,8	125
		Hivernage 4	0	0	0	nd
	Stade 2	Hivernage 1	0	0	0	nd
		Hivernage 2	8,3	3	1	125
		Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	16,7	8,5	8	125
Effet Stade			n.s.	--	--	--
Effet Hivernage			n.s.	--	--	--
Stade*Hivernage			n.s.	--	--	--

Tableau 35 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval et de Québec Multiplants

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tiki Torch	Stade 1	Hivernage 1	12,5	7	11	90,5
		Hivernage 2	0	0	0	nd
		Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	8,3	4	5,8	108,8
	Stade 2	Hivernage 1	0	0	0	
		Hivernage 2	8,3	10,8	13,6	96
		Hivernage 3	8,3	6,9	6,3	104
		Hivernage 4	8,3	3,4	11,1	125
Effet Stade			n.s.	--	--	--
Effet Hivernage			n.s.	--	--	--
Stade*Hivernage			n.s.	--	--	--

Le cultivar 'Tomato Soup' n'a pas non plus obtenu une très forte survie hivernale dans cette expérience, mais on peut tout de même observer que le traitement d'hivernage en chambre froide (Hivernage 4) a entraîné une augmentation significative de la survie à l'hiver (Tableau 36)

Tableau 36 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato Soup) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de l'Université Laval et de Québec Multiplants

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tomato Soup	Stade 1	Hivernage 1	0	0	0	nd
		Hivernage 2	58,3	5	5	125
		Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	37,5	8,5	3,5	125
	Stade 2	Hivernage 1	0	0	0	nd
		Hivernage 2	0	0	0	nd
		Hivernage 3	0	0	0	nd
		Hivernage 4	33,3	3,2	1	125
Effet Stade			n.s.	n.s.	--	--
Effet Hivernage			0,0430	n.s.	--	--
Stade*Hivernage			n.s.	n.s.	--	--
		Hivernage 1	0			
		Hivernage 2	29,2			
		Hivernage 3	0			
		Hivernage 4	35,4			

Site de Fleurs Rustiques

Alors qu'il n'y avait pas de différence de survie due à l'âge des plants au site de l'Université Laval, un effet significatif important a été observé au site de Fleurs Rustiques pour l'espèce *E. purpurea*. Les plants du stade 1 (empotés en juin 2012) ont présenté une survie hivernale de

beaucoup supérieure aux plants du stade 2 (empotés en février 2012), passant de 12,5 % de survie à 83,1 % (Tableau 37). Les plants du stade 1 ont également fleuri plus rapidement que ceux du stade 2. Parallèlement, on observe à nouveau un effet presque significatif ($P=0,06$) des traitements d'hivernage, les plants qui ont été conservés à l'extérieur sous membrane géotextile présentant le plus faible taux de survie alors que ceux ayant été conservés sous tunnel ventilé non-chauffé obtenaient une meilleure survie.

Tableau 37 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (*E. purpurea*) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
<i>E. purpurea</i>	Stade 1	Hivernage 1	83,1	4,33	11,8	84,9 b
		Hivernage 2	66,5	4,17	10,8	85,6 b
		Hivernage 3	99,8	5,67	13	71,1 c
	Stade 2	Hivernage 1	20,8	3,5	7,5	101,4 a
		Hivernage 2	1	1	1	109,2 a
		Hivernage 3	16,7	3,75	10,8	108,9 a
Effet Stade			0,0001	n.s.	n.s.	--
Effet Hivernage			0,06	n.s.	n.s.	--
Stade*Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	0,0058
	Stade 1		83,1 a			
	Stade 2		12,5 b			
		Hivernage 1	52 ab			
		Hivernage 2	33,2 b			
		Hivernage 3	58,2 a			

L'effet significatif de l'hivernage s'est à nouveau présenté pour le cultivar 'Tangerine Dream', où les plants qui ont été hivernés à l'extérieur ont présenté le plus faible taux de survie, alors que ceux hivernés sous tunnel ventilé ont obtenu le meilleur taux de survie (Tableau 38). Le peu de plants qui ont survécu au total empêche une analyse statistique valable de la floraison.

Tableau 38 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tangerine Dream) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tangerine Dream	Stade 1	Hivernage 1	8,3	9	25	108
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	33,3	4,33	9,33	99
	Stade 2	Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	8,3	4,83	9,08	84
Effet Stade			n.s.	--	--	--
Effet Hivernage			0,0267	--	--	--
Stade*Hivernage			n.s.	--	--	--
		Hivernage 1	4,2 b			
		Hivernage 2	0 b			
		Hivernage 3	20,8 a			

Pour le cultivar Tiki Torch, nous observons un effet similaire à celui obtenu avec *E. purpurea*, c'est-à-dire que les plants du stade 1 (plus jeune) ont présenté un meilleur taux de survie à l'hiver que les plants plus âgés (Tableau 39).

Tableau 39 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tiki Torch) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tiki Torch	Stade 1	Hivernage 1	20,8	1,83	4,83	77,3
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	25	1,75	7,5	68,9
	Stade 2	Hivernage 1	0	nd	nd	nd
		Hivernage 2	0	nd	nd	nd
		Hivernage 3	0	nd	nd	nd
Effet Stade			0,0483	--	--	--
Effet Hivernage			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Stade*Hivernage			n.s.	--	--	--
	Stade 1		15,3 a			
	Stade 2		0 b			

Tout comme pour les deux objectifs précédents, le cultivar 'Tomato Soup' a été très affecté par l'hiver au site de Fleurs Rustiques (Tableau 40). Pour cet objectif, la totalité des plants sont morts, rendant impossible toute analyse.

Tableau 40 : Évaluation de la survie et de la floraison des plants d'échinacée (cv. Tomato Soup) selon l'âge des plants et les traitements d'hivernage – site de Fleurs Rustiques

	Âges des plants	Hivernage	% Survie	Nombre de tiges	Nombre de fleurs	Jours avant floraison
Tomato Soup	Stade 1	Hivernage 1	0	--	--	--
		Hivernage 2	0	--	--	--
		Hivernage 3	0	--	--	--
	Stade 2	Hivernage 1	0	--	--	--
		Hivernage 2	0	--	--	--
		Hivernage 3	0	--	--	--
Effet Stade			n.s.	--	--	--
Effet Hivernage			n.s.	--	--	--
Stade*Hivernage			n.s.	--	--	--

Conclusion de l'objectif 3

Après une saison de culture, les plants d'échinacées qui ont été empotés plus tôt dans l'année ont présenté une couronne plus large et un nombre de tiges plus important que les plants qui ont été empotés 4 mois plus tard, en juin. Cet effet n'a cependant pas amélioré la survie à l'hiver des plants. Au contraire, il semble même que les plants plus jeunes ont présenté une meilleure résistance à l'hiver. La qualité des racines des jeunes plants était d'ailleurs meilleure que ceux des plants plus vieux l'automne précédent. Ceci indique qu'il n'y a pas d'avantage à empoter les plants plus tôt en saison, s'ils ne sont pas destinés à être vendus l'année de la plantation.

2.2 DISCUSSION GÉNÉRALE

Depuis une dizaine d'années, de nouveaux cultivars d'échinacées sont offerts sur le marché, proposant de nouvelles variétés de couleur orangée très différentes de la traditionnelle couleur rose de l'*Echinacea purpurea*. Ces cultivars sont issus de croisements réalisés entre *E. purpurea* et *E. paradoxa*, une espèce retrouvée dans la section centrale du sud des États-Unis (Texas, Missouri, Arkansas). Ce gain ornemental s'est fait au dépend d'une perte de leur résistance au froid. En effet, d'importantes pertes hivernales sont reportées dans la plupart des pépinières canadiennes et du nord des États-Unis, de telle sorte que les producteurs ont pris l'habitude de mettre en culture la plante en février, en serre, afin de pouvoir la vendre en fleurs dès le printemps et ainsi éviter d'avoir à les hiverner dans leur entreprise. On constate cependant que le consommateur héritera de cette problématique, un grand nombre de plants ne survivant pas au premier hiver une fois plantés dans l'aménagement.

Afin de tenter de réduire les pertes hivernales survenant tant chez les producteurs que chez les consommateurs, ce projet a étudié différentes conditions culturelles pouvant permettre à la plante de s'acclimater aux conditions hivernales. En effet, la capacité d'une plante à survivre à l'hiver dépend de plusieurs facteurs. L'acclimatation est le premier facteur affectant la tolérance au froid des plantes (Perry, 2009). Cette acclimatation est d'abord dépendante des conditions climatiques auxquelles sera soumise la plante avant l'arrivée de l'hiver (Perry et Herrick, 1996), mais également du stade physiologique qu'elle aura atteint et de la préparation du plant durant la saison de croissance. Puisque chez les vivaces, les structures végétatives assurant la survie à l'hiver sont les racines et la couronne (Iles et Agnew, 1993; Iles et al., 1995; Kim et Anderson, 2006), toutes approches et pratiques culturales visant à favoriser le développement optimal de ces structures végétatives, l'accumulation de sucres et autres composés cryoprotectants, permettront une meilleure survie à l'hiver. C'est ce que l'on nomme le « conditionnement » qui vise à optimiser la vigueur de la plante et à la préparer aux conditions adverses. Parmi les pratiques pouvant conditionner la plante, la fertilisation et la taille des plantes jouent un rôle essentiel (Dinesen et al., 1997; Perry, 2009). Le temps d'application des engrains durant la saison et la quantité appliquée sont d'autres facteurs pouvant avoir un effet sur la survie hivernale. En effet, certaines études ont démontré qu'une fertilisation réalisée plus tard en saison peut aider les plantes à mieux survivre à l'hiver et qu'une meilleure reprise au printemps était observée (Perry, 2009). Par ailleurs, la taille est une autre stratégie envisagée pour favoriser le tallage des plantes et le conditionnement de la couronne. Chez plusieurs espèces, des études ont démontré que le pinçage des tiges permettait de supprimer le contrôle apical qu'exerce le méristème apical et que cette pratique favorisait le débourrement de bourgeons axillaires permettant la formation de tiges basales (Cline, 1997). Or, la formation de tiges axillaires produit des plantes plus fournies et conséquemment des plantes plus tolérantes aux conditions hivernales. Dans le cas des échinacées, des chercheurs américains (Pilon, 2011) ont constaté qu'une fois la floraison enclenchée, la plante ne produit plus de tiges basales.

La façon de protéger les plantes contre le froid est également primordiale à leur survie (Iles et al., 1993). Plusieurs études ont démontré la nécessité de recouvrir les plantes vivaces en pot à l'aide de toiles isolantes pour minimiser les variations de températures et réduire les pertes (Still et al., 1989; Perry, 1990a et 1990b; Iles et al., 1993). Au Québec, les producteurs protègent leurs vivaces en les recouvrant d'une combinaison d'une ou plusieurs couvertures isolantes et d'une toile de polyéthylène blanc. Pour les plantes plus sensibles au froid, telles que les échinacées, la majorité des producteurs les entreposent dans des serres en plastique non chauffées en plus des couvertures isolantes. D'autres les hivernent à l'extérieur sur les planches de culture avec également des couvertures isolantes. Malgré ces précautions, les producteurs observent des pertes importantes pour certains cultivars. Une avenue intéressante

d'hivernage pour les nouveaux cultivars d'échinacée et également pour les autres vivaces plus sensibles au froid consisterait à entreposer les plants dans des serres en plastique dont la température varierait entre -15 et 5 °C afin de maintenir une température constante dans les pots aux alentours de -2 °C sous les couvertures isolantes. Cette pratique serait facilement applicable par les producteurs en pépinière dont la majorité possède déjà de telles serres.

Si on considère nos résultats dans leur ensemble, des effets très intéressants peuvent être observés selon les traitements appliqués. Comme prévu, on constate que l'espèce-type, *Echinacea purpurea* a présenté de très bons taux de survie hivernale, alors que d'importantes pertes ont été obtenues pour les trois autres cultivars. Ces pertes étaient souhaitables, car aucune conclusion n'aurait pu être tirée si tous les cultivars avaient atteint un haut taux de survie. Les différents traitements prodigués avaient pour but de forcer la mise en dormance de la plante afin de lui permettre de mieux résister à l'hiver.

Il est important de noter que les taux de mortalité des plantes à l'essai, suite à l'hiver 2012-2013, ont été anormalement élevés. D'ailleurs, il en va de même pour l'ensemble des plantes en production en pépinière ornementale. Les causes de ce phénomène sont encore difficilement explicables mais nous croyons que les conditions automnales de 2012 ont été des facteurs importants. Les mois de novembre et décembre ont été particulièrement chauds et les premiers gels ont été très rudes. Tout dépendant des cultivars et des hivers, les pertes normales attribuées aux échinacées provenant d'hybridation avec *E. paradoxa* sont de l'ordre de 15% à 50%.

Un autre événement a aussi perturbé les données sur un des sites. Plusieurs plantes étaient atteintes par *Botrytis* ou par *Fusarium* à partir du début de décembre 2012. Les plants ont été recouverts durant l'automne, au moment approprié dicté par les recommandations standards, mais les températures sont restées élevées jusqu'à la fin de décembre 2012. Lorsque l'état des plants a été vérifié au milieu de décembre, la majorité d'entre eux étaient déjà très endommagés. Comme le montrent les figures 5 et 6, les racines des plants demeurent bien vivantes plusieurs semaines après la remise en culture, mais la couronne, lieu principal d'entreposage des réserves, est complètement morte. Il est difficile d'affirmer si la maladie a affecté des plants qui étaient déjà affaiblis. Contrairement à plusieurs espèces de plantes où ces deux pathogènes sont reconnus comme étant exclusivement des champignons secondaires, chez *Echinacea*, ils peuvent affecter des tissus sains.

Concernant la fertilisation (objectif 1), les résultats obtenus sur les deux sites démontrent clairement que le fait de diminuer hâtivement la fertilisation (arrêt complet en août) améliore considérablement la survie à l'hiver des cultivars les plus sensibles. Pour *E. purpurea*, bien adapté à notre climat, il est au contraire préférable d'appliquer un régime de fertilisation conventionnel à l'automne (fertilisation en continu jusqu'à la mi-octobre). Dans son milieu naturel, *E. paradoxa* reçoit très peu d'eau et d'éléments minéraux à partir de la fin de l'été, lui permettant d'entrer progressivement dans un état de dormance nécessaire à sa survie hivernale (hiver peu rigoureux). S'il est abondamment fertilisé en août et septembre, aucun signal ne parvient à la plante lui disant de préparer son entrée en dormance et la plante mourra non pas de gel, mais d'un épuisement complet de ses réserves énergétiques. Cette génétique semble avoir été maintenue dans les nouveaux hybrides obtenus à partir de *E. paradoxa*. Contrairement aux espèces ligneuses, dont les premiers mécanismes de l'entrée en dormance sont initiés par une diminution de la photopériode, la plupart des plantes vivaces vont uniquement réagir aux baisses de température et aucunement à la photopériode. Dans le cas des échinacées, il est aisément de voir qu'ils ne répondent à aucun de ces facteurs, puisque même au mois d'octobre, la plante produit sans arrêt de nouveaux bourgeons floraux, qui périront dans les semaines suivantes, entraînant une dépense inutile d'énergie par la plante. Notre

expérimentation a permis de démontrer qu'il est possible de «forcer» cette mise en dormance par une diminution importante de la fertilisation en fin d'été.



Figure 5 : Plant d'échinacée dont la couronne est morte et attaquée par *Botrytis* (14 février 2013)



Figure 6 : Plant dont la couronne est morte, mais les racines sont encore bien vivantes 1 mois après la remise en culture (25 mars 2013)

Concernant la taille des fleurs (objectif 2), il était logique de penser qu'en coupant précocement les tiges florales, la plante économiserait de l'énergie, ce qui pourrait ensuite contribuer à sa survie hivernale. Nos résultats indiquent cependant que le moment de la taille des tiges florales n'avait que peu d'impact sur la survie subséquente à l'hiver. La taille précoce des tiges a contribué à favoriser le développement de bourgeons axillaires situés sur la couronne, favorisant le tallage du plant et la formation d'une couronne plus large. Cependant, ce tallage n'a pas amélioré la survie à l'hiver, sans toutefois lui nuire. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces plantes étaient sous une régie de fertilisation conventionnellement utilisée par les producteurs. Comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, cette régie ne permet pas une mise en dormance de la plante à l'automne et entraîne d'importantes pertes hivernales. Nous en concluons donc que la coupe des tiges florales est une bonne pratique permettant d'obtenir une couronne plus large (donc, une meilleure qualité de plant), mais que cet effet n'a aucune incidence sur la mise en dormance ou sur la survie hivernale des cultivars sensibles d'échinacées.

Pour qu'une plante entre en dormance plus rapidement en fin d'été, on pourrait penser qu'il n'y aurait qu'à démarrer sa mise en culture plus tôt au printemps. Notre expérimentation portant sur l'âge des plants (objectif 3) démontre plutôt que le fait de rallonger la période de croissance va simplement donner des plants plus gros à l'automne, avec parfois trop de racines. Ces plants ne présenteront pas une meilleure survie à l'hiver car encore une fois, la plante ne reçoit aucun

signal d'entrée en dormance et mourra d'épuisement de ses réserves. Pour *E. purpurea*, une meilleure survie a même au contraire été observée sur les plus jeunes plants. Même si le fait de mettre la plante en culture plus tôt permet aux producteurs de la vendre dès la première année, c'est le consommateur qui en payera la note puisqu'il y a de très fortes chances que le plant mourra au cours du premier hiver une fois planté chez lui.

S'il peut être difficile de forcer la mise en dormance d'une plante par des moyens culturaux, une autre possibilité pouvant permettre leur survie à l'hiver est l'utilisation d'une technique d'hivernage adéquate. Pour chacun des trois objectifs de ce projet, nous avons mis à l'essai quatre techniques d'hivernage, allant d'une technique offrant le plus de protection (hivernage en chambre froide à -2 °C jusqu'à la technique couramment utilisée en pépinière pour la plupart des végétaux (à l'extérieur sous membrane géotextile et polythène blanc). Les deux autres techniques mises à l'essai consistent à hiverner les plants dans un tunnel non chauffé, sous couverture géotextile, ou bien dans un tunnel qui sera chauffé si la température atteint -15 °C et ventilé si elle atteint 5 °C, permettant de conserver le système racinaire proche du point de congélation. Les annexes 1 à 6 présentent les courbes de températures obtenues selon les trois traitements d'hivernage en pépinière et ce, pour chacun des sites. L'hivernage en serre chauffée a permis de maintenir les pots à une température supérieure à 0 °C pendant presque toute la saison, jusqu'à un minimum de -5 °C pour le site de l'Université Laval – Québec Multiplants (Annexe 1), atteint lors des périodes de grands froids en janvier et février. Chez Fleurs Rustiques (Annexe 4), la température s'est maintenue continuellement au-dessus de 0 °C, atteignant souvent les 6-8 °C. Cette technique d'hivernage permet donc d'éviter un gel trop prononcé des plants, mais pourrait favoriser le développement de moisissures sous les couvertures en cas de la venue d'une série de journées ensoleillées en hiver. Cette technique n'a pas permis d'obtenir néanmoins de très haut taux de survie. Pour l'hivernage à l'extérieur, un problème avec l'acquéreur de données n'a donné que des résultats fragmentaires pour le site de l'Université Laval – Québec Multiplants (Annexe 2). On peut tout de même constater qu'au cours des froids de février, la température de l'air ambiant sous les couvertures a été maintenue à une température supérieure à -4 °C, alors que chez Fleurs Rustiques (Annexe 5), la température a atteint -10 °C dans le pot pendant les froids de fin janvier. Auparavant, la température a avoisiné le point de congélation jusqu'à ce que toute la chaleur latente ait été éliminée, vers le 21 janvier 2013 et que les pots aient gelé. La différence observée entre les deux sites serait attribuable à l'épaisseur de neige recouvrant les membranes géotextiles, le site de Fleurs Rustiques ayant reçu beaucoup moins de neige. Ceci explique pourquoi ce traitement a été moins efficace à cet endroit. L'hivernage sous protection géotextile permet donc le maintien d'une température adéquate au niveau de la plante, en autant qu'une couverture de neige soit présente en cas de grands froids prolongés. La troisième technique d'hivernage consistait à maintenir les plants sous couverture géotextile dans un tunnel non chauffé et non ventilé. Au site de l'Université Laval – Québec Multiplants (Annexe 3), ceci a permis de maintenir les plants près du point de congélation jusqu'au 20 janvier, où les froids importants ont éliminé toute la chaleur latente des pots, qui ont alors atteint une température de -7 °C, pouvant expliquer pourquoi ce traitement a donné de moins bons taux de survie à ce site comparativement au site de Fleurs Rustiques. À cet endroit (Annexe 6), la température s'est maintenue naturellement au-dessus du point de congélation, dû au soleil et à l'absence de ventilation. La serre froide peut donc représenter une bonne technique d'hivernage dans les régions au sud du Québec où la couverture de neige est mince ou inexistante, mais représente un risque dans les régions plus nordiques.

Le site de l'Université Laval disposait d'un traitement supplémentaire d'hivernage, soit l'entreposage dans une chambre froide à -2 °C. Ce traitement a permis de réaliser une constatation majeure. Même si l'hivernage en chambre froide a donné le meilleur taux de survie, ce taux est demeuré relativement faible, indiquant que les plants ne peuvent survivre à

une température de -2 °C. Cette température est pourtant la température idéale de conservation de plantes vivaces ou ligneuses en dormance puisqu'elle permet de limiter la respiration de la plante sans gel profond, tout en empêchant le développement de moisissures. Cette constatation nous permet de tirer une hypothèse fondamentale, à savoir que ce n'est pas le froid qui tue les échinacées (jusqu'à un certain niveau), mais plutôt une condition physiologique du plant inadéquate lors de l'hivernage. Ceci correspond exactement à ce qui a été observé dans l'objectif 1, où nous avions déterminé qu'une entrée en dormance était favorisée par une diminution précoce de la fertilisation.

Si une plante est dans l'incapacité de tolérer une température de -2 °C, aucune technique d'hivernage ne pourrait permettre un taux de survie élevé, sauf une serre chauffée et éclairée. Or, il a souvent été constaté qu'un plant d'échinacée d'un cultivar sensible qui a réussi à survivre à son premier hiver survivait sans problème aux hivers suivants. Quelle différence y a-t-il donc entre un plant en première année et entre un plant en deuxième année? Visuellement, un plant peut atteindre une très bonne dimension après seulement une année de culture et présenter un abondant système racinaire. Un autre facteur entre donc en ligne, et nous croyons qu'il serait lié à la technique de multiplication *in vitro* de ces cultivars. Tous ces nouveaux cultivars, impossible à maintenir par semis, sont micropropagés en laboratoire dans des milieux de culture riches en hormones (Li et al., 2013). Les plants sont multipliés indéfiniment par bourgeonnement axillaire à partir d'un plant-mère originel obtenu plusieurs mois ou années auparavant. Continuellement séparés, ces plants n'ont connu techniquement aucune période de dormance depuis plusieurs années et sont vendus aux pépiniéristes une fois acclimatés au climat *ex vitro*. Nous émettons l'hypothèse que puisque ces plantes ont été maintenues en croissance active pendant plusieurs cycles sur des milieux riches en cytokinines, elles ne répondent plus aux signaux d'entrée en dormance apportés par les températures automnales. Par contre, une fois un premier hiver passé (pour celles qui ont survécu), le cycle biologique est remis en ordre et la plante survivrait aux hivers suivants sans problème si l'épaisseur de neige est suffisante. Afin de valider cette hypothèse, il faudrait comparer la survie hivernale de plants produits *in vitro* comparativement à des jeunes plants d'âges similaires et obtenus par division de la couronne d'un plant du même cultivar ayant déjà survécu à un hiver.

3 Diffusion des résultats

Activités prévues de l'ANNEXE A	Activités réalisées	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejoindes	Visibilité accordée au PCAA (logo, mention)
Annonce du projet et brève description après l'acceptation	Publication sur les sites web respectifs de l'IQDHO et de la FIHOQ	Les Nouvelles de l'IQDHO Titre : <i>La régie de culture et la survie hivernale des échinacées</i>	Janvier 2012	300	Mention
		l'InfoFIHOQ (Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec) Titre : <i>Évaluation des régies de culture sur la survie hivernale des échinacées</i>	Mars 2012	2 000	Mention
		Brèves de Québec Vert	Non paru		

Activités prévues de l'ANNEXE A	Activités réalisées	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejoindes	Visibilité accordée au PCAA (logo, mention)
Brève description en cours de réalisation	Description du projet	Titre : Des projets novateurs à l'IQDHO – Survie hivernale des échinacées Publication : La Terre de Chez-Nous	22 mai 2013	34 000 abonnés Lectorat estimé à 100 000	
Article de vulgarisation	Article de vulgarisation dans le journal GTA	Titre : <i>L'hivernage des échinacées produites en contenants</i>	10 janvier 2013	23 500	Mention
Article technique destiné aux producteurs et intervenants du milieu résumant le projet dans une revue spécialisée	Article de vulgarisation dans la revue spécialisée Québec Vert		Hiver 2014		
Conférence	Conférence à la Journée des producteurs en pépinières 2013	Thème : Projets d'innovation en cours à l'IQDHO Titre : Évaluation de différentes régies de culture sur la survie hivernale des échinacées Endroit : Drummondville	6 février 2013	100	Mention et logos

Activités prévues de l'ANNEXE A	Activités réalisées	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejoindes	Visibilité accordée au PCAA (logo, mention)
Compte rendu à la fin du projet	Court texte relatant les résultats généraux	Les Nouvelles de l'IQDHO et l'InfoFIHQ	Décembre 2013	Nouvelles de l'IQDHO – 300 InfoFIHQ – 2 000	Mention
Présentation des résultats du projet dans le cadre d'une des journées techniques de l'IQDHO et de nos partenaires	Conférence à la Journée des producteurs en pépinière AGA de l'Association québécoise des producteurs en pépinière Forum sur la recherche en horticulture	Titre : <i>Influence de la régie de culture sur la survie hivernale des échinacées : résultats finaux</i> Endroit : Ste-Julie Non réalisée Non réalisée	30 janvier 2014	Environ 100	Logos et mention
Le rapport final sera diffusé via le site Web de l'IQDHO et Agri-Réseau La diffusion sommaire des résultats se fera aussi via Agri Réseau	Dépôt du rapport final Dépôt du sommaire des résultats	Site-Web de l'IQDHO et dépôt sur Agri-Réseau	Hiver 2014	Agri-Réseau : Nombre d'abonnements Secteur horticulture ornementale : 4 800	Mention et logos

Activités prévues de l'ANNEXE A	Activités réalisées	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejointes	Visibilité accordée au PCAA (logo, mention)
La diffusion des résultats se fera via les services-conseils techniques de l'IQDHO			En continu	400 membres et clients serres, pépinières et club agro	Mention verbale du financement AAC, CDAQ PCAA
Publication d'un article scientifique	Cet article sera publié dans une revue spécialisée en horticulture (Landscape Ontario Magazine)		Rédigé en décembre 2013, parution prévue à l'hiver 2014	Landscape Ontario Magazine – plus de 2 300 personnes rejointes	Mention

4 Conclusions

Des plants de trois cultivars d'échinacées orange 'Tiki Torch', 'Tomato Soup' et 'Tangerine Dream' et un témoin, l'échinacée pourpre *E. purpurea* ont été mis en culture sous trois régies de fertilisation, quatre régies de taille et selon deux cycles de production dans deux régions du Québec.

Suite à la première saison de culture, les plants ont été caractérisés selon différents paramètres susceptibles d'influencer la survie hivernale. Les données obtenues sur les deux sites étant très similaires, les résultats peuvent être considérés comme très fiables. Les plants caractérisés ont ensuite été placés sous quatre différents modes d'hivernage afin de voir comment les différences de croissance observées lors de la première année modifient la résistance au froid de ces plantes.

Pour une raison encore inexpliquée, le taux de mortalité des plants à l'étude a été anormalement élevé. La puissance des analyses statistiques a été affectée par cet évènement mais nous en avons quand même tirés des résultats appréciables. Ils nous indiquent qu'un régime de fertilisation plus élevé et prolongé donne un plant plus gros, mais avec une quantité et une qualité de racines inférieures à un régime de fertilisation plus faible. Ces effets ont été visibles sur la plupart des cultivars d'échinacée. La survie hivernale sera compromise par cette fertilisation prolongée pour les cultivars sensibles au froid. Pour ces derniers, un gain important au niveau de la survie hivernale a été obtenu si la fertilisation est complètement arrêtée au début du mois d'août, favorisant un arrêt de croissance et l'entrée en dormance plus rapide de la plante. Pour *E. purpurea*, il est par contre recommandé de poursuivre avec une fertilisation automnale conventionnelle.

La réponse à la taille des tiges florales a été variable selon le cultivar. Deux d'entre eux ('Tangerine Dream' et 'Tomato Soup') ont présenté un nombre de tiges et une circonférence de la couronne supérieurs lorsque la taille des tiges florales se fait dès leur apparition. La quantité de racines est également supérieure pour ce traitement. Les autres cultivars n'ont pas présenté de différence entre les dates de taille. Malgré ces réponses morphologiques, la taille plus ou moins précoce des tiges florales n'a pas eu d'incidence sur la survie hivernale des plants. Si possible, nous recommandons tout de même aux producteurs de tailler les premières tiges florales afin d'offrir aux consommateurs un plant plus touffu.

Finalement, nous avons constaté que les plants plus âgés, empotés en février, forment davantage de tiges et de fleurs, et possèdent une circonférence de la couronne plus grande que les plants empotés en juin. Cependant, la qualité visuelle de leur système racinaire est inférieure à celle des jeunes plants. La survie hivernale n'a pas été réellement influencée par l'un ou l'autre de ces pratiques, quoique les jeunes plants semblent avoir présenté une survie à l'hiver légèrement supérieure. Si le plant est destiné à une vente rapide tôt au printemps, le producteur a donc avantage à investir pour le chauffage d'une serre permettant la culture des plants dès le mois de février. Par contre, si le producteur accepte que ses plants ne fleurissent qu'en août, un empotage en juin est tout à fait convenable et n'affectera pas négativement la survie hivernale.

À notre avis, une des découvertes les plus importantes de ce projet est la possibilité que le problème de survie hivernale des plants d'échinacées que rencontrent tous les producteurs ne serait pas nécessairement dû à un manque de résistance au froid, mais plutôt à un état physiologique de la plante qui est inadéquat. Les jeunes plants issus de propagation in vitro d'échinacée ne semblent pas réagir aux différents signes climatiques leur indiquant que c'est le moment de cesser toute croissance et d'accumuler des réserves énergétiques dans leur couronne. Ces plants débutent donc l'hiver avec des réserves probablement trop basses. Il semble que les plants qui parviennent à survivre au premier hiver n'auront plus ce problème les hivers suivants. Si notre hypothèse est la bonne, il s'ensuit que ce phénomène devra éventuellement être pris en compte dans l'équation. Cette expérience a aussi permis de démontrer qu'un forçage de l'entrée en dormance est possible en diminuant substantiellement la fertilisation en fin d'été, ce qui représente une avenue facilement applicable pour les producteurs. Cette connaissance nouvelle sera diffusée auprès des différents producteurs canadiens de plantes vivaces par la publication d'un article et par le service-conseil continu de l'IQDHO auprès de ses clients.

Une suite importante à ce projet serait de démontrer si cette perte passagère de reconnaissance de l'arrivée de l'hiver est réellement due au mode de production in vitro utilisé pour la multiplication de ces cultivars. Une expérience pourrait simplement évaluer la survie hivernale de plants produits in vitro comparativement à des plants produits par division de la couronne. Une évaluation hebdomadaire du contenu en réserves énergétiques (amidon, sucres solubles) dans la couronne permettrait aussi de confirmer cette hypothèse. Si tel est le cas, les producteurs de plants in vitro devront modifier leur technique de multiplication, probablement en incluant un cycle de température fraîche (chilling) dans leur calendrier de production afin de resynchroniser les plants à des rythmes saisonniers.

5 Sommaire des accomplissements du projet

Depuis quelques années au Québec et au Canada, l'échinacée est devenue une des espèces de vivaces avec la plus grande importance économique en pépinière, représentant jusqu'à 15 % de la production des vivaces d'ornement. Pour plusieurs des nouveaux cultivars, les pertes suite au premier hivernage sont importantes, tant chez le producteur que chez le consommateur. Le but de ce projet est donc d'identifier et de mettre en pratique différentes régies de production pouvant potentiellement améliorer la survie hivernale des cultivars d'échinacées.

Des plants de trois cultivars d'échinacées orange 'Tiki Torch', 'Tomato Soup' et 'Tangerine Dream' et un témoin, l'échinacée pourpre *E. purpurea* ont été mis en culture dans différents dispositifs expérimentaux comportant trois régies de fertilisation, quatre régies de taille des fleurs, deux dates d'empotage des plants et sous quatre techniques d'hivernage et ce, dans deux régions du Québec. Les entreprises Fleurs Rustiques et Québec Multiplants, de même que l'Université Laval ont été partenaires dans ce projet.

Les résultats indiquent qu'un gain important de la survie hivernale peut être obtenu si la fertilisation est complètement arrêtée dès le début août afin de favoriser l'arrêt de croissance et la mise en dormance du plant. Une taille précoce des tiges florales favorisent un meilleur tallage du plant et permet d'obtenir davantage de racines pour certains cultivars, mais n'a que peu d'impact sur la survie hivernale. Le fait d'empoter les plants plus hâtivement au printemps permet l'obtention d'un plant avec une couronne plus large à l'automne, mais n'améliore pas non plus la survie hivernale. Parmi les techniques d'hivernage utilisées, une serre chauffée à -15 °C et ventilée à 5 °C offre le plus de sécurité contre les écarts de températures hivernales dans les régions où la neige est peu abondante.

Nos travaux nous ont permis d'établir une théorie voulant qu'une des causes de la mortalité des plants suite au passage de leur premier hiver serait liée à la méthode de multiplication des échinacées. Les échinacées issues de la multiplication *in vitro* pourraient se trouver dans un état physiologique inadéquat lors de leur acclimatation à l'hiver. Cet état pourrait possiblement brouiller la mise en place des mécanismes nécessaires de mise en dormance. Des travaux supplémentaires seront nécessaires afin de démontrer cette hypothèse et pour proposer des améliorations à la technique de multiplication permettant à nouveau à la plante de réagir aux signaux climatiques lui indiquant la venue de l'hiver.

6 Plan de financement et conciliation des dépenses

SVP consulter les documents en pièces jointes.

7 Remerciements

Nous aimions d'abord remercier Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et les conseils sectoriels du Québec et de l'Ontario pour leur aide financière apportée dans le cadre du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA).

Nos remerciements s'adressent également à l'Université Laval ainsi qu'aux entreprises Fleurs Rustiques, Québec Multiplants et Terra Nova pour leur importante participation.

Merci spécialement à Marie-Pierre Lamy, Éric Dugal et Jacques-André Rioux de l'Université Laval pour leur dynamisme et leur support continual tout au long du projet.

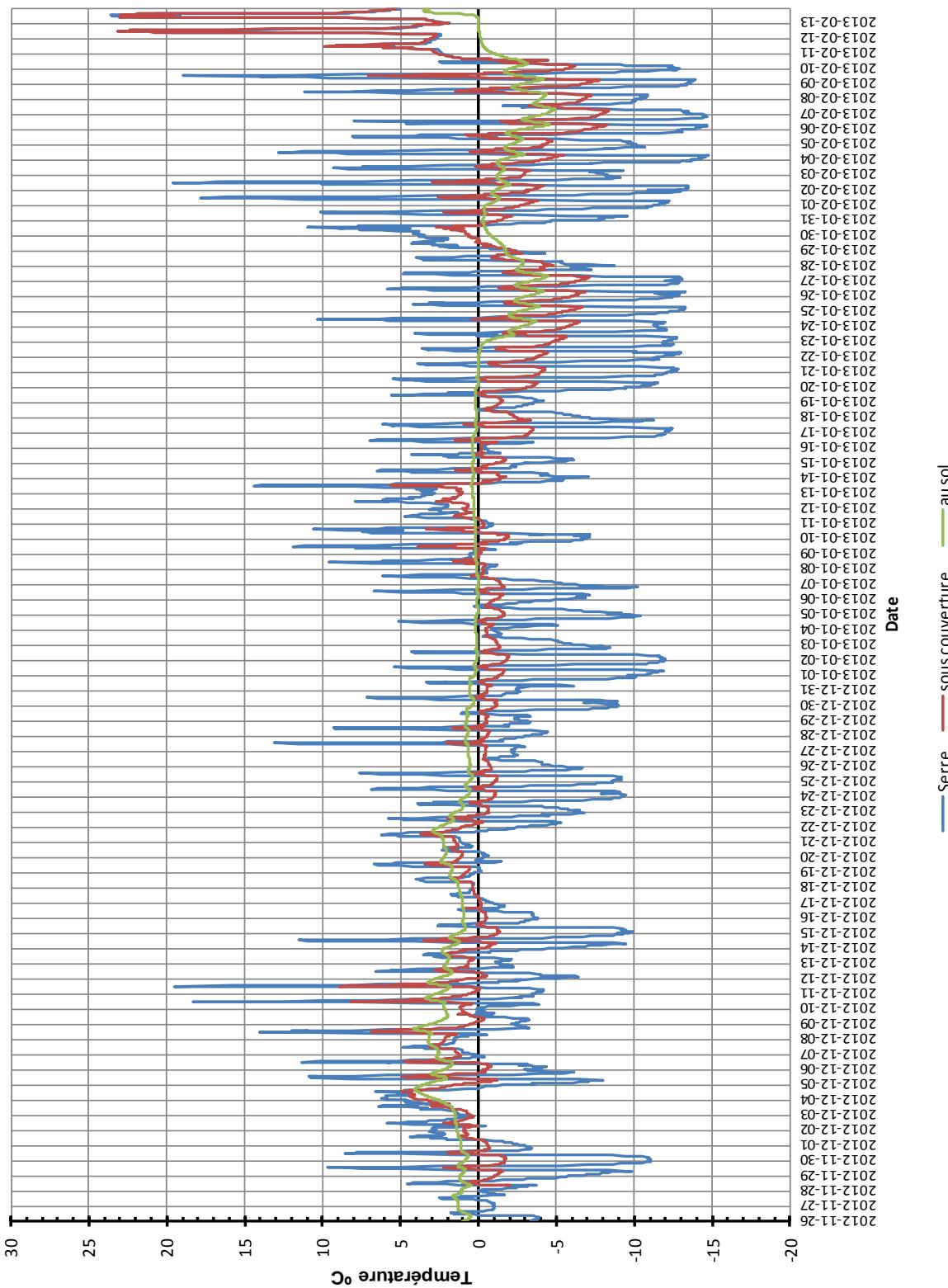
Finalement, nous remercions nos collègues de l'IQDHO Marie-Claude Limoges, Julie Bilodeau, Marie-Claude Lavoie et Murielle Ménard pour leur contribution au projet.

Références bibliographiques

- CLINE, M.G. 1997, «Concepts and terminology of apical dominance», *American Journal of Botany*, vol. 84, p.1064-1069.
- DINESEN, L.G., A.S. ANDERSEN et M. SEREK. 1997, «Influence of late fertilization in the field on forcing and quality of potted *Campanula carpatica*», *Scientia Horticulturae*, vol. 71, p.235-242.
- HARBAGE, J. F. 2001, «Micropropagation of *Echinacea angustifolia*, *E. pallida*, and *E. purpurea* from stem and seed explants», *HortScience*, vol. 36, p.360-364.
- HODGSON, L. 2007, «Les échinacées s'éclatent!», *Fleurs plantes jardins*, vol. 17, n°8, p.20-24, 27, 81, 89.
- ILES, J.K. et N.H. AGNEW. 1993, «Responses of five container-grown herbaceous perennial species to laboratory freezing», *Hortotechnology*, vol. 3, p.192-194.
- ILES, J. K., N.H. AGNEW, H.G. TABER et N.E. CHRISTIANS. 1993, «Evaluations of 5 structureless overwintering systems for protection of 18 species of container-grown herbaceous perennials», *Journal of Environmental Horticulture*, vol. 11, p.48-55.
- KIM, D.C. et N.O. ANDERSON. 2006, «Comparative analysis of laboratory freezing methods to establish cold tolerance of detached rhizomes and intact crowns in garden chrysanthemums (*Dendranthema x grandiflora* Tzvelv.)», *Scientia Horticulturae*, vol. 109, p.345-352.
- LI, Q., R. CHEN, X. CHEN, Y. YANG et H. WU. 2013, «Estimation of the cloning potential in six selected genotypes of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.)», *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, vol. 27, p.3911-3917.
- PERRY, L.P. 1990a, «Herbaceous perennial hardiness», *Perennial Plants*, vol. 20, p.15-17.
- PERRY, L.P. 1990b, «Overwintering container-grown herbaceous perennials in northern regions», *Journal of Environmental Horticulture*, vol. 8, p.135-138.
- PERRY, L.P. et T. HERRICK. 1996, «Freezing date and duration effects on regrowth of three species of container-grown herbaceous perennials», *Journal of Environmental Horticulture*, vol.14, p.214-216.
- PERRY, L.P. 2001, «Growing perennials in containers», *University of Vermont Extension System*, OH69. [En ligne] <http://pss.uvm.edu/ppp/pubs/oh69percont.htm>. (Page consultée le 18 décembre 2013)
- PERRY, L.P. 2009, «Hardiness of herbaceous perennials», *OFA Bulletin*, n°918, p.11-14.
- PILON, P. «Bulking Echinacea and decreasing plant losses», *Site de Perennial Solutions Consulting*, [En ligne] <http://www.perennialsolutions.com/index.cfm/fuseaction/articles.detail/articleID/87/index.htm>. (Page consultée le 18 juillet 2013)
- STILL, S.M., T. DISABATO-AUST et T. RHODUS. 1989, «Overwintering systems for herbaceous perennials», *Proceedings of Perennial Plant Symposium*, p.24-35.

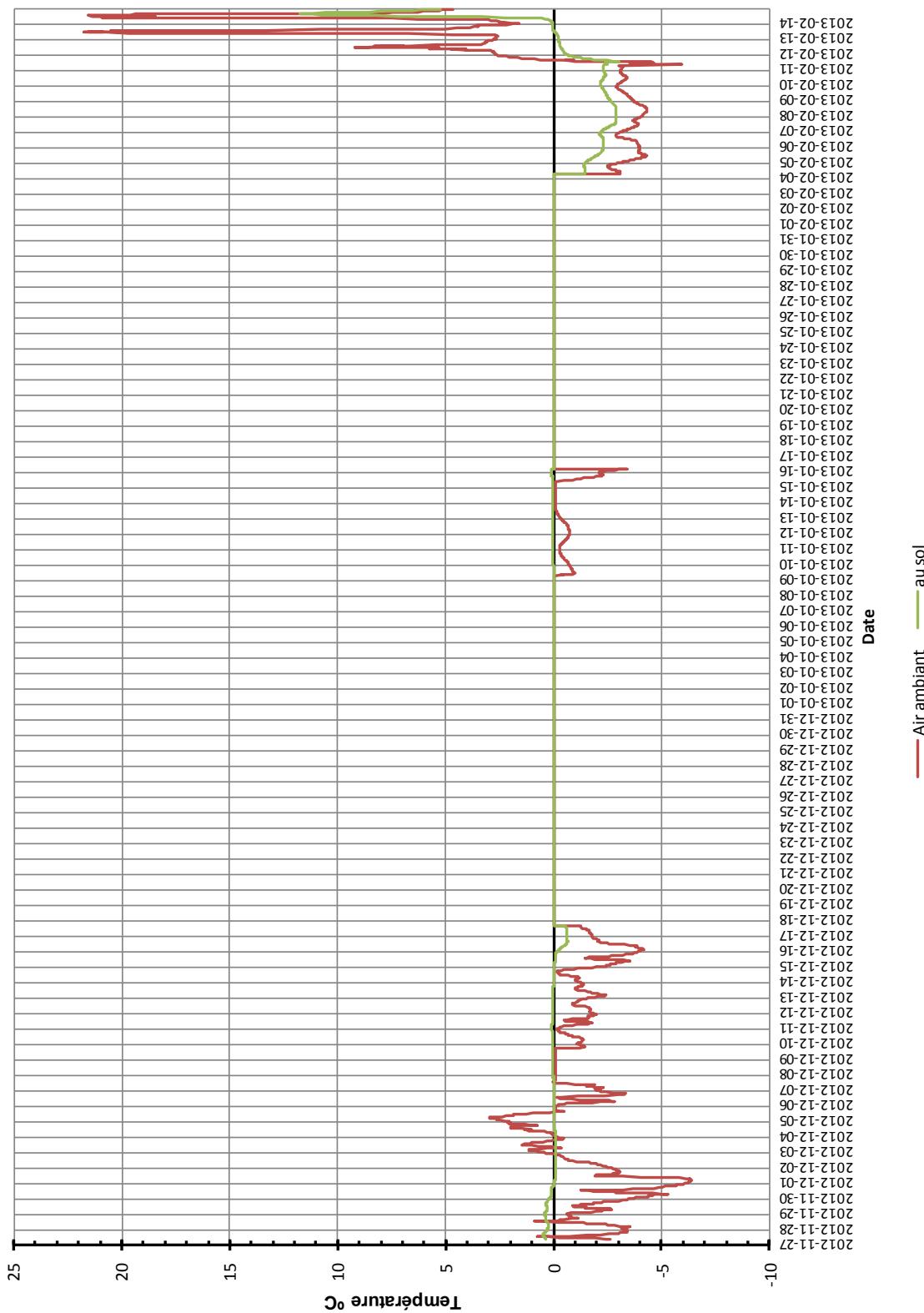
ANNEXE 1

Université Laval - Courbes de température: Serre Chauffée (Hivernage 1)



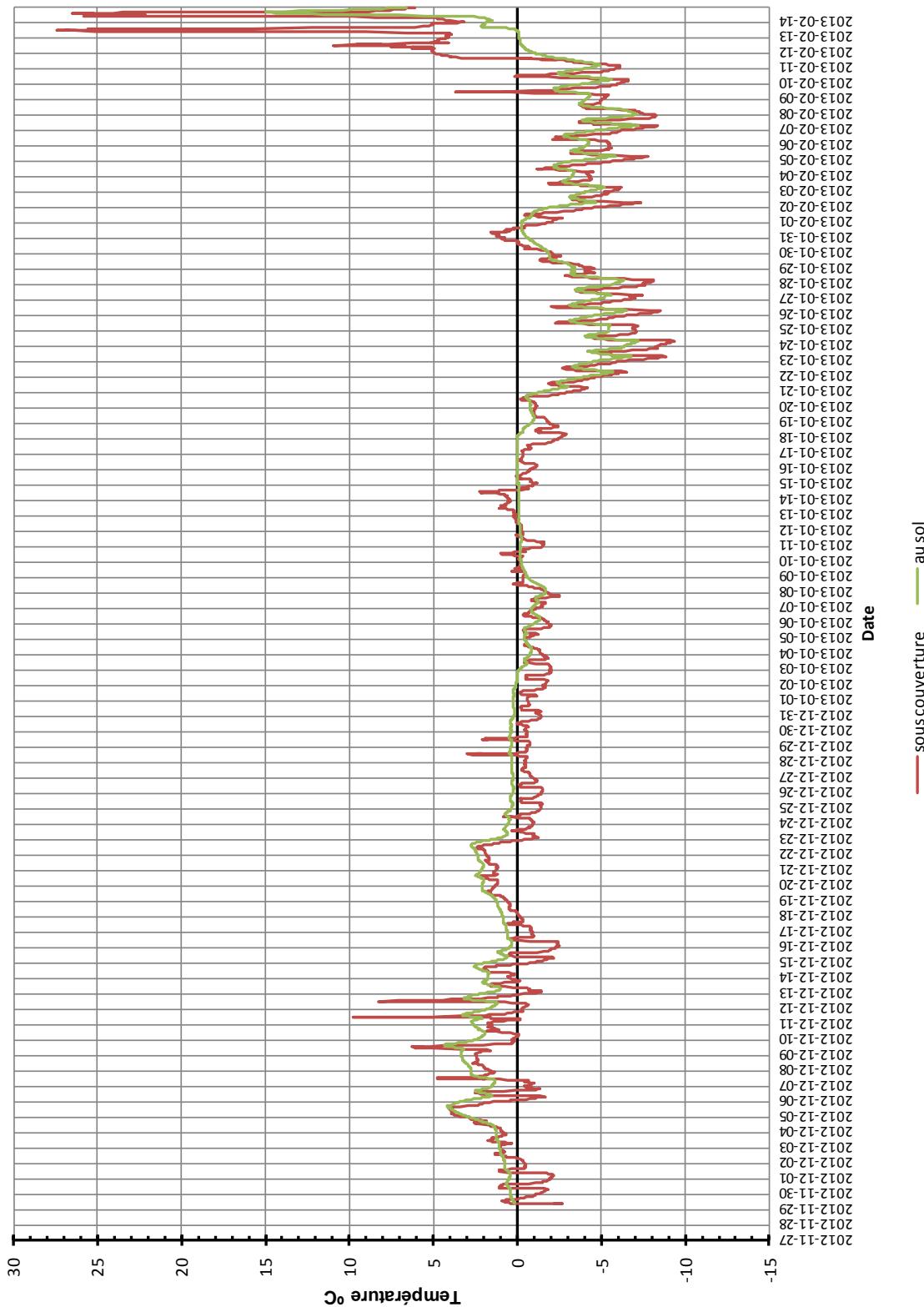
ANNEXE 2

Université Laval - Courbes de température: Extérieur (Hivernage 2)



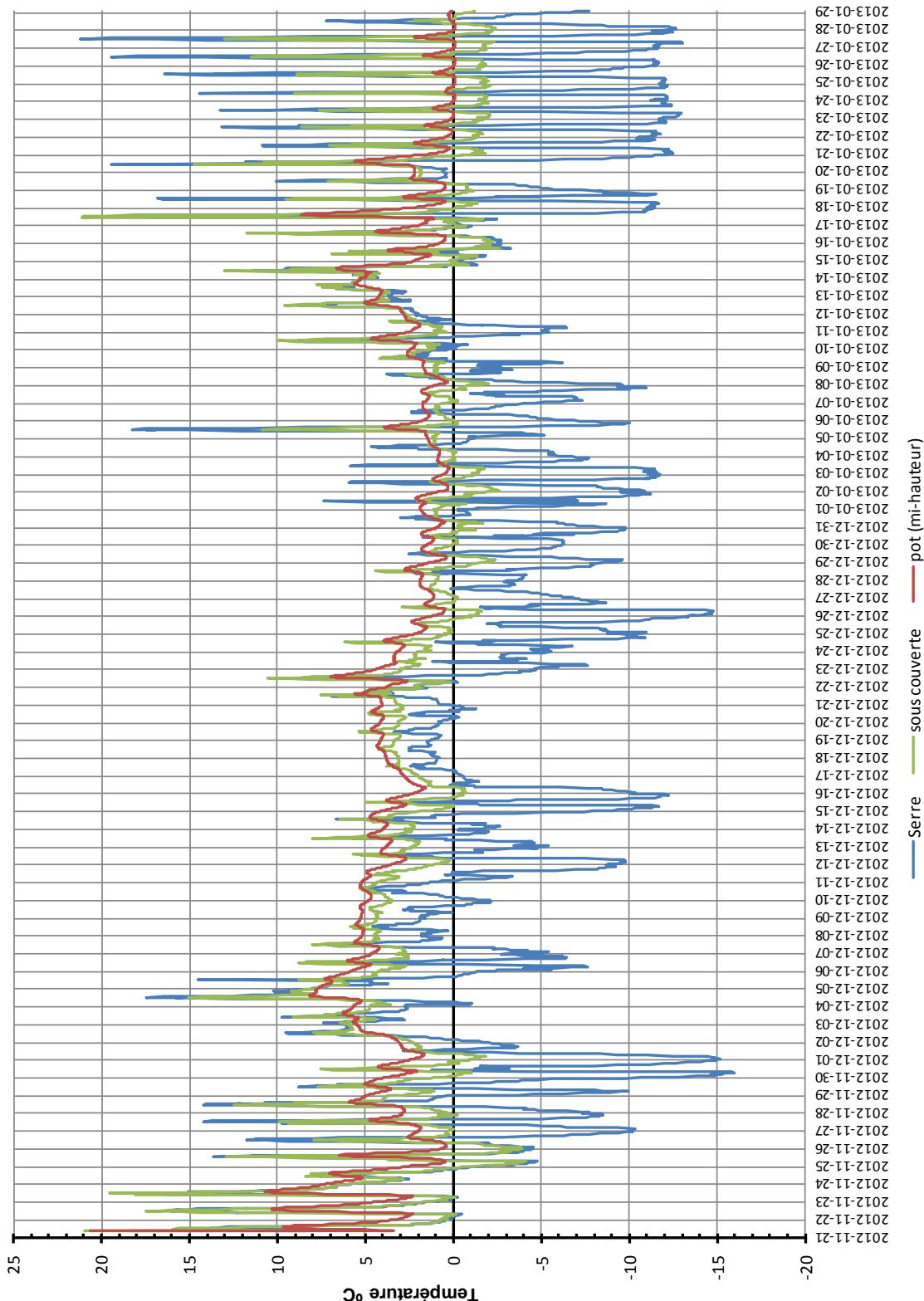
ANNEXE 3

Université Laval - Courbes de température: Serre Froide (Hivernage 3)



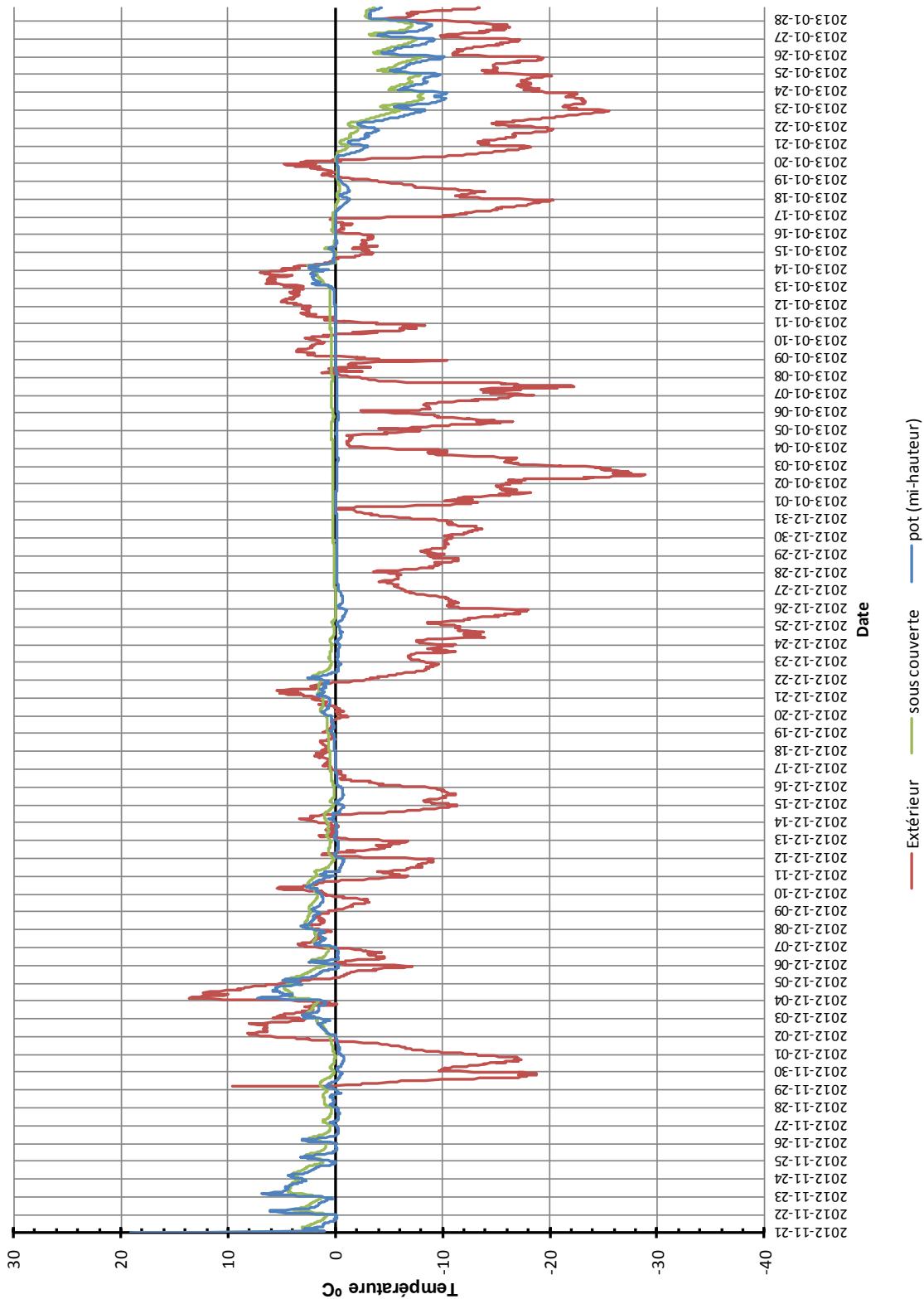
ANNEXE 4

Fleurs Rustiques - Courbes de température : Serre Chauffée (Hivernage 1)



ANNEXE 5

Fleurs Rustiques - Courbes de température: Extérieur (Hivernage 2)



ANNEXE 6

Fleurs Rustiques - Courbes de température : Serre Froide (Hivernage 3)

