

PROGRAMME D'AIDE À LA RECHERCHE ET AU TRANSFERT (PART)

Rapport final **Amélioration de la productivité de** **petits fruits sauvages peu connus et peu** **distribués au Québec, à la ferme du** **Domaine du Bocage**

Présenté à :

Domaine du Bocage

Chantale Levesque, propriétaire

Alain La Barre, propriétaire

Par :



Emmanuelle Boulfroy, M. Sc.

Frank Grenon, biol. Ph. D.

Donald Blouin, ing.f., M. Sc.

Guy Lessard, ing.f., M. Sc.



Maxim Tardif, DTA, TPHE spécialisation env.

Béatrice Perron, B. Sc.

François Gobeil, agr., M. Sc.

Pascale Ontchangalt, M. Sc.



Danielle Babin



Jean-Sébastien Castonguay

Décembre 2017

Mots-clés : produit forestier non ligneux, aralie à tige nue, maïanthème du Canada, sureau pubescent, sureau rouge, fruit, rendement, polyphénol, anthocyane, valeur nutritive, couvert, compétition, fertilisation, chaux, station météorologique, dispositif expérimental.

Référence à citer :

Boulfroy, E., D. Babin, F. Grenon, B. Perron, D. Blouin, M. Tardif, G. Lessard, F. Gobeil, P. Ontchangalt et J.-S. Castonguay. 2017. Amélioration de la productivité de petits fruits sauvages peu connus et peu distribués au Québec, à la ferme du Domaine du Bocage. Rapport 2017-11. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy, Cégep de Sainte-Foy, Biopterre et Cégep de La Pocatière. 98 pages + 4 annexes.

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET

- **Domaine du Bocage**
Chantale Levesque, *propriétaire*
Alain La Barre, *propriétaire*

PARTENAIRES DU PROJET

- **Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO)**
Emmanuelle Boulfroy, *M. Sc.*
Donald Blouin, *ing.f., M. Sc.*
Guy Lessard, *ing.f., M. Sc.*
Frank Grenon, *biol. Ph. D.*
- **Biopterre**
Maxim Tardif, *DTA, TPHE spécialisation env.*
François Gobeil, *agr., M. Sc.*
Béatrice Perron, *B. Sc.*
Pascale Ontchangalt, *M. Sc.*
- **Cégep de Sainte-Foy**
Danielle Babin, *professeure*
- **Cégep de La Pocatière**
Jean-Sébastien Castonguay, *professeur*

TABLE DES MATIÈRES

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET.....	i
PARTENAIRES DU PROJET.....	i
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	ix
Remerciements.....	xi
Résumé.....	xiii
Mise en contexte.....	1
Objectifs.....	3
1. HYPOTHÈSES DE RECHERCHE.....	5
1.1. Maïanthème.....	5
1.1.1. Ouverture du couvert.....	5
1.1.2. Compétition herbacée.....	5
1.1.3. Amendements.....	6
1.2. Aralie à tige nue.....	6
1.2.1. Ouverture du couvert.....	6
1.2.2. Amendements.....	7
1.3. Sureau pubescent.....	7
1.3.1. Ouverture du couvert.....	7
1.3.2. Amendements.....	8
2. REVUE DE LITTÉRATURE.....	9
2.1. Les produits forestiers non ligneux.....	9
2.2. Le maïanthème du Canada.....	10
2.2.1. Morphologie.....	10
2.2.2. Habitat.....	11
2.2.3. Culture.....	12
2.2.4. Usage.....	13
2.3. L'aralie à tige nue.....	14
2.3.1. Morphologie.....	14
2.3.2. Habitat.....	16
2.3.3. Culture.....	16
2.3.4. Usage.....	16
2.4. Le sureau rouge.....	17
2.4.1. Morphologie.....	17
2.4.2. Habitat.....	18
2.4.3. Culture.....	19
2.4.4. Usage.....	19
3. MÉTHODE.....	20
3.1. Localisation du site d'étude.....	20
3.2. Implantation du dispositif.....	23
3.2.1. Description sommaire des conditions de sol et de la végétation présente.....	24
3.2.1.1. Visite terrain et analyse des pédons.....	24
3.2.1.2. Analyses physico-chimiques des sols.....	27
3.2.2. Plan du dispositif.....	31

3.3.	Mesures du couvert forestier	39
3.4.	Mesures de la compétition présente dans le premier mètre de hauteur	40
3.5.	Mesures des conditions météorologiques	41
3.6.	Mesures des petits fruits	44
3.6.1.	Localisation des mesures	44
3.6.2.	Calendrier des mesures	44
3.6.3.	Mesures réalisées	45
3.6.3.1	Maïanthème	45
3.6.3.2	Aralie	45
3.6.3.3	Sureau	46
3.7.	Analyses nutritionnelles et des antioxydants des petits fruits	46
3.7.1.	Analyses nutritionnelles	46
3.7.2.	Analyse des antioxydants	46
3.7.2.1	Polyphénols totaux	47
3.7.2.2	Anthocyanes monomériques	48
3.8.	Analyses statistiques	49
4.	RÉSULTATS	50
4.1.	Couvert forestier	50
4.2.	Conditions météorologiques	51
4.2.1.	Portrait de la température et de l'humidité de l'air	51
4.2.2.	Portrait de la température et de l'humidité du sol	52
4.2.3.	Comparaisons entre les données de la station prototype et celles de la station commerciale pour l'année 2017	53
4.3.	Maïanthème du Canada	57
4.3.1.	Portrait général	57
4.3.1.1	Ouverture du couvert forestier	57
4.3.1.2	Compétition herbacée	58
4.3.1.3	Production de fruits	60
4.3.2.	Ouverture du couvert forestier	63
4.3.3.	Compétition herbacée	66
4.3.4.	Fertilisation	69
4.4.	Aralie à tige nue	70
4.4.1.	Portrait général	70
4.4.1.1	Ouverture du couvert forestier	70
4.4.1.2	Production de fruits	71
4.4.2.	Ouverture du couvert forestier	74
4.4.3.	Fertilisation	75
4.5.	Sureau pubescent	76
4.5.1.	Portrait général	76
4.5.1.1	Ouverture du couvert	76
4.5.1.2	Production de fruits	77
4.5.2.	Ouverture du couvert forestier	77
4.5.3.	Fertilisation	78
4.6.	Portrait des antioxydants et des propriétés nutritionnelles des trois fruits	78
4.6.1.	Polyphénols totaux	78
4.6.2.	Anthocyanes monomériques totales	79

4.6.3.	Polyphénols et anthocyanes monomériques totaux en fonction des traitements de fertilisation	80
4.6.4.	Propriétés nutritionnelles du sureau rouge et du maïanthème.....	81
5.	DISCUSSION	83
5.1.	Maïanthème du Canada	83
5.1.1.	Influence de la présence d'un couvert sur la production de fruits	83
5.1.2.	Influence de la fertilisation sur la production de fruits	85
5.2.	Aralie à tige nue.....	87
5.2.1.	Influence de la présence d'un couvert forestier sur la production de fruits	87
5.2.2.	Influence de la fertilisation sur la production de fruits	88
5.3.	Sureau pubescent	90
5.3.1.	Influence de la présence d'un couvert forestier sur la production de fruits	90
5.3.2.	Influence de la fertilisation sur la production de fruits	91
5.3.3.	Propriétés antioxydantes des trois PFNL à l'étude	92
5.3.4.	Influence de la fertilisation sur les antioxydants	92
6.	RECOMMANDATIONS.....	93
7.	CONCLUSION	95
8.	RÉFÉRENCES.....	97
	ANNEXE 1. Analyse DÉTAILLÉE des pédons	99
	ANNEXE 2. FORMULAIRES D'INVENTAIRE.....	115
	ANNEXE 3. bilan de la station MÉTÉOROLOGIQUE prototype	119
1.	Vue d'ensemble.....	119
1.1.	Présentation	119
1.2.	Objectifs	119
1.3.	Stratégie générale	120
2.	Conception	120
2.1.	Schéma bloc	121
2.2.	Contrôleurs	121
2.3.	Alimentation.....	122
2.3.1	Gestionnaire d'alimentation	123
2.3.1	Panneau solaire.....	123
2.4.	Mémoire non volatile	123
2.5.	Modem cellulaire.....	123
2.6.	Capteurs.....	124
2.7.	Mécanique	125
2.8.	Coût	126
3.	Analyse des résultats et développements futurs	127
3.1.	Utilisation	127
3.2.	Évaluation technique	127
3.3.	Développements futurs.....	128
4.	Conclusion.....	129
	ANNEXE 4. Analyses nutritionnelles.....	131

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Plants de maïanthème du Canada en fleurs au Domaine du Bocage	10
Figure 2. Fruits non mûres de maïanthème du Canada au Domaine du Bocage.....	11
Figure 3. Fruits mûres de maïanthème du Canada au Domaine du Bocage.....	11
Figure 4. Tapis de maïanthème du Canada entouré de cornouiller du Canada (quatre temps) au Domaine du Bocage	12
Figure 5. Une partie de la récolte de fruits du Maïanthème au Domaine du Bocage	13
Figure 6. Plant d'aralie à tige nue au Domaine du Bocage	14
Figure 7. Inflorescence en boutons d'un plant d'aralie à tige nue au Domaine du Bocage	15
Figure 8. Fruits d'un plant d'aralie à tige nue	15
Figure 9. Plant de sureau rouge au Domaine du Bocage	17
Figure 10. Détail d'une grappe de fleurs fanées de sureau rouge au Domaine du Bocage.....	18
Figure 11. Fruits du sureau rouge.....	18
Figure 12. Localisation générale de la ferme du Domaine du Bocage	20
Figure 13. Localisation fine de la ferme du Domaine du Bocage.....	21
Figure 14. Localisation du site d'étude selon la classification écologique du MFFP	22
Figure 15. Localisation des blocs (en jaune) et des pédon (triangles blancs).....	23
Figure 16. Exemple d'un pédon	26
Figure 17. Prélèvement d'un échantillon de sol.....	28
Figure 18. Différents échantillons prélevés pour les analyses de sol.....	28
Figure 19. Analyses physico-chimiques du bloc 1.....	29
Figure 20. Analyses physico-chimiques du bloc 2.....	29
Figure 21. Analyses physico-chimiques du bloc 3.....	29
Figure 22. Analyses physico-chimiques du bloc 4.....	30
Figure 23. Analyses physico-chimiques du bloc 5.....	30
Figure 24. Répartition des répétitions en fonction des blocs, essences et traitements	35
Figure 25. Localisation et numérotation des unités expérimentales de sureau rouge	35
Figure 26. Localisation et numérotation des unités expérimentales de maïanthème	38
Figure 27. Caméra hémisphérique	39
Figure 28. Exemple de prise de photo pour un sureau	40
Figure 29. Station météorologique commerciale Davis	42
Figure 30. Station météorologique prototype.....	43
Figure 31. Dosage des polyphénols et des anthocyanes et lecture de l'absorbance au spectrophotomètre	48
Figure 32. Ouverture du couvert (%) par bloc	50
Figure 33. Température de l'air journalière prise par la station commerciale Davis en 2016 et 2017.....	52
Figure 34. Mesure de la température du sol prise par des sondes « iButton » durant la saison de croissance de 2016 en fonction des blocs.....	53
Figure 35. Données météorologiques de température et d'humidité de l'air des deux stations durant la saison de croissance 2017	55
Figure 36. Relation entre l'ouverture du couvert et la proportion des plants en fleurs qui portent des fruits chez le maïanthème en 2017.....	64
Figure 37. Relation entre l'ouverture du couvert et le nombre de fruits par plant chez le maïanthème (2 vues – 2016 et 2017)	65

Figure 38. Tapis de cornouiller du Canada (plant avec les feuilles en rosette et fleurs à 4 pétales) dans une unité expérimentale de maïanthème.....	66
Figure 39. Relation entre le recouvrement de la compétition herbacée et la proportion des plants en fleurs qui portent des fruits chez le maïanthème en 2017	67
Figure 40. Relation entre le recouvrement de la compétition herbacée et le nombre de fruits par plant chez le maïanthème (2 vues – 2016 et 2017)	68
Figure 41. Relation entre le recouvrement de la compétition herbacée et le poids des fruits chez le maïanthème en 2017.....	69
Figure 42. Relation entre les traitements de fertilisation et le nombre de fruits moyen par plant chez le maïanthème en 2017	70
Figure 43. Relation entre l'ouverture du couvert et la proportion des plants en fleurs qui portent des fruits chez l'aralie en 2016.....	74
Figure 44. Relation entre l'ouverture du couvert et le nombre de fruits par plant chez l'aralie en 2016.....	75
Figure 45. Relation entre les traitements de fertilisation et le nombre moyen de fruits par plant chez l'aralie en 2016	76
Figure 46. Concentration en polyphénols totaux pour les trois fruits étudiés et le bleuet	78
Figure 47. Représentation de la teneur en polyphénols totaux pour les trois fruits étudiés et le bleuet	79
Figure 48. Concentration en anthocyanes pour les trois fruits étudiés et le bleuet	79
Figure 49. Représentation de la teneur en anthocyanes pour les trois fruits étudiés et le bleuet ...	79
Figure 50. Concentration en antioxydants chez le sureau en fonction des amendements appliqués. En a) concentration en polyphénols totaux et b) concentration et en anthocyanes	80
Figure 51. Concentration en antioxydants chez le maïanthème en fonction des amendements appliqués. En a) concentration en polyphénols totaux et b) concentration et en anthocyanes	81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Texture des différents sols à l'étude	30
Tableau 2. Répartition des PFNL en fonction des blocs et des essences	31
Tableau 3. Moyennes mensuelles de la température et de l'humidité de l'air enregistrées par la station commerciale Davis au courant des saisons de croissance 2016 et 2017	51
Tableau 4. Température et humidité du sol enregistrées avec la station prototype durant la saison de croissance 2017	53
Tableau 5. Température et humidité hebdomadaires moyennes des deux stations durant la saison de croissance 2017	56
Tableau 6. Moyenne et écart-type de l'ouverture du couvert par bloc et sous-bloc pour le maïanthème du Canada	57
Tableau 7. Moyenne et écart-type du pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée mesurée en 2016 et 2017 pour le maïanthème par sous-bloc et traitement.....	59
Tableau 8. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2016 pour le maïanthème par sous-bloc et traitement	61
Tableau 9. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2017 pour le maïanthème par sous-bloc et traitement	62
Tableau 10. Moyenne et écart-type de l'ouverture du couvert par bloc et sous-bloc pour l'aralie à tige nue	71
Tableau 11. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2016 pour le l'aralie par sous-bloc et traitement	72
Tableau 12. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2017 pour le l'aralie par sous-bloc et traitement	73
Tableau 13. Bilan des variables mesurées en 2017 pour le sureau par sous-bloc et traitement.....	77
Tableau 14. Propriétés nutritionnelles du sureau rouge et du maïanthème.....	82

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier chaleureusement les deux propriétaires du Domaine du Bocage qui sont à l'origine du projet et qui ont été des partenaires précieux tout au long du projet, Mme Chantale Levesque et M. Alain La Barre. En effet, grâce à leur suivi minutieux sur le terrain et à leur disponibilité constante, il a été possible de réaliser l'ensemble des mesures nécessaires au bon déroulement du projet.

Plusieurs stagiaires ont participé à la prise de mesures réalisées dans le cadre de ce projet : Julien Gauthier et Marie-Aimée Pearce de chez Biopterre, ainsi que Philippe Leclerc, Antoine Cullen, Mélody Potvin et Matthew Hamilton du CERFO.

Ce projet a bénéficié du financement du Programme d'Aide à la Recherche et au Transfert (PART) du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur.

RÉSUMÉ

La Ferme le Domaine du Bocage, située dans la région de Québec, dans la municipalité de Saint-Ferréol-les-Neiges, produit sous couvert forestier et transforme depuis 2011 plusieurs PFNL, dont des petits fruits sauvages. La terre du Domaine du Bocage est cultivée de façon traditionnelle : les propriétaires récoltent ce qui pousse sous couvert et tentent d'augmenter cette production par certaines actions simples comme l'élagage et l'éclaircie des arbres environnants. Les effets de ces actions ne sont par contre pas documentés et la production n'est pas optimisée. Pourtant, le contrôle de certains paramètres critiques pour la croissance des végétaux et la production de fruits, tels la lumière et les éléments nutritifs disponibles a une incidence sur la productivité des plants et mériterait d'être documenté.

C'est dans ce contexte qu'un dispositif expérimental a été mis en place au Domaine du Bocage en 2016 et a été suivi pendant 2 saisons de croissance, dans le but d'optimiser la production de trois PFNL peu connus des consommateurs au Québec et présentant pourtant un créneau de production novateur et original au Québec : le maïanthème (*Maianthemum canadense*), la salsepareille ou aralie à tige nue (*Aralia nudicaulis*) et le sureau rouge (*Sambucus pubens*). Les objectifs poursuivis par ce projet sont de (1) documenter la performance en rendement des fruits des 3 PFNL à l'étude, en fonction de différentes conditions de croissance (types de sols, ouverture du couvert, fertilisation), (2) d'évaluer la concentration en antioxydants et la valeur nutritive de ces PFNL et (3) d'en déduire des stratégies optimales pour favoriser les meilleurs rendements et la meilleure qualité de fruits.

En testant différentes conditions d'ouverture de couvert forestier, variant de 5 à 30 % environ et 3 traitements de fertilisation (1 application de chaux, 1 application d'Acti-Sol® (engrais organique de fumier de poulet), 1 application de chaux et Acti-Sol®, 1 témoin sans fertilisant), il a été possible de documenter la performance en rendement des fruits de ces espèces en fonction des variables du milieu. Ainsi, les productions en fruits du maïanthème et de l'aralie sont améliorées en condition de plus grande ouverture du couvert. Pour le maïanthème, plante herbacée de moins de 10 cm de hauteur, le contrôle de la compétition herbacée est aussi bénéfique à la production fruitière. Dans les conditions étudiées, les variations du couvert n'ont par contre pas apporté de différence à la production en fruits du sureau. En ce qui concerne l'apport de fertilisants, il a été montré que la chaux réduit la production fruitière du maïanthème, espèce reconnue pour être acidophile, alors que l'Acti-Sol® augmente celle de l'aralie lors de l'année d'application.

L'évaluation des molécules antioxydantes confirme que les 3 PFNL à l'étude présentent des concentrations en polyphénols totaux se situant entre 1,4 et 1,7 fois celle du bleuet, alors que l'aralie montre un contenu élevé en anthocyanes, comparable à celui du bleuet. Ces petits fruits présentent donc un potentiel intéressant pour la santé, avec un contenu élevé en molécules bioactives. Étant donné les bénéfices que peut présenter l'intégration d'aliments riches en polyphénols sur la santé, les trois petits fruits étudiés au Domaine du Bocage apparaissent comme de bons candidats à intégrer à l'alimentation humaine.

Ainsi, grâce à cette expérimentation, il est déjà possible, après 2 années de suivi, de documenter la performance en rendement des fruits et d'évaluer la teneur en antioxydants ainsi que la valeur nutritive des PFNL à l'étude. Des recommandations sur la régie de culture en vue d'optimiser leurs rendements en fruits ont aussi été formulées. Étant donné la grande variabilité de la production de fruits selon les années et les délais d'alcalinisation du sol suite à l'application de la chaux, un suivi du dispositif sur une plus longue période serait néanmoins pertinent.

MISE EN CONTEXTE

Depuis le début de la crise forestière en 1999, plusieurs régions du Québec tentent de diversifier l'exploitation de leurs forêts par le développement de nouveaux produits. Déjà en expansion sur la côte ouest canadienne et dans plusieurs pays, les produits forestiers non ligneux ou PFNL¹ possèdent un important potentiel d'exploitation au Québec. D'ailleurs, dans l'ensemble du Canada, de nombreuses ressources tirées des forêts ont d'importantes retombées pour un grand nombre de collectivités et de ménages ruraux². Diversifier l'exploitation faite des forêts représente aussi une solution pour que les travailleurs forestiers puissent continuer à travailler dans ce secteur pendant les périodes de perte d'emplois.

Le Domaine du Bocage est une entreprise agricole de 6 ha, située dans la région de Québec, qui produit sous couvert forestier des PFNL, et plus spécifiquement des petits fruits sauvages, qu'elle transforme depuis 2011 en gelées, sirops, marinades, pâtes de fruits, etc. Cette terre est cultivée de façon traditionnelle : les propriétaires ont aménagé différents sites de production sans machinerie lourde et le choix des petits fruits a été dicté par la nature : actuellement, les propriétaires récoltent ce qui pousse sous couvert et tentent d'augmenter cette production par certaines actions comme l'élagage et des éclaircies. Les effets de ces actions ne sont par contre pas documentés et la production n'est pas optimisée.

Parmi les petits fruits sauvages poussant sous couvert et transformés au Domaine du Bocage, on retrouve: deux variétés de bleuets sauvages (*Vaccinium myrtilloïdes* et *Vaccinium angustifolium*), le maïanthème du Canada (*Maïanthemum canadense*), la salsepareille ou aralie à tige nue (*Aralia nudicaulis*), le pimbina (*Viburnum trilobum*), la viorne cassinoïde (*Viburnum cassinoides*), le sureau rouge (*Sambucus pubens*), la noisette à long bec (*Corylus cornutua*), l'amélanchier (*Amelanchier canadensis*), la gadelle (*Ribes glandulosum*), la catherinette (*Rubus pubescens*), la cerise de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*) et la cerise à grappes (*Prunus virginiana*). Plusieurs de ces produits indigènes sont actuellement peu connus des consommateurs. Ils présentent pourtant un créneau de production novateur et original au Québec. Étant abondants dans les forêts québécoises, ils constituent aussi un potentiel économique intéressant.

¹ L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture définit les PFNL comme des biens d'origine biologique autres que le bois, provenant des forêts, d'autres terrains boisés ou d'arbres hors forêt (<http://www.fao.org/forestry/nwfp/6388/fr/>, consulté le 1^{er} juin 2016)

² <https://www.rncan.gc.ca/forets/industrie/demandes/13204>, consulté le 11 juillet 2016

Par contre, les conditions de culture optimisant la production en fruits de ces PFNL sont peu documentées, en particulier sous couvert forestier partiel, permettant ainsi un usage multifonctionnel de la forêt (ex. : production de PFNL et de matière ligneuse). Pourtant, le contrôle de certains paramètres critiques pour la croissance des végétaux et la production de fruits, tels la lumière, l'humidité et les éléments nutritifs disponibles a une incidence sur la productivité des plants (Michaud, 2005) et mériterait d'être documenté. Une meilleure connaissance des paramètres optimaux de croissance et de production fruitière des PFNL produits au Domaine du Bocage permettrait de mettre en place ces conditions par des interventions ciblées (ex. : coupes partielles ou élagage pour contrôler la lumière au sol, amendement pour améliorer la nutrition des plants) et d'accroître alors les rendements de ces espèces.

OBJECTIFS

L'objectif principal du projet est d'optimiser la production de trois PFNL transformés par le Domaine du Bocage, peu connus au Québec et représentant un créneau novateur pour le développement de cette filière économique. Les trois PFNL ciblés par le projet sont le maïanthème du Canada, l'aralie à tige nue (ou salsepareille) et le sureau rouge.

Plus spécifiquement, il s'agit de :

- 1- Documenter la performance en rendement** des fruits, en fonction de différentes conditions de croissance (ouverture du couvert, apport d'amendements).
- 2- Évaluer la concentration en antioxydants** (anthocyanes et polyphénols totaux) **et la valeur nutritive** des PFNL, dans les conditions du milieu permettant les meilleures récoltes en fruits.
- 3- Développer des stratégies optimales** pour favoriser les meilleurs rendements et la meilleure qualité de fruits des trois PFNL à l'étude, à partir des résultats de l'expérimentation réalisée.

1. HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Les hypothèses de recherche permettront de répondre à l'influence des différents paramètres testés sur la production de fruits, soit l'ouverture du couvert forestier, la présence de la compétition herbacée (uniquement pour le maïanthème) et l'apport d'amendements dans le sol.

1.1. MAÏANTHÈME

1.1.1. Ouverture du couvert

- H1- Le maïanthème étant une espèce de mi-ombre à ombre, la proportion de plants en fleurs qui produisent des fruits est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre versus ombre).
- H2- Le nombre moyen de fruits par plant est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre versus ombre).
- H3- Le poids moyen des fruits est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre versus ombre).
- H4- La proportion de fruits mûrs est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre versus ombre).

1.1.2. Compétition herbacée

- H5- La proportion des plants en fleurs qui produisent des fruits est inversement proportionnelle au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.
- H6- Le nombre moyen de fruits par plant est inversement proportionnel au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.
- H7- Le poids moyen des fruits est inversement proportionnel au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.
- H8- La proportion de fruits mûrs est inversement proportionnelle au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.

1.1.3. Amendements

- H9- Le maïanthème étant une espèce acidophile, la proportion de plants en fleurs qui produisent des fruits diminue avec l'ajout de chaux.
- H10- La proportion de plants en fleurs qui produisent des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H11- Le nombre moyen de fruits par plant diminue avec l'ajout de chaux.
- H12- Le nombre moyen de fruits par plant augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H13- Le poids moyen des fruits diminue avec l'ajout de chaux.
- H14- Le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H15- La proportion de fruits mûrs diminue avec l'ajout de chaux.
- H16- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.

1.2. ARALIE À TIGE NUE

1.2.1. Ouverture du couvert

- H17- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, la proportion d'ombelles en fleurs qui produisent des fruits est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
- H18- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, le nombre moyen de fruits par plant est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
- H19- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, le poids moyen des fruits est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
- H20- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, la proportion de fruits mûrs est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.

1.2.2. Amendements

- H21- L'aralie étant une espèce préférant les sols acides à neutres (pH optimum de 5 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), la proportion d'ombelles en fleurs qui produisent des fruits augmente avec l'ajout de chaux.
- H22- La proportion d'ombelles en fleurs qui produisent des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H23- L'aralie étant une espèce préférant les sols acides à neutres (pH optimum de 5 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le nombre moyen de fruits par plant augmente avec l'ajout de chaux.
- H24- Le nombre moyen de fruits par plant augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H25- L'aralie étant une espèce préférant les sols acides à neutres (pH optimum de 5 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout de chaux.
- H26- Le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H27- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout de chaux.
- H28- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.

1.3. SUREAU PUBESCENT

1.3.1. Ouverture du couvert

- H29- Le sureau étant une espèce de lumière, la proportion de grappes en fleurs qui produisent des fruits est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
- H30- Le sureau étant une espèce de lumière, le nombre moyen de fruits par grappe est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
- H31- Le sureau étant une espèce de lumière, le poids moyen des fruits est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
- H32- Le sureau étant une espèce de lumière, la proportion de fruits mûrs est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.

1.3.2. Amendements

- H33- Le sureau étant une espèce préférant les sols neutres (pH optimum de 6,8 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), la proportion de grappes en fleurs qui produisent des fruits augmente avec l'ajout de chaux.
- H34- La proportion de grappes en fleurs qui produisent des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H35- Le sureau étant une espèce préférant les sols neutres (pH optimum de 6,8 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le nombre moyen de fruits par grappe augmente avec l'ajout de chaux.
- H36- Le nombre moyen de fruits par grappe augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H37 -Le sureau étant une espèce préférant les sols neutres (pH optimum de 6,8 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout de chaux.
- H38- Le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H39- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout de chaux.
- H40- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
- H41- L'ajout de chaux, en favorisant la croissance et le rendement, diminue la concentration des fruits en antioxydants.
- H42- L'Acti-Sol® étant un amendement riche en azote (5 %), il favorise la croissance et la production de fruits et les fruits produits sont alors moins riches en composés secondaires tels que les composés phénoliques.

Note : Les propriétés antioxydantes et nutritionnelles ne pourront être comparées en fonction de l'ouverture de couvert ou des amendements, en raison du coût élevé des analyses nutritionnelles et du manque d'échantillons pour les analyses des antioxydants. Le sureau fait toutefois exception du fait de la forte production de fruits en 2017.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

2.1. LES PRODUITS FORESTIERS NON LIGNEUX

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), les PFNL se définissent comme étant des « biens d'origine biologique autres que le bois, dérivés des forêts, d'autres terres boisées et des arbres hors forêts ». Ce sont donc des produits de la forêt qui ont une valeur économique et qui ne sont pas du bois destiné à la fabrication de pâtes et papiers, de cartons ou de produits de première, deuxième et troisième transformation³.

On reconnaît plusieurs types de PFNL⁴ :

- **Les produits alimentaires**, par exemple les champignons, les fruits sauvages, le sirop d'érable ainsi que les plantes comestibles (têtes de violon, ail des bois, etc.).
- **Les produits ornementaux**, ceux-ci comprennent entre autres les arbres et les couronnes de Noël, les fleurs séchées ou fraîches, les sculptures sur bois, etc.
- **Les produits pharmaceutiques et d'hygiène**, tels que le paclitaxel (commercialisé sous le nom de Taxol) qu'on retrouve dans l'if du Canada et qui est utilisé comme agent chimiothérapeutique, les huiles essentielles extraites de certains arbres ou de plantes qu'on intègre à des produits cosmétiques, etc.

Le présent projet se concentre sur des PFNL destinés à la consommation alimentaire. Plus spécifiquement, les trois PFNL ciblés par le projet et qui font l'objet de cette revue de littérature sont le **maianthème du Canada**, l'**aralie à tige nue** et le **sureau rouge**. Ils ont été sélectionnés pour les raisons suivantes :

- Ils font partie des PFNL que le Domaine du Bocage souhaite transformer et intégrer à sa gamme de produits, leur ayant déjà trouvé des propriétés gustatives prometteuses lors de tests;
- Ils sont peu connus des consommateurs. Ils présentent donc un créneau de production novateur et original au Québec et un potentiel économique intéressant;
- Ils sont déjà présents sur la propriété du Domaine du Bocage, mais leur production n'est pas optimisée.

³ <http://www.fao.org/forestry/nwfp/6388/fr/>, consulté le 1^{er} juin 2016

⁴ <http://www.rncan.gc.ca/forets/industrie/demandes/13204>, consulté le 17 juin 2016

2.2. LE MAÏANTHÈME DU CANADA

Le maïanthème du Canada est une plante indigène de la famille des Liliacées qui colonise les sous-bois. Son nom latin, *Maianthemum*, signifie « fleur de mai », correspondant à sa période habituelle de floraison.

2.2.1. Morphologie

C'est une plante grégaire de petite taille (6 à 22 cm environ) comprenant généralement 2 ou 3 feuilles en forme de cœur allongé et une grappe de fleurs denses, de forme étoilée et de couleur blanche (figure 11). Lorsque le plant est issu de graine, il met jusqu'à 7 ans pour fleurir une première fois. Les fruits (baies) sont de couleur beige au tout début de la fructification, mais se couvrent graduellement de taches rouge vif (figure 2), jusqu'à devenir rouges foncées à maturité, à l'automne (figure 3).

Certains individus ne portent pas de fleurs et sont formés d'une seule feuille qui naît directement du rhizome. Ceux-ci sont incomparablement plus nombreux et forment souvent des tapis continus dans les sous-bois (Marie-Victorin, 2002).



Figure 1. Plants de maïanthème du Canada en fleurs au Domaine du Bocage



Figure 2. Fruits non mûres de maianthème du Canada au Domaine du Bocage



Figure 3. Fruits mûres de maianthème du Canada au Domaine du Bocage

2.2.2. Habitat

Le maianthème est abondant dans les bois frais ou tourbeux et est généralement associé à la forêt coniférienne, bien qu'on le retrouve aussi dans les forêts mixtes et feuillues. La plante préfère les sols acides (pH 4-5) (Lamoureux, 2002), humides à mésiques et offrant

des conditions ombragées à semi-ombragée⁵. Il pousse souvent sur les blocs erratiques couverts d'humus, sur les souches en décomposition et les fourmilières abandonnées. C'est une plante présente presque partout au Québec, au sud de la baie d'Hudson et du Labrador (figure 4).



Figure 4. Tapis de maïanthème du Canada entouré de cornouiller du Canada (quatre temps) au Domaine du Bocage

2.2.3. Culture

De culture facile, le maïanthème se propage par ses rhizomes courant près de la surface du sol. On peut aussi le semer en récoltant les fruits murs et en débarrassant les graines de la pulpe qui contient des substances retardant la germination. Il est recommandé de semer les graines dès leur récolte puisqu'elles supportent mal l'entreposage à sec (Lamoureux, 2002). De plus, comme c'est une plante à croissance lente (elle met jusqu'à 7 ans pour fleurir une première fois à partir de la graine), il est recommandé de ne pas la transplanter ni de modifier son habitat.

⁵ http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=MACA4, consulté le 1^{er} juin 2016

2.2.4. Usage

Les baies sont comestibles. Il est par contre recommandé de les consommer avec modération, car elles sont réputées laxatives⁶. Les Amérindiens utilisaient la plante en infusion contre les maux de tête (Uprety *et al.*, 2016) et aussi en gargarisme contre les irritations à la gorge⁷.

Selon Chantale Levesque (communication personnelle, le 20 juin 2016), le goût des fruits évoque la saveur du chocolat ou parfois la cerise lorsque le fruit est récolté tôt et que la maturité est accélérée par des opérations de congélation et décongélation. La transformation du fruit se prête bien à la confection d'un sirop, d'une gelée ou d'une tartinade, mais le goût est très doux et se perd lorsque le produit est consommé avec un autre aliment (Chantale Levesque, communication personnelle). La ferme du Bocage a donc décidé d'utiliser la prochaine production de maïanthème pour développer une nouvelle recette de pâtes de fruits ou de confiserie de type sucre d'orge (figure 5).



Figure 5. Une partie de la récolte de fruits du maïanthème au Domaine du Bocage

⁶ <http://espacepouurlavie.ca/flore-biodome/maiantheme-du-canada> , consulté le 1^{er} juin 2016

⁷ <http://espacepouurlavie.ca/flore-biodome/maiantheme-du-canada>, consulté le 1^{er} juin 2016

2.3. L'ARALIE À TIGE NUE

L'aralie à tige nue, aralie chassepareille ou salsepareille, est une plante indigène de la famille des Araliacées, très fréquente et abondante en milieu forestier. L'aralie à tige nue est à ne pas confondre avec la salsepareille d'Europe (*Smilax aspera*), celle dont les Schtroumpfs sont si friands et faisant partie de la famille des Liliacées (Marie-Victorin, 2002).

2.3.1. Morphologie

L'aralie à tige nue est une plante herbacée vivace, à rhizome. Son nom lui vient du latin *nudus* (nu) et *cauli* (tige), en référence à l'inflorescence qui n'a pas de feuilles⁸. Elle est de taille moyenne (15-40 cm) et forme parfois des colonies étendues. Le rhizome produit deux tiges, l'une stérile portant uniquement le feuillage et l'autre portant les fleurs. Le feuillage est composé d'une seule grande feuille divisée en trois parties principales, elles-mêmes découpées en cinq folioles ovales finement dentées (Lamoureux, 2002). L'inflorescence, portée sur une tige plus courte, comprend généralement 3 ombelles (parfois 2 ou 4) formées de petites fleurs blanches verdâtres se dissimulant sous l'unique feuille (figure 6 et figure 7). Une tige demande au moins 5 ans pour fleurir une première fois. Les fruits sont petits et charnus (5 à 6 mm) et deviennent d'un pourpre noirâtre à maturité, fin juillet-début août selon Chantale Levesque (Marie-Victorin, 2002) (figure 8).



Figure 6. Plant d'aralie à tige nue au Domaine du Bocage

⁸ http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=ARNU2 , consulté le 6 juin 2016



Figure 7. Inflorescence en boutons d'un plant d'aralie à tige nue au Domaine du Bocage



Figure 8. Fruits d'un plant d'aralie à tige nue

Source : <http://faaxaal.forumactif.com/t1847-photos-de-plantes-aralie-chassepareille-angelique-a-tige-nue-fausse-salsepareille-salsepareille-du-canada-aralia-nudicaulis-false-sarsaparilla>

2.3.2. Habitat

C'est une plante très caractéristique de la forêt boréale, mais on la retrouve aussi dans les forêts mixtes et dans les érablières moins riches (à bouleau jaune). L'aralie affectionne les sols frais et humides et les conditions qualifiées d'ombre à mi-ombre⁹ ou de mi-ombre à ensoleillée¹⁰ selon les sources. La plante préfère les sols acides à neutres (pH 5 à 7,2)¹¹. Elle est absente des lieux ouverts et secs et des sols organiques mouillés (Lamoureux, 2002). Au Québec, on la trouve au sud de la Baie-James et du Labrador.

2.3.3. Culture

C'est une plante à croissance lente qui se propage surtout végétativement par son rhizome, ce qui explique une production de fleurs souvent limitée. Aucune plantule n'a été observée en nature, et la germination s'obtient difficilement en culture (Lamoureux, 2002). C'est une plante que les horticulteurs considèrent comme envahissante. Néanmoins, on suggère de la transplanter avec précaution, en n'éclaircissant que les populations très denses en bordure de route ou de chemins forestiers. Et on ne recommande pas de la prélever en forêt ni de modifier son habitat.

2.3.4. Usage

Le rhizome aromatique était autrefois utilisé dans la fabrication de la *root beer*. Une fois séché, ce dernier sert aussi à produire un thé stimulant (Lamoureux, 2002). On produisait traditionnellement, un vin à partir des fruits. Les jeunes feuilles peuvent également se manger comme des épinards¹².

Les fruits sont comestibles et sont très prisés des oiseaux, en plus de plusieurs espèces d'oiseaux et de mammifères. D'une saveur fortement résineuse, leur goût rappelle celui de la baie de genévrier. C'est une plante très nutritive qui peut aussi servir d'aliment d'urgence. Les Amérindiens l'ont longtemps utilisée comme plante médicinale et alimentaire¹³. Plus récemment, des propriétés médicinales ont été mises en évidence chez l'aralie, notamment des propriétés anti-cancer sur plusieurs types de cancer (leucémie, cancer du côlon et du cervix) (Wang *et al.*, 2006). Selon Chantale Levesque (communication personnelle, le 20 juin 2016), le goût de la baie est très intéressant, mêlant une saveur de prune et bleuet, poivrée, avec une fin en bouche un peu piquante. Le Domaine du Bocage a déjà testé des recettes de gelée et de tartinade et la gelée semble prometteuse. Chantale Levesque a aussi le projet de développer prochainement une recette de pâte de fruits et de sauce.

⁹ <http://espacepouirlavie.ca/flore-biodome/aralie-tige-nue>, consulté le 6 juin 2016

¹⁰ http://fr.hortipedia.com/wiki/Aralia_nudicaulis, consulté le 8 juillet 2016

¹¹ http://fr.hortipedia.com/wiki/Aralia_nudicaulis, consulté le 8 juillet 2016

¹² http://floreduquebec.ca/aralia_nudicaulis&text=nomfr, consulté le 6 juin 2016

¹³ http://floreduquebec.ca/aralia_nudicaulis&text=nomfr, consulté le 6 juin 2016

2.4. LE SUREAU ROUGE

Le sureau rouge, aussi appelé sureau pubescent, pousse surtout dans les bois, les taillis et les clairières et fait partie de la famille des caprifoliacées. Il n'est pas rare de l'observer en bordure de chemin, à l'orée des bois, dans les fossés ou près des clôtures (Lamoureux, 2002). Son nom latin *Sambucus*, viendrait d'un ancien instrument de musique (le sambuque) qu'on fabriquait à partir du bois creux du sureau (Girard, 2013).

2.4.1. Morphologie

C'est un grand arbuste qui peut atteindre une hauteur de 3 à 4 mètres, avec un port généralement étalé (figure 9). Sa tige est creuse et contient une moelle tendre brune orangée. Ses feuilles opposées comptent de 5 à 7 folioles dentées et pubescentes en dessous. Les bourgeons floraux sont violacés et très gros. Les fleurs sont nombreuses, blanches, odorantes et de forme conique (10 à 15 cm)¹⁴ (figure 10). La floraison débute en avril-mai pendant l'épanouissement des feuilles (Marie-Victorin, 2002). Les fruits sont charnus et d'un rouge vif. Ils murissent dès le début de l'été et forment des masses très voyantes (figure 11).



Figure 9. Plant de sureau rouge au Domaine du Bocage

¹⁴ <http://espacepoulavie.ca/flore-biodome/sureau-pubescent-sureau-rouge> , consulté le 8 juin 2016



Figure 10. Détail d'une grappe de fleurs fanées de sureau rouge au Domaine du Bocage



Figure 11. Fruits du sureau rouge

Source : <http://floreduquebec.ca/photos=sambucus-racemosa>

2.4.2. Habitat

C'est une espèce fréquente des érablières à bouleau jaune et des bétulaies jaunes. On la trouve aussi dans les zones des forêts mélangée et boréale¹⁵. Le sureau pousse sur des sites variés, mais préfère les sols frais et rocailloux (Leboeuf 2007) à pH quasi neutre (6,8-7,2)¹⁶. Il pousse mieux en plein soleil, mais peut tolérer une certaine quantité d'ombre¹⁷. C'est un arbuste commun dans tout le Québec.

¹⁵ <http://espacepourlavie.ca/flore-biodome/sureau-pubescent-sureau-rouge>, consulté le 8 juin 2016

¹⁶ http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=SARAR3, consulté le 8 juin 2016

¹⁷ <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/agroforesterie/planification-et-etablissement-des-brise-vent/choix-des-essences-d-arbres-et-d-arbustes/sureau-rouge/?id=1345845931784>, consulté le 8 juin 2016

2.4.3. Culture

C'est un arbuste qui se reproduit bien par bouture ou par scarification des graines (2 mois dans un environnement froid et humide)¹⁸. Certains prétendent qu'on peut enlever la pulpe du fruit frais et planter immédiatement la semence tard à l'été et provoquer ainsi l'alternance entre le chaud (automne) et le froid (hiver) dont la graine a besoin pour germer au printemps suivant (plants.usda.gov/factsheet/pdf/fs_sara2.pdf). Il est à noter que le dépérissement hivernal est commun chez cet arbuste causant des cassures au niveau des branches. La repousse est cependant rapide et abondante¹⁹.

2.4.4. Usage

Une fois la moelle évidée, le bois peut être utilisé pour fabriquer des pipes, des tire-pois et autrefois des chalumeaux pour l'eau d'érable. Il faut toutefois être prudent dans l'utilisation de ces outils puisque toutes les parties vertes de la plante (incluant le fruit non mûr) sont toxiques et peuvent causer des nausées ou des diarrhées (l'ingestion est non recommandée) (Lamoureux, 2002). Par contre, des effets antiviraux très intéressants ont été observés chez le sureau (100% d'inhibition) sur le virus respiratoire syncytial qui provoque des infections respiratoires chez les jeunes enfants (McCutcheon *et al.*, 1995).

Les fleurs séchées et moulues donnent une farine qu'on peut ajouter aux crêpes, aux muffins et aux gâteaux (LeGal, 2009). Les fruits mûrs, bien que non toxiques, sont amers et désagréables au goût lorsque consommés à l'état frais. Ils peuvent également causer une irritation du système digestif. Les fruits sont par contre inoffensifs lorsqu'ils sont cuits et peuvent servir à la confection de gelées, de confitures, de sirops ou de vin. Pour améliorer le goût des préparations, on suggère de mélanger les fruits du sureau avec d'autres types de baies²⁰.

Le Domaine du Bocage a développé plusieurs recettes à base de fruits de sureau : sirop, gelée et pâte de fruits. La gelée et les pâtes de fruits sont les produits les plus appréciés des consommateurs (Chantale Levesque, communication personnelle, le 20 juin 2016).

¹⁸ http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=SARAR3, consulté le 8 juin 2016

¹⁹ <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/agroforesterie/planification-et-etablissement-des-brise-vent/choix-des-essences-d-arbres-et-d-arbustes/sureau-rouge/?id=1345845931784>, consulté le 8 juin 2016

²⁰ http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=SARAR3, consulté le 8 juin 2016

3. MÉTHODE

3.1. LOCALISATION DU SITE D'ÉTUDE

Le site d'étude est localisé sur la propriété du Domaine du Bocage, dans la municipalité de Saint-Ferréol-les-Neiges (363, rang Saint-Nicolas), à environ 60 km à l'est de Québec, dans la région de la Capitale-Nationale (figure 12 et figure 13). Cette exploitation agricole de 6 ha est la propriété de Mme Chantale Levesque et M. Alain La Barre.

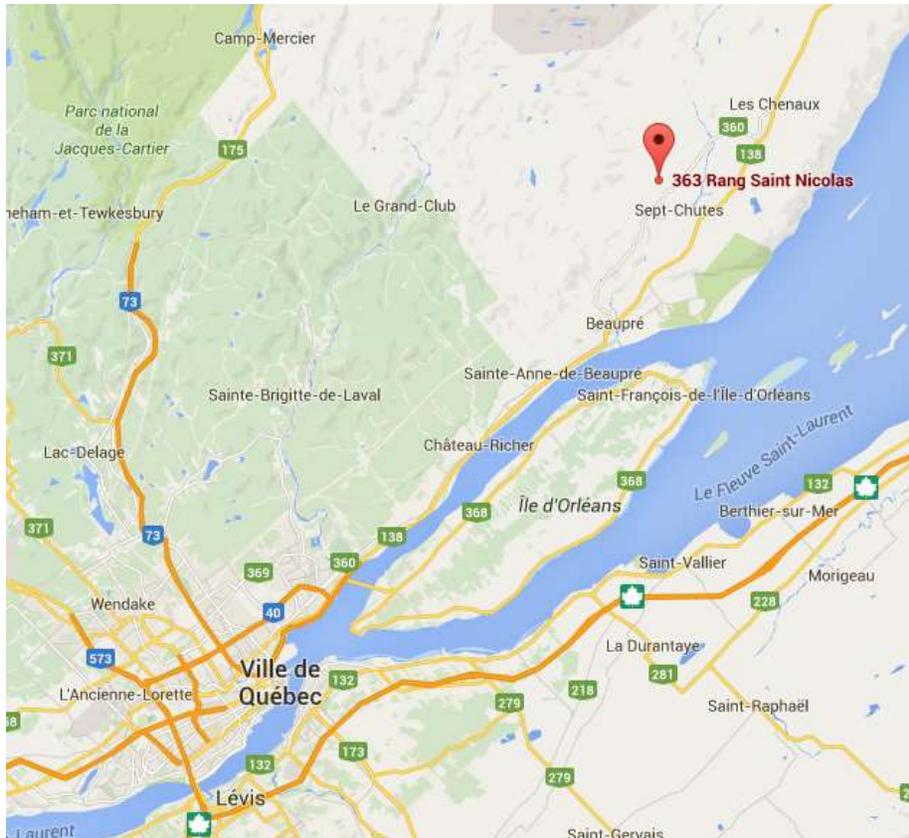


Figure 12. Localisation générale de la ferme du Domaine du Bocage

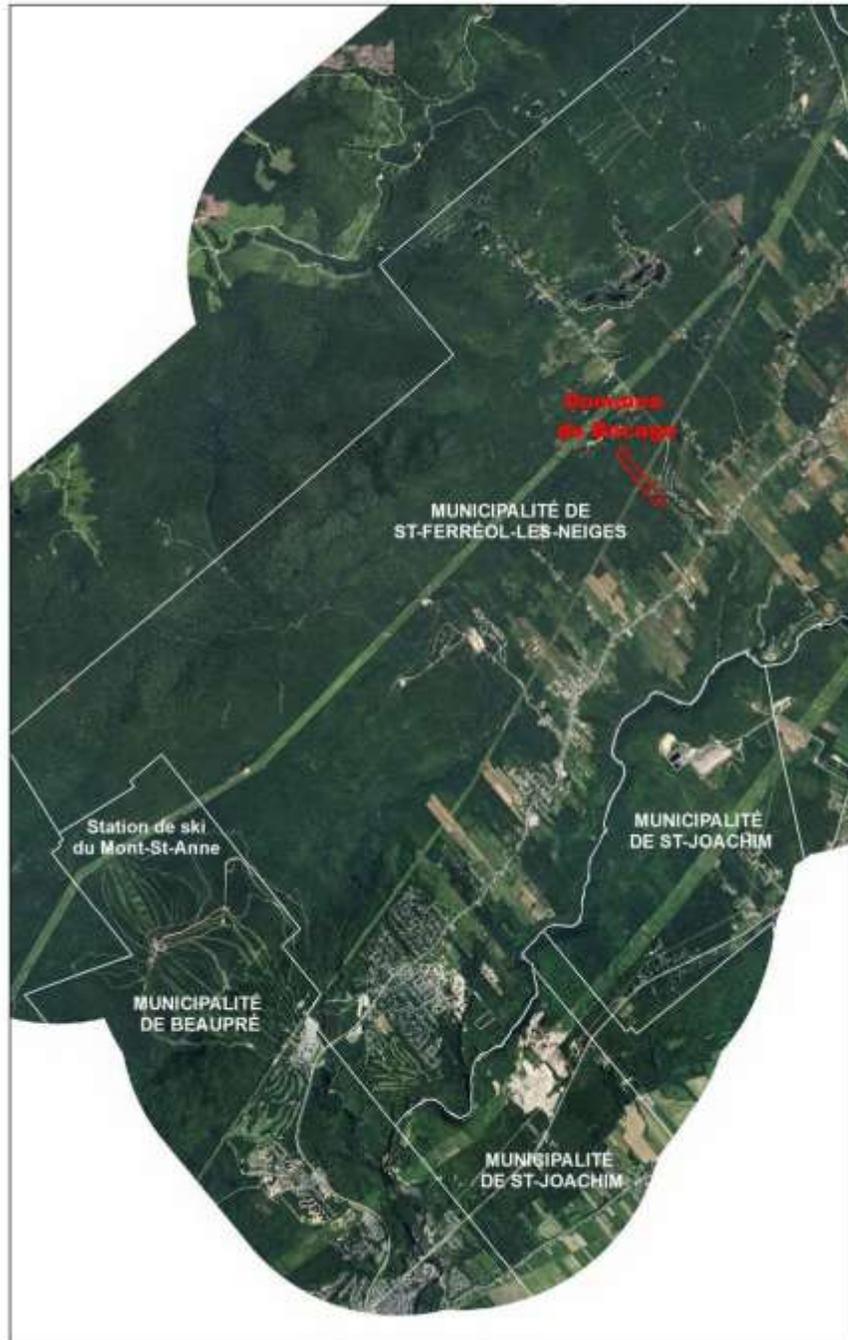


Figure 13. Localisation fine de la ferme du Domaine du Bocage

Le Domaine du Bocage est situé dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune (4), sous-région écologique méridionale 4d-M (Hautes collines de Saint-Tite-des-Caps) (figure 14). Selon Robitaille et Saucier (1998), ce secteur, représenté par l'unité de paysage 55, forme une transition entre la plaine marine au sud et le relief accidenté des contreforts laurentidiens au nord. Le relief est accidenté et principalement constitué de hautes collines arrondies, aux versants en pente forte. Les dépôts de surface sont dominés par les tills épais, les tills minces ne couvrant que les pentes fortes et les sommets.

Le climat est plus frais et plus humide que dans la plaine du Saint-Laurent. Les températures annuelles moyennes sont de 2,5°C, la saison de croissance est évaluée entre 150 et 170 jours (entre 1 800 et 2 600°C degrés-jours de croissance) et les précipitations annuelles moyennes entre 1 200 et 1 600 mm.

La végétation potentielle des sites mésiques est soit la sapinière à bouleau jaune, soit l'érablière à bouleau jaune, selon l'altitude et l'exposition du site. Dans le cas du Domaine du Bocage, il s'agit de la sapinière à bouleau jaune. Les bas de pentes bien moins drainés sont occupés par la sapinière à bouleau jaune, tandis que les sites hydriques sont colonisés par la sapinière à thuya et frêne noir.

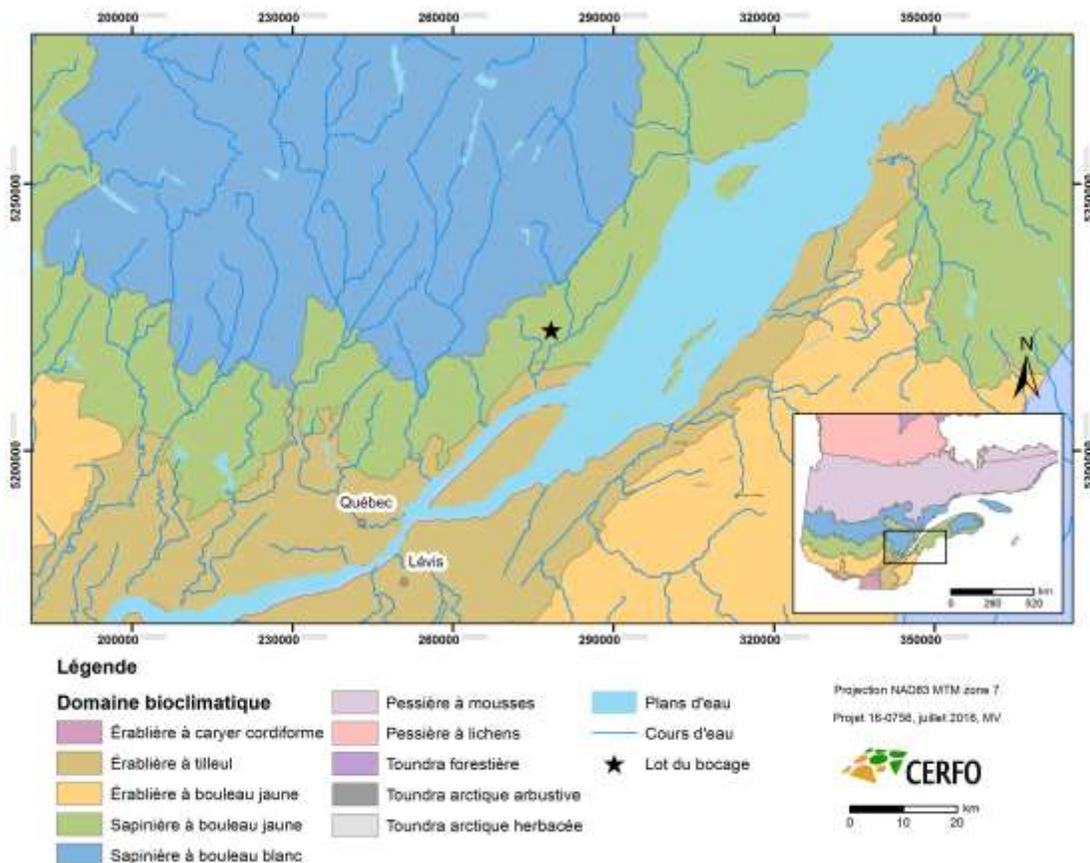


Figure 14. Localisation du site d'étude selon la classification écologique du MFFP

3.2. IMPLANTATION DU DISPOSITIF

Cinq secteurs distincts ont été identifiés lors de la première visite, présentant a priori des différences de par leur localisation sur la ferme (suivant un gradient nord-sud) et la végétation présente. Ces cinq secteurs constituent les 5 blocs du dispositif expérimental (figure 15) :

- **Bloc 1** : au sud de la rivière, à l'entrée de la propriété – couvert forestier mixte;
- **Bloc 2** : derrière la maison, à l'est du chemin d'accès – couvert forestier mixte;
- **Bloc 3** : derrière la maison, à l'ouest du chemin d'accès – couvert forestier résineux pur;
- **Bloc 4** : après la ligne d'Hydro-Québec, au nord du chemin d'accès – couvert forestier dominé par les résineux;
- **Bloc 5** : après la ligne d'Hydro-Québec, dans l'érablière et dans le talus mitoyen.

Pour chacun de ces 5 blocs, une analyse des conditions de sol dans un pédon et de la végétation a été réalisée, afin d'évaluer si les conditions du milieu sont différentes.



Figure 15. Localisation des blocs (en jaune) et des pédons (triangles blancs)

3.2.1. Description sommaire des conditions de sol et de la végétation présente

3.2.1.1 Visite terrain et analyse des pédons

Cinq pédons ont été creusés, un dans chaque bloc, afin de décrire les sols, notamment les dépôts de surface et les classes de drainage (figure 16). Il a également été possible de faire le lien avec les travaux sur les séries de sols de la MRC de Beaupré, de Rompré et Gagnon (2000) et les aptitudes de productions agricoles.

Chaque pédon faisait un mètre cube. Une fiche analytique a été complétée pour chacun et associée au site une série de sol, un type écologique terrain et la présence et l'abondance estimées des trois fruits des bois à l'étude. L'analyse détaillée de chaque pédon est présentée dans l'annexe 1.

La plupart des sols appartiennent à l'ordre des sols podzoliques ou brunisol dystrique. On retrouve deux sols plus humides, dans les secteurs du bloc 3 et 4. Les hypothèses de séries de sols effectuées permettent d'appréhender que les sols sont tous acides et que leur aptitude à la production agricole est faible à modérée, en lien également avec leur texture (texture sableuse et sable loameux), ce que devrait confirmer le rapport sur les analyses de sols. Le potentiel de production ligneuse a été estimé selon la méthode développée par Bélanger *et al.* (1995). Pour la production résineuse, il est de faible à bon. Pour les feuillus intolérants, la production est plus intéressante dans les secteurs 1, 2 et 5.

Quant aux 3 PFNL à l'étude, le sureau est surtout présent sur le secteur du bloc 1, l'aralie dans les secteurs des blocs 3, 4 et 5, et le maïanthème particulièrement dans les blocs 2, 3 et 5.

Secteur du bloc 1 :

- Bon sol pour la production forestière, profond, bien drainé (classe 2), peu pierreux, de texture sablonneuse;
- Végétation de la sapinière à bouleau blanc;
- Présence du cortège des plantes acidiphiles;
- Présence relativement abondante du **sureau rouge**.

Secteur du bloc 2 :

- Bon sol pour la production forestière, profond, modérément bien drainé (classe 3), peu pierreux;
- Végétation de la sapinière à bouleau blanc;
- Présence du cortège des plantes acidiphiles;
- Présence abondante du **maïanthème**.

Secteur du bloc 3 :

- Potentiel faible à modéré pour la production forestière, drainage mauvais (classe 5);
- Végétation de la pessière à épinette noire à mousses hypnacées et herbacées;
- Présence du cortège des plantes acidiphiles et des plantes associées à l'épinette noire;
- Présence abondante du **maïanthème**;
- Présence de l'**aralie** en bordure du site, près du canal de ruissellement.

Secteur du bloc 4 :

- Potentiel modéré pour la production forestière, drainage imparfait (classe 4), sol peu pierreux;
- Végétation de la sapinière à sapin baumier et bouleau blanc;
- Présence du cortège des plantes acidiphiles;
- Présence de l'**aralie**.

Secteur du bloc 5 :

- Bon sol pour la production forestière, profond, bien drainé (classe 2), peu pierreux;
- Végétation de la sapinière à bouleau blanc et érable rouge;
- Présence du cortège des plantes acidiphiles, mais aussi quelques plantes de l'érablière;
- Présence abondante du **maïanthème** et de l'**aralie**.



Figure 16. Exemple d'un pédon

3.2.1.2 Analyses physico-chimiques des sols

L'analyse physico-chimique des sols a été réalisée sur un échantillon composite (10-12 points) prélevé de manière aléatoire sur chacun des 5 blocs dans l'horizon 0 – 15 cm, excluant la couche organique (figure 17 et figure 18). Les analyses ont été réalisées par AGRO-ENVIRO-LAB, un laboratoire certifié situé à La Pocatière. La matière organique a été déterminée par incinération, les éléments minéraux par extraction Mehlich III et dosage par ICP (spectrométrie à plasma) et la texture a été déterminée par sédimentométrie. Les pH et pH-tampon ont été mesurés par l'utilisation d'un pH-mètre, après incubation du sol dans l'eau distillée ou dans une solution tampon respectivement. La section ci-dessous présente d'abord le résultat des analyses puis la justification des traitements de fertilisation sélectionnés pour l'étude.

Les résultats des analyses chimiques sont présentés aux figures 19 à 23 pour les blocs 1 à 5 respectivement. Dans l'ensemble et tel qu'attendu, il s'agit de sols dont la teneur en éléments nutritifs est pauvre et dont la présence de matière organique est importante, variant de 6,3 % à 13,8 %. Le faible ratio P/Al implique une forte immobilisation du phosphore. Le pH des sols est acide (4,9 à 5,2), mais suffisamment élevé pour envisager une minéralisation annuelle non négligeable de l'azote issu de la matière organique. Il a été observé que le bloc 2 est légèrement plus riche en potassium et calcium. Étant prêt des habitations, il est possible que ce site ait antérieurement fait l'objet d'application d'engrais ou de cendres de poêle.



Figure 17. Prélèvement d'un échantillon de sol



Figure 18. Différents échantillons prélevés pour les analyses de sol

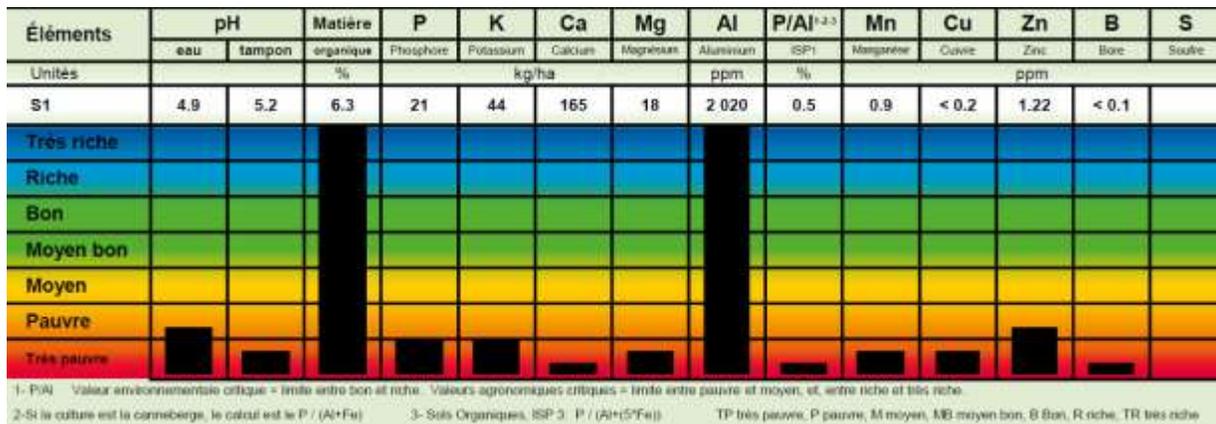


Figure 19. Analyses physico-chimiques du bloc 1

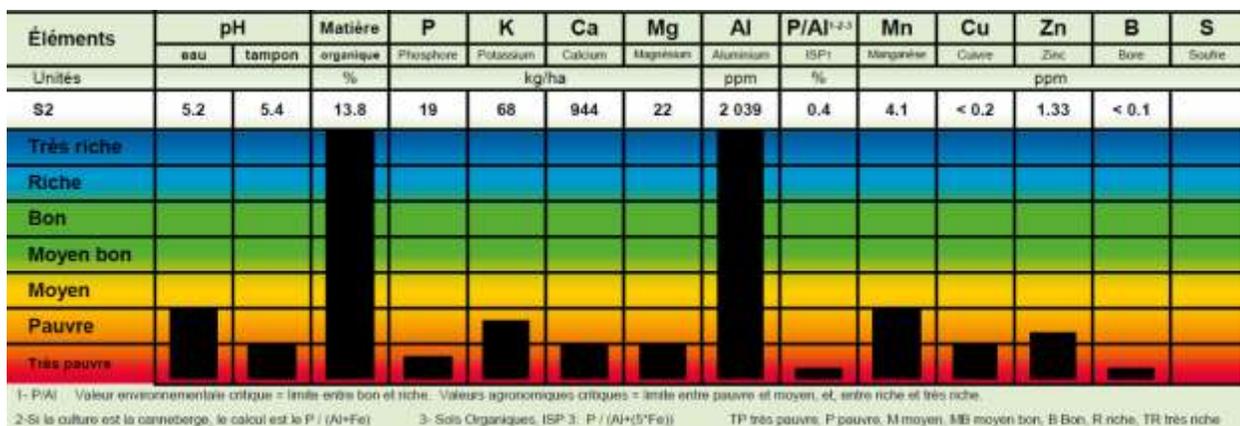


Figure 20. Analyses physico-chimiques du bloc 2

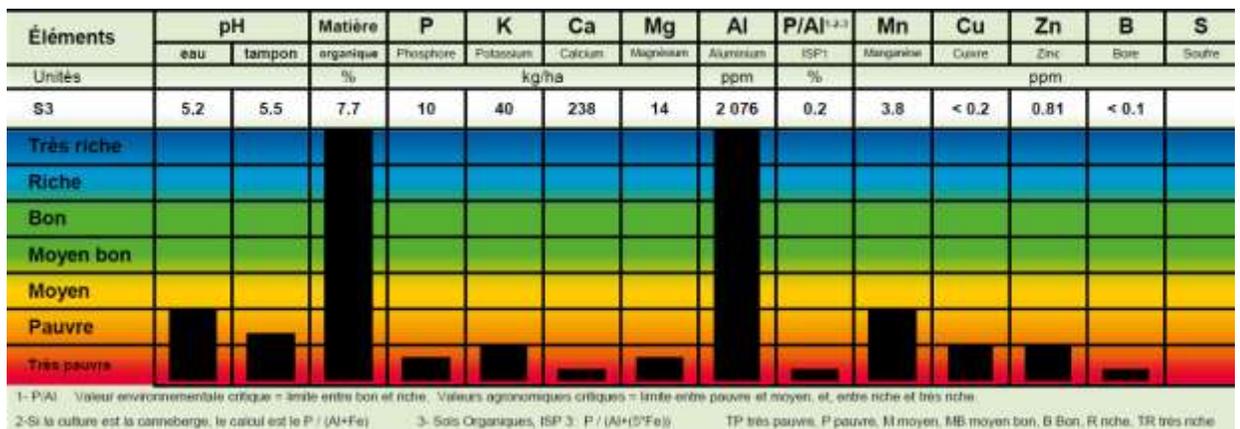


Figure 21. Analyses physico-chimiques du bloc 3

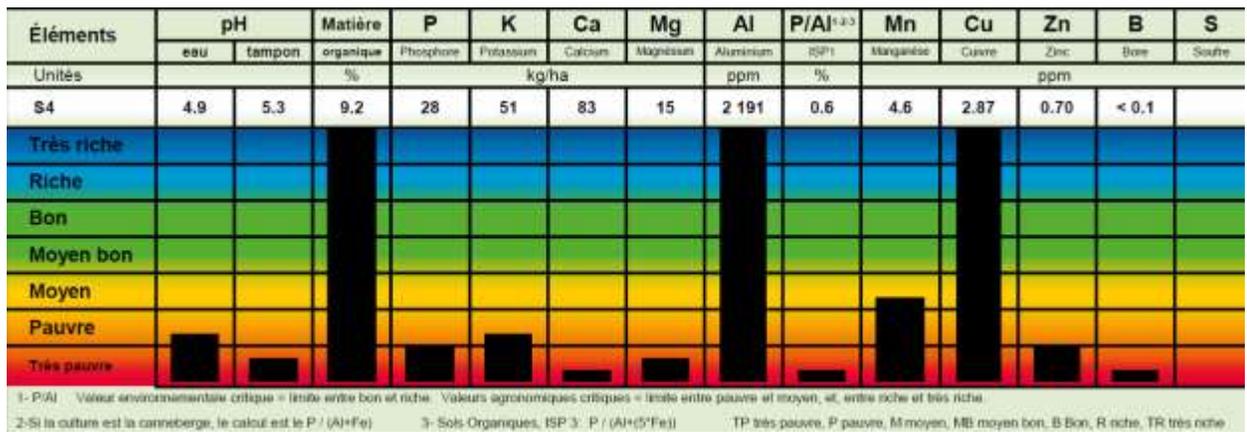


Figure 22. Analyses physico-chimiques du bloc 4

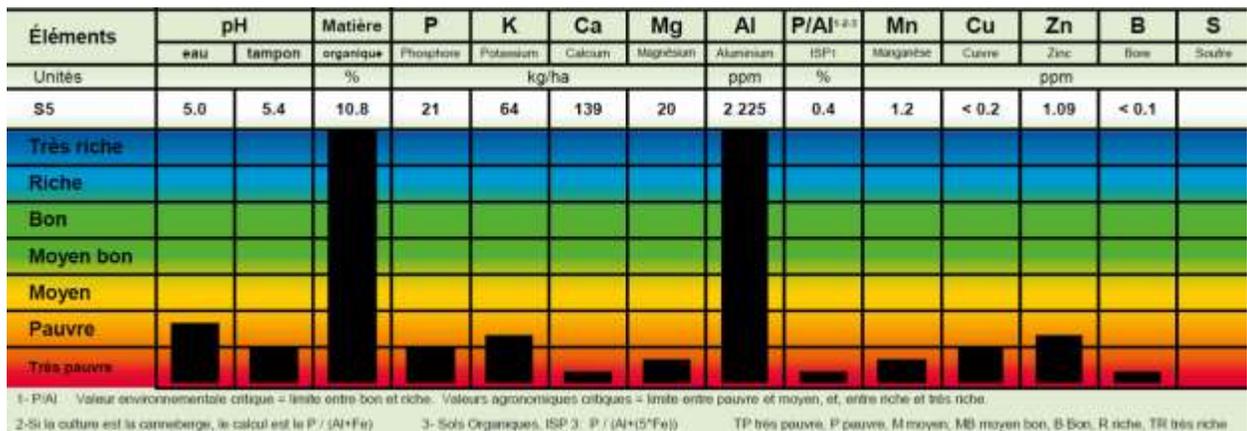


Figure 23. Analyses physico-chimiques du bloc 5

Le tableau 1 présente la texture mesurée pour les différents échantillons prélevés. Il s'agit dans l'ensemble de sols légers de la classe texturale des loam-sableux.

Tableau 1. Texture des différents sols à l'étude

Bloc	Sable %	Argile %	Limon %	Classe texturale
1	75,5	8,4	16,1	L-S
2	63,8	10,3	25,9	L-S
3	60,8	7,9	31,3	L-S
4	65,6	26,8	7,6	L-S
5	72,3	20,2	7,5	L-S

En conclusion, les cinq blocs présentent des conditions de sol plutôt similaires en termes de composition physico-chimique, mis à part le bloc 2, près de la maison, qui est un petit peu plus riche que les autres (pH, teneurs en potassium et calcium supérieures).

Les blocs 3 et 4, quant à eux, se distinguent des autres de par un mauvais drainage (dr 5 pour le bloc 3 et dr 4 pour le bloc 4) et la présence d'une végétation résineuse pure pour le bloc 3.

3.2.2. Plan du dispositif

Le dispositif expérimental est réparti dans **cinq principaux BLOCS** présentés dans la section précédente.

Il arrive dans certains cas qu'un bloc soit réparti dans l'espace en plusieurs secteurs relativement éloignés, pouvant entraîner des conditions environnementales distinctes (microtopographie, conditions de sol, couvert forestier...). Ces secteurs sont appelés **SOUS-BLOCS**. L'ensemble des résultats est compilé et analysé par sous-blocs.

Trois PFNL sont suivis dans ce dispositif. Ils ne sont pas tous représentés de manière identique dans les différents blocs (tableau 2).

Tableau 2. Répartition des PFNL en fonction des blocs et des essences

Blocs	Maïanthème	Sureau rouge	Aralie	Nombre d'essences à l'étude par bloc
B1 (sud rivière)		OUI		1
B2 (est maison)	OUI			1
B3 (ouest maison)	OUI		OUI	2
B4 (après ligne)			OUI	1
B5 (érable)	OUI		OUI	2
Nombre de blocs à l'étude par essence	3	1	3	7

On retrouve alors le patron suivant :

Pour le sureau

- **Bloc 1** : Aucun sous-bloc n'est *a priori* considéré, les arbustes étant répartis dans l'ensemble de la zone délimitée par la rivière et le chemin forestier.

Pour l'aralie

- **Bloc 3** ~ Sous-bloc 1 : Aucun sous-bloc n'est considéré, car toutes les unités expérimentales sont situées relativement proches les unes des autres, dans des conditions jugées similaires.
- **Bloc 4** : Trois sous-blocs sont proposés :
 - Sous-bloc 2. Proximité des lignes d'Hydro-Québec pour les unités expérimentales (UE) 701 à 717
 - Sous-bloc 3. Haut du talus près du chemin pour les UE 718 à 733
 - Sous-bloc 4. Pente et bas de talus pour les UE 734 à 755
- **Bloc 5** : Deux sous-blocs sont proposés :
 - Sous-bloc 5. Pente et bas de talus pour les UE 801 à 836
 - Sous-bloc 6. Haut de talus près du chemin pour les UE 837 à 862

Pour le maïanthème du Canada

- **Bloc 2** : Trois sous-blocs sont proposés :
 - Sous-bloc 1. Proximité de la maison pour les UE 201 à 2016
 - Sous-bloc 2. Dans une trouée pour les UE 217 à 232
 - Sous-bloc 3. Près du sentier pour les UE 233 à 248
- **Bloc 3** : Trois sous-blocs sont proposés :
 - Sous-bloc 4. Proximité du chemin pour les UE 301 à 316
 - Sous-bloc 5. Près du sentier pour les UE 317 à 332
 - Sous-bloc 6. Dans une trouée pour les UE 333 à 348
- **Bloc 5** : Deux sous-blocs sont proposés :
 - Sous-bloc 7. Proximité du chemin au sud pour les UE 401 à 426
 - Sous-bloc 8. Secteur nord pour les UE 427 à 448

Quatre **TRAITEMENTS DE FERTILISATION** sont proposés. Il n'existe que très peu d'information disponible quant aux préférences des plantes visées en termes de pH et de fertilisation. En plus des besoins quantitatifs en éléments minéraux, il existe une incertitude sur les formes les mieux adaptées au contexte de ces plantes méconnues. Par exemple, la plupart des plantes cultivées absorbent l'azote préférentiellement sous la forme de nitrate (NO_3) alors que plusieurs plantes de milieux acides préfèrent l'ammonium (NH_4). Il est à noter que la fertilisation n'est pas la seule façon d'influencer les formes d'azote présentes dans le sol puisqu'un sol plus acide aura tendance à transformer davantage d'azote sous forme d'ammonium.

Afin de couvrir une gamme de conditions de culture, quatre traitements sont néanmoins proposés, incluant un témoin sans applications :

- Le témoin sans amendement - T
- Application de chaux seulement - C
- Application d'un fertilisant organique seulement- F
- Application de chaux et d'un fertilisant organique - CF

Les quantités de chaux à appliquer ont été calculées sur la base d'un pH visé de 6,0 et une épaisseur de sol à traiter de 10 cm. La chaux utilisée a un indice de valeur agricole (IVA) de 90 % et n'a pas été enfouie pour éviter le bris de racines. Il est ainsi possible qu'à court terme, le pH dépasse la cible en surface du sol.

Le fertilisant sélectionné pour l'étude est l'Acti-Sol® 5-3-2, un engrais organique de fumier de poulet approuvé pour l'agriculture biologique (<http://www.acti-sol.ca/fr/engrais-naturels/usages-multiples/>) et riche en calcium. C'est un engrais tout

usage qui est utilisé très fréquemment pour toutes sortes de cultures y compris des cultures fruitières. Sa forte teneur en azote doit stimuler la croissance végétative et contribuer à la fructification, le P et le K aussi jouent un rôle au niveau de la fructification. Étant un amendement organique, la minéralisation de l'Acti-Sol® est lente. La minéralisation de l'azote se déroule tout au long de la première année de croissance avec un relâchement immédiat d'environ 20 %, puis d'une autre importante fraction (environ 50 %) dans les mois qui suivent (Dion *et al.*, 2017). La libération des éléments nutritifs s'effectue donc seulement durant l'année d'application.

Le choix de cet engrais repose notamment sur (1) la correspondance des ratios d'éléments majeurs avec les besoins en fertilisation, (2) sa nature organique permettant l'apport d'une diversité d'éléments minéraux, (3) sa disponibilité et (4), son coût abordable. Dans les cas du maïanthème et de l'aralie, les besoins en fertilisation (en termes de quantités et non de formes) ont été déterminés sur la base des recommandations du CRAAQ (2014) pour la culture du bleuet sauvage. Dans le cas du sureau, les recommandations du CRAAQ (2010) pour la culture des arbustes à feuilles caduques ont été utilisées.

Finalement, un nombre minimal de **douze RÉPÉTITIONS d'unités expérimentales** par bloc/PFNL/traitement de fertilisation est visé. Pour le sureau, il n'a pas été possible d'atteindre cet objectif et l'on ne dispose que de 6 répétitions par traitement/bloc. Pour l'aralie, lorsque cela était possible, le nombre d'unités expérimentales a été majoré jusqu'à 17, afin de prévoir les situations où certains plants seraient détruits au cours du suivi du projet (ex. passage d'un animal, bois tombé, etc.).

L'UNITÉ EXPÉRIMENTALE ou UE se définit différemment selon les essences. Pour le sureau rouge et l'aralie, une UE est 1 plant avec inflorescences. Pour le maïanthème, une UE correspond à une superficie occupée par 10 à 20 plants avec la présence d'une inflorescence.

La répartition des répétitions en fonction des blocs, PFNL et traitements de fertilisation est présentée dans la figure 24. La localisation dans l'espace des unités expérimentales du sureau rouge et du maïanthème est respectivement présentée dans la figure 25 et la figure 26.

À noter que les codes de couleurs utilisés sur le terrain (rubans) et pour la représentation graphique des traitements dans les figures suivantes sont les suivants :

- Rose : témoin
- Jaune : chaux
- Bleu : Acti-Sol®
- Orange : chaux et Acti-Sol®

Bloc 1	SAP	T	C	F	CF	
		R1	R1	R1	R1	
		R2	R2	R2	R2	
		R3	R3	R3	R3	
		R4	R4	R4	R4	
		R5	R5	R5	R5	
		R6	R6	R6	R6	
		B1				

Bloc 2	MAC	T	C	F	CF
		R1	R1	R1	R1
		R2	R2	R2	R2
		R3	R3	R3	R3
		R4	R4	R4	R4
		R5	R5	R5	R5
		R6	R6	R6	R6
		R7	R7	R7	R7
		R8	R8	R8	R8
		R9	R9	R9	R9
		R10	R10	R10	R10
		R11	R11	R11	R11
		R12	R12	R12	R12

Bloc 3	MAC	T	C	F	CF
		R1	R1	R1	R1
		R2	R2	R2	R2
		R3	R3	R3	R3
		R4	R4	R4	R4
		R5	R5	R5	R5
		R6	R6	R6	R6
		R7	R7	R7	R7
		R8	R8	R8	R8
		R9	R9	R9	R9
		R10	R10	R10	R10
		R11	R11	R11	R11
		R12	R12	R12	R12

B3	ARN	T	C	F	CF
		R1	R1	R1	R1
		R2	R2	R2	R2
		R3	R3	R3	R3
		R4	R4	R4	R4
		R5	R5	R5	R5
		R6	R6	R6	R6
		R7	R7	R7	R7
		R8	R8	R8	R8
		R9	R9	R9	R9
		R10	R10	R10	R10
		R11	R11	R11	R11
		R12	R12	R12	R12
		R13	R13	R13	R13
			R14		R14
			R15		R15
			R16		R16
	R17		R17		

Bloc 4	ARN	T	C	F	CF
		R1	R1	R1	R1
		R2	R2	R2	R2
		R3	R3	R3	R3
		R4	R4	R4	R4
		R5	R5	R5	R5
		R6	R6	R6	R6
		R7	R7	R7	R7
		R8	R8	R8	R8
		R9	R9	R9	R9
		R10	R10	R10	R10
		R11	R11	R11	R11
		R12	R12	R12	R12
		R13	R13	R13	R13
		R14	R14		
			R15		

Bloc 5					ARN				
MAC	T	C	F	CF		T	C	F	CF
B5	R1	R1	R1	R1	B5	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2		R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3		R3	R3	R3	R3
	R4	R4	R4	R4		R4	R4	R4	R4
	R5	R5	R5	R5		R5	R5	R5	R5
	R6	R6	R6	R6		R6	R6	R6	R6
	R7	R7	R7	R7		R7	R7	R7	R7
	R8	R8	R8	R8		R8	R8	R8	R8
	R9	R9	R9	R9		R9	R9	R9	R9
	R10	R10	R10	R10		R10	R10	R10	R10
	R11	R11	R11	R11		R11	R11	R11	R11
	R12	R12	R12	R12		R12	R12	R12	R12
						R13	R13	R13	R13
						R14	R14	R14	R14
						R15	R15	R15	R15
						R16	R16		

Figure 24. Répartition des répétitions en fonction des blocs, essences et traitements

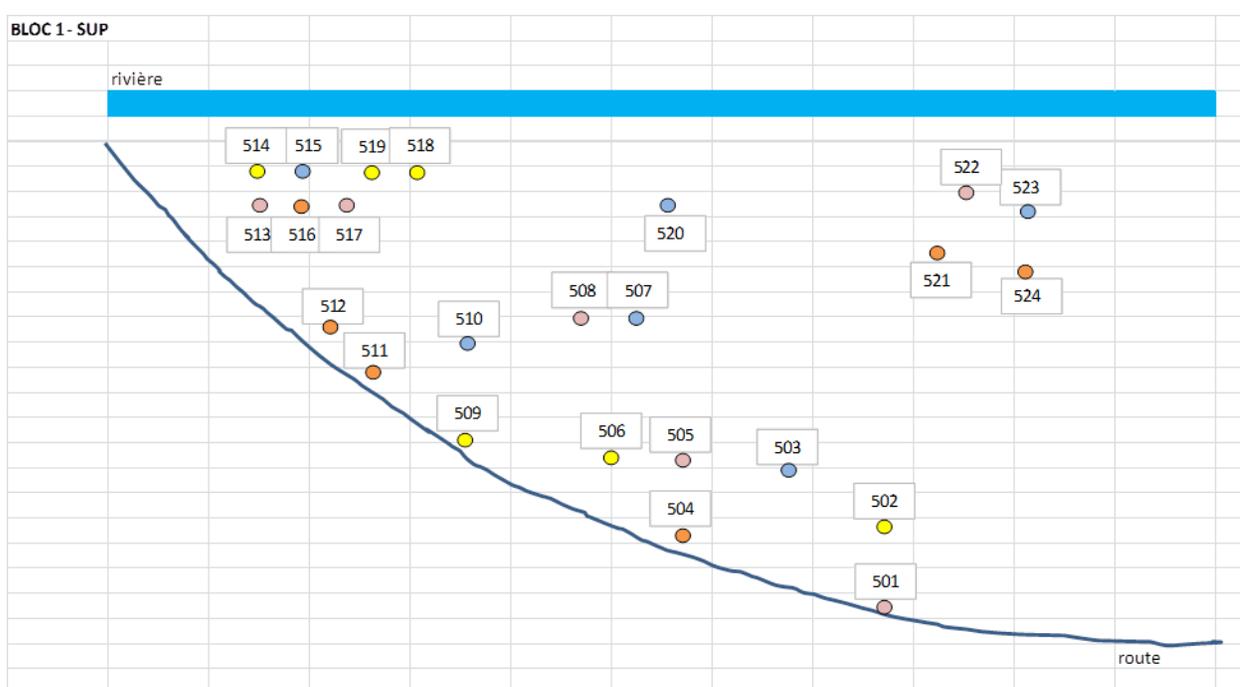


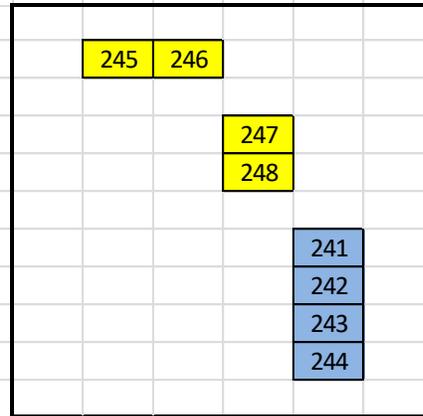
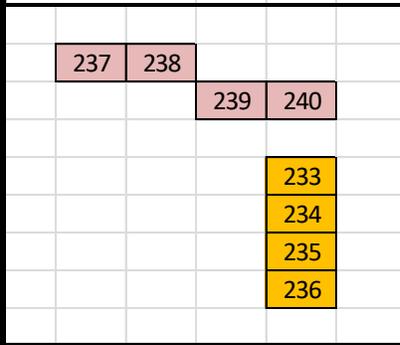
Figure 25. Localisation et numérotation des unités expérimentales de sureau rouge

Note : rose = témoin; jaune = chaux; bleu = Acti-Sol®; orange = chaux et Acti-Sol®

BLOC 2 - MAC

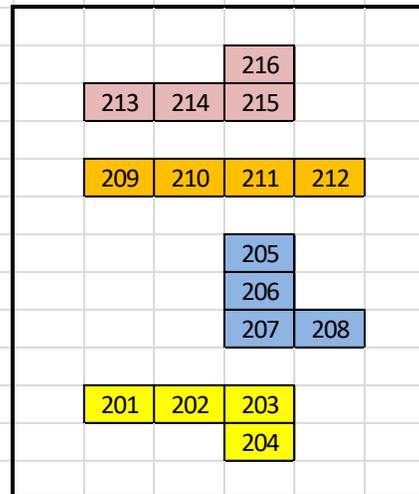
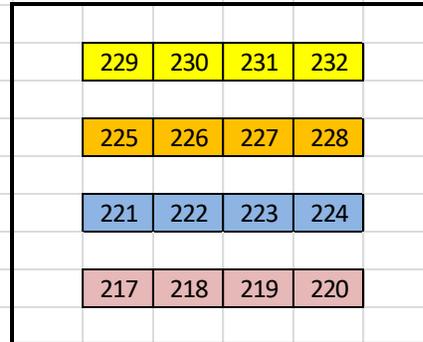
NORD

Sous-bloc 3



Sous-bloc 3

Sous-bloc 2

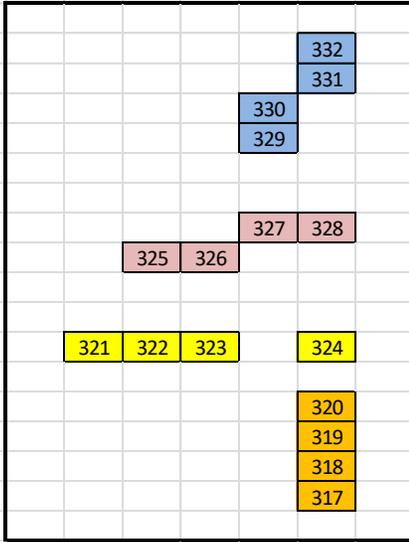


Sous-bloc 1

chemin

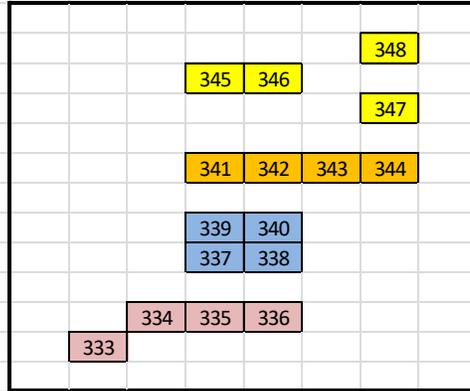
sentier
SUD

BLOC 3 - MAC

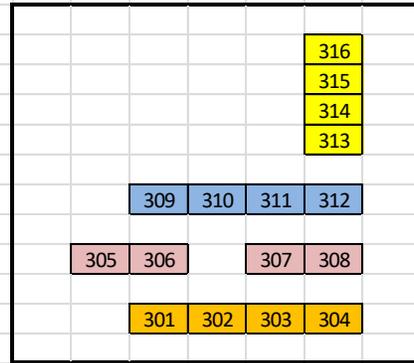


Sous-bloc 5

NORD



Sous-bloc 6

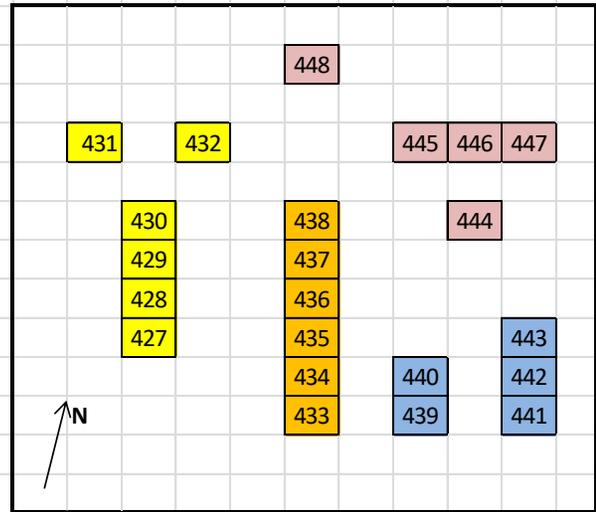


Sous-bloc 4

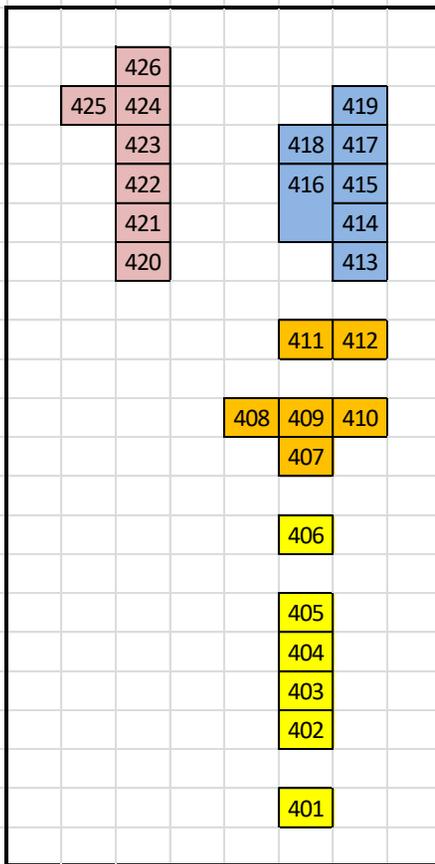
sentier
SUD

chemin

NORD



Sous-bloc 8



Sous-bloc 7

chemin
SUD

Figure 26. Localisation et numérotation des unités expérimentales de maïanthème

Note : rose = témoin; jaune = chaux; bleu = Acti-Sol®; orange = chaux et Acti-Sol®

3.3. MESURES DU COUVERT FORESTIER

Les mesures du couvert ont été réalisées à l'aide d'une caméra hémisphérique SONY ILCE-6000 v1.00, montée sur un trépied autonivelant (figure 27). La hauteur de prise de photo a été ajustée selon les espèces. Pour le maïanthème et l'aralie, les photos ont été prises à 60 cm de hauteur (hauteur minimale du trépied) afin de considérer l'environnement lumineux des plants. Pour le sureau, les mesures ont été prises à 180 cm (hauteur maximale du trépied) (figure 28). Le nombre de photos prises pour quantifier le couvert pour chaque unité expérimentale a également varié selon les espèces. Pour le maïanthème et l'aralie, une photo a été prise pour un ensemble de quatre unités expérimentales adjacentes, lorsque les conditions étaient uniformes, en plaçant le trépied au point central. Lorsque les conditions étaient variables, une photo a été prise par unité expérimentale ou pour un groupe de 2 à 3 unités, afin d'obtenir une mesure le plus près des conditions terrain sans multiplier inutilement le nombre de photos à analyser. Pour le sureau, comme chaque unité expérimentale est représentée par un arbuste, une photo par arbuste a été prise. Les photos ont été prises le 21 juillet 2016, lorsque le couvert forestier était à son plein déploiement.

L'analyse de l'ouverture du couvert a été réalisée à l'aide du logiciel WinScanopy Pro 2014a.



Figure 27. Caméra hémisphérique



Figure 28. Exemple de prise de photo pour un sureau

3.4. MESURES DE LA COMPÉTITION PRÉSENTE DANS LE PREMIER MÈTRE DE HAUTEUR

Cette mesure n'est réalisée que dans les unités expérimentales du maïanthème, considérant que la compétition de moins d'un mètre de hauteur ne devrait avoir aucun effet sur le sureau et peu d'effet sur l'aralie. La végétation de plus d'un mètre de hauteur a été considérée dans la mesure du couvert forestier.

À noter qu'en 2016 et 2017, les unités expérimentales ont été débroussaillées mécaniquement et manuellement lorsque nécessaire, à une hauteur de 50 cm, par les propriétaires.

La mesure de la compétition de moins d'un mètre de hauteur a été prise au moment où la végétation était à son plus grand déploiement. En 2016, la mesure a été prise peut-être un peu tardivement, le 12 octobre. En 2017, la prise de mesure a eu lieu le 8 septembre.

Ainsi, dans chaque unité expérimentale, il s'agissait de :

- **Mesurer le pourcentage total de recouvrement** des tiges présentes, dont la hauteur est comprise entre 10 et 100 cm.
- **Préciser le pourcentage de recouvrement et la hauteur de chaque essence présente.**

Le formulaire d'inventaire est disponible dans l'annexe 2.

3.5. MESURES DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Les conditions météorologiques ont été mesurées durant les saisons de croissance 2016 et 2017 sur le site. En 2016, une station commerciale sans fil du modèle Vantage Pro2 (Davis Instruments, Cima Technologie, Montanay, France) a été installée près des bâtiments principaux entre le bloc 1 et le bloc 2. Cette station permet de mesurer, la température et l'humidité de l'air, la vitesse et la direction du vent, la pression atmosphérique, le refroidissement éolien, les degrés jours et les précipitations (figure 29).

Une station prototype développée par le cégep de La Pocatière a également été installée en 2016. Cette première saison d'enregistrement de données climatiques en utilisant la station prototype a permis de tester une première série de composantes et de vérifier son fonctionnement afin d'optimiser la performance de cette station en 2017 (figure 30). Cette station prototype permet de mesurer la température et l'humidité relative de l'air et du sol. Celle-ci présentait plusieurs avantages comparativement à la station commerciale. Premièrement, les stations commerciales sont très coûteuses et les paramètres qu'elles enregistrent ne répondent pas toujours aussi adéquatement aux besoins de recherche qu'une station paramétrable et modulable. En effet, la station prototype a été réfléchi afin de répondre aux besoins spécifiques du projet. La station peut être assemblée avec les capteurs identifiés comme pertinents au besoin du projet. Il est souhaité, par cette stratégie, réduire de façon substantielle les coûts d'achat d'un tel équipement. De plus, une attention particulière a été mise sur la transférabilité à distance des données par un module cellulaire intégré au prototype. Cette fonction permet de suivre en temps réel les données bioclimatiques. La station prototype était également conçue afin de permettre que son opération et son installation soient faciles sur les plans mécanique et électrique.

Afin de s'assurer d'avoir des données climatiques de qualité, l'extraction et les analyses de données météorologiques de 2016 ont été réalisées à partir des enregistrements de la station commerciale. En 2016, les données météorologiques ont été enregistrées aux deux heures du 27 juin (18h00) au 19 septembre (16h00) par la station commerciale Davis. Des capteurs de température (iButton) ont également été utilisés pour le suivi de la température du sol en 2016. Ceux-ci étaient placés dans chacun des 5 blocs (1 capteur par sous-blocs pour les blocs 1, 3 et 4, et un capteur pour le bloc 5).

En 2017, la station commerciale Davis a été installée au même endroit et une seconde station météorologique prototype améliorée y a été installée tout près. La station commerciale Davis a été fonctionnelle du 5 juin 2017 (1h00) au 19 septembre 2017 (16h00) et les lectures étaient enregistrées aux heures. La station prototype a été mise en marche le 22 juin 2017, et ce jusqu'au 7 août 2017. Les lectures y étaient enregistrées chaque demi-heure.

Les données qui ont été analysées sont celles de la température (air et sol) et de l'humidité (air et sol).



Figure 29. Station météorologique commerciale Davis



Figure 30. Station météorologique prototype

3.6. MESURES DES PETITS FRUITS

Ce mesurage permet d'évaluer les productions de fruits des trois PFNL visés par le projet, selon les conditions de sol, d'amendement et de couvert forestier. L'évaluation porte principalement sur la quantité de fruits, leur poids et leur couleur.

3.6.1. Localisation des mesures

Les mesures sont prises dans chaque unité expérimentale. L'unité expérimentale se définit différemment selon les essences :

Sureau rouge et aralie : une unité expérimentale correspond à 1 plant avec inflorescences.

Maïanthème : une unité expérimentale correspond à une superficie délimitée au sol par du ruban de couleur et occupée par 10 à 20 plants avec la présence d'une inflorescence.

3.6.2. Calendrier des mesures

Les mesures sont réalisées pendant la période de maturité optimale des fruits. En 2016, il a été décidé d'étaler la récolte sur plusieurs semaines selon le niveau de maturité des fruits par sous-blocs afin de récolter partout le plus de fruits mûrs possible. Le moment de la récolte pouvait varier selon les sous-blocs et était déterminé lorsque la majorité des fruits d'un sous-bloc avait atteint la couleur souhaitée. En 2017, il a été décidé de changer le protocole de mesures, afin de pouvoir comparer les sous-blocs entre eux. Une date de récolte unique par PFNL a donc été choisie. Le moment de récolte était alors déterminé de manière à avoir le plus de fruits mûrs possible, à l'échelle du dispositif au complet, mais sans trop attendre afin de ne pas risquer de prendre des fruits qui deviendraient pourris ou qui seraient tombés.

En 2016 :

- Pour le sureau rouge : mesures réalisées le **20 juillet**.
- Pour l'aralie : mesures réalisées **entre le 6 (bloc 3) et le 19 août (blocs 4 et 5)**.
- Pour le maïanthème : mesures réalisées **entre le 9 (bloc 2) et le 23 et 29 septembre (blocs 3 et 5)**, avant la pleine maturité (généralement fin septembre-octobre), car beaucoup de fruits tombent avant la période de maturité. Les fruits ont été mesurés lorsqu'ils avaient plusieurs petites taches rouges. À ce stade, Chantale Levesque les récolte et les congèle ensuite, pour accélérer prématurément la maturation.

En 2017 :

- Pour le sureau rouge : mesures réalisées **les 11 et 12 juillet**.
- Pour l'aralie : mesures réalisées **le 1^{er} août**.
- Pour le maïanthème : mesures réalisées **le 15 septembre**.

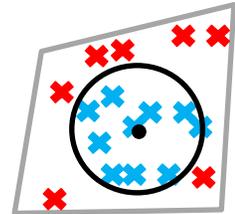
3.6.3. Mesures réalisées

Les instructions varient selon les espèces. Les formulaires d'inventaires sont présentés à l'annexe 2.

3.6.3.1 Maïanthème

Dans chaque unité expérimentale :

- **Mesurer la taille de l'unité expérimentale** (contour gris) : **longueur et largeur** (en centimètres).
- **Compter tous les plants qui portent une grappe de fruits** (croix bleues et rouges sur le schéma ci-contre).
- **Choisir 10 plants avec fruits** (croix bleues), en partant du centre (point noir) et en se figurant une placette à rayon variable contenant les 10 plants les plus proches du centre (adapter le diamètre de la placette en fonction de la densité de plants). Retenir les plants même si une partie des fruits est tombée de la grappe.
- **Compter le nombre de fruits dans chacun des 10 plants** sélectionnés.
- **Peser l'ensemble des fruits comptés sur les 10 plants.** À noter que la précision de cette mesure n'est pas la même selon les années de récolte. En 2016, la balance utilisée avait une précision de 0,5 g et en 2017, de 0,05 g.
- **Classifier la couleur des fruits pesés.** Attribuer un pourcentage (multiple de 10 ou arrondi au 1/4 ou au 1/3) à chaque classe de couleur observée. Quatre classes de couleur sont initialement prévues : (1) blanc, (2) blanc picoté rouge, (3) rose et (4) rouge. La somme des pourcentages doit faire 100.
- **En 2017, une donnée a été ajoutée : le nombre de plants en fleurs dans l'UE.** Cette donnée permet de mettre en perspective le nombre de plants ayant le potentiel de porter des fruits.



3.6.3.2 Aralie

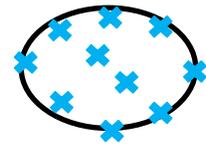
Pour chaque tige correspondant à une unité expérimentale :

- **Compter le nombre d'ombelles avec fruits par tige.**
- **Compter le nombre de fruits par ombelle.**
- **Peser l'ensemble des fruits comptés sur un même plant.**
- **Classifier la couleur des fruits pesés.** Attribuer un pourcentage (multiple de 10 ou arrondi au 1/4 ou au 1/3) à chaque classe de couleur observée. Quatre classes de couleur sont initialement prévues : (1) vert, (2) mauve/rouge, (3) mauve/noir et (4) maturation incomplète (couleur irrégulière). La somme des pourcentages doit faire 100.

3.6.3.3 Sureau

Pour chaque plant correspondant à une unité expérimentale :

- **Mesurer la hauteur de l'arbre** (en mètre).
- **Mesurer la largeur de la cime** (en mètre). Choisir la plus grande largeur.
- **Compter le nombre de grappes ayant des fruits par plant.**
- **Choisir 10 grappes avec fruits**, réparties aléatoirement tout autour du plant (par exemple, une à chaque point cardinal (N, N-E, E, S-E, S, S-O, O, NO) et deux au sommet du plant.
- **Compter le nombre de fruits dans chacune des 10 grappes sélectionnées.**
- **Peser l'ensemble des fruits comptés sur les 10 grappes.**
- **Classifier la couleur des fruits pesés.** Attribuer un pourcentage (multiple de 10 ou arrondi au ¼ ou au 1/3) à chaque classe de couleur observée. Quatre classes de couleur sont initialement prévues : (1) kaki, (2) jaune, (3) rose/orange et (4) rouge. La somme des pourcentages doit faire 100.



3.7. ANALYSES NUTRITIONNELLES ET DES ANTIOXYDANTS DES PETITS FRUITS

3.7.1. Analyses nutritionnelles

L'analyse nutritionnelle a été conduite par un laboratoire externe (Laboratoires Environex, Québec, Canada). Les analyses incluent les mesures d'énergie, de fibres, de lipides, de glucides, de protéines, des vitamines C et A ainsi que du contenu en fer, en calcium, en sodium et en azote. Ces analyses ont été réalisées pour deux des trois fruits étudiés soit le maïanthème du Canada et le sureau rouge. La quantité limitée de fruits d'aralie et le coût élevé de ces analyses sont les raisons pour lesquelles l'analyse n'a pu être réalisée pour ce fruit.

3.7.2. Analyse des antioxydants

Les antioxydants regroupent une panoplie de molécules reconnues pour avoir un effet qui limite l'oxydation, telles que les vitamines C et E ainsi que les composés phénoliques. Les antioxydants sont présents dans de nombreux aliments et plusieurs fruits et légumes. L'effet antioxydant se définit comme étant la capacité d'une molécule à capter les radicaux libres dans le corps humain afin de réduire la pression oxydative du système. De cette façon, ils pourraient permettre la prévention de certaines pathologies. Des études

récentes suggèrent en outre que les effets bénéfiques de ces molécules (telles que les composés phénoliques et les anthocyanes) seraient attribuables à leur interaction avec le microbiote intestinal plutôt qu'à leur activité antioxydante (Desjardins, 2016). Celles-ci moduleraient la composition et l'activité de certaines communautés microbiennes et permettraient de cette façon de prévenir le risque de certains désordres au niveau de la santé (Cardona *et al.*, 2013). Les liens existants entre la modulation du microbiote et les effets bénéfiques sur la santé humaine méritent toutefois d'être approfondis.

Les polyphénols sont une famille de molécules aromatiques associée à un poids moléculaire élevé et possédant au moins un cycle benzénique lié à un groupe hydroxyle (-OH). Les anthocyanes font partie du groupe des polyphénols et sont des pigments retrouvés dans plusieurs végétaux. Les anthocyanes sont responsables de la coloration rouge de nombreux petits fruits comme la mûre et le bleuet ou de fleurs comme la rose. Ils contribuent à la pollinisation grâce à leurs couleurs attractives lorsque synthétisés dans les pétales ou favorisent la dispersion des fruits. Ils ont également des fonctions liées à la défense de la plante, en la protégeant, par exemple, contre les rayons UV (Holton *et al.*, 1995).

Les polyphénols totaux et les anthocyanes ont été déterminés pour les trois fruits étudiés. Étant donné la quantité limitée disponible pour certains fruits, seul le sureau rouge a été analysé pour chaque traitement de fertilisation. Les trois répétitions des quatre traitements ont été analysées (12 échantillons). Pour l'aralie, les fruits du traitement chaux-fertilisant ont été utilisés pour l'analyse (1 échantillon). Quant au maïanthème, deux traitements ont été analysés, soient le traitement témoin et le traitement chaux-fertilisant (2 échantillons).

Suite à la récolte des fruits à l'automne 2017, ceux-ci ont été congelés à -80 °C. L'évaluation de la teneur en polyphénols totaux et en anthocyanes s'est déroulée en deux étapes, soit leur extraction suivie de leur quantification (figure 31). Les teneurs en polyphénols totaux et en anthocyanes obtenues pour les trois fruits étudiés ont été comparées à celles du bleuet.

3.7.2.1 Polyphénols totaux

Les extraits ont été dosés par colorimétrie à l'aide du réactif Folin-Ciocalteu, selon le protocole modifié d'Ainsworth et Gillespie (2007). Le principe de cette méthode consiste à déterminer la concentration en polyphénols totaux via la mesure de la coloration par

une lecture de la densité optique (DO) dans un extrait lorsqu'il est lié au complexe Folin-Ciocalteu. Une courbe d'étalonnage est réalisée avec des concentrations croissantes et connues d'acide gallique. La courbe d'étalonnage permet alors de déduire la concentration en polyphénols totaux à partir de la mesure de la DO d'un extrait de concentration inconnu. Les polyphénols totaux sont ainsi quantifiés et exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg GAE/g).

3.7.2.2 Anthocyanes monomériques

Pour les anthocyanes, les extraits ont été dosés par titrage colorimétrique par variation de pH selon la méthode Lee et collaborateurs (2005). Cette méthode de dosage s'appuie sur l'une des propriétés des anthocyanes : la capacité de ces molécules à changer de couleur en fonction du pH. La teneur en anthocyanes est alors exprimée par rapport à une concentration standardisée de cyanidin-3-glucoside et exprimée en mg d'équivalent de cyanidin-3-glucoside pour 1 g de matière sèche (mg CGE / g).

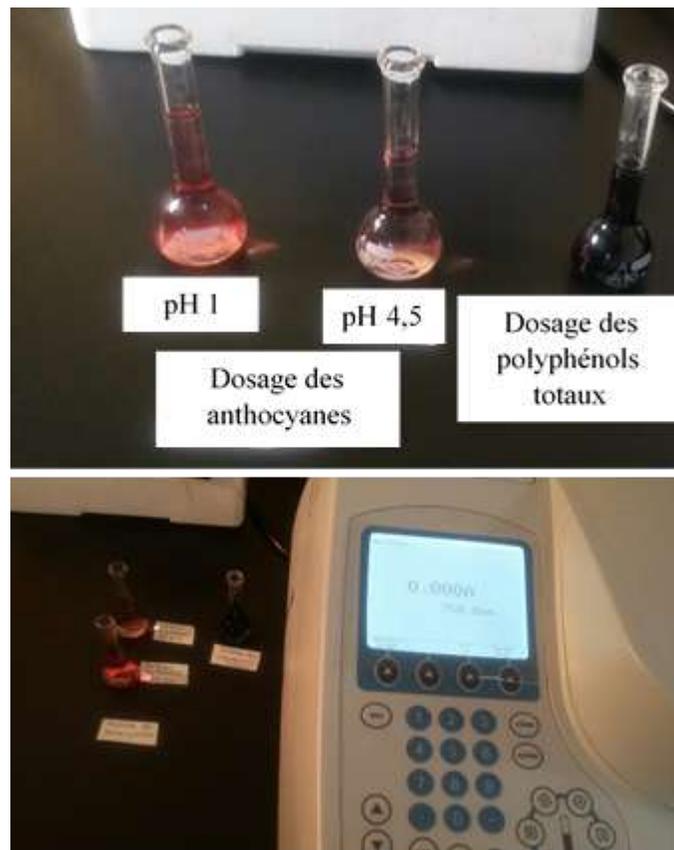


Figure 31. Dosage des polyphénols et des anthocyanes et lecture de l'absorbance au spectrophotomètre

3.8. ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été réalisées avec la procédure glimmix de SAS 9.4. Pour les analyses en lien avec les traitements de fertilisation et la compétition, les sous-blocs ont été utilisés comme variable aléatoire. Pour les analyses portant sur l'effet de l'ouverture du couvert, les sous-blocs n'ont pas été utilisés comme variable aléatoire, puisqu'ils étaient significativement différents les uns des autres pour cette variable.

Le seuil utilisé pour identifier un effet comme étant significatif est $p < 0.05$. Pour les graphiques présentés sous forme d'histogrammes, les lettres différentes au-dessus des barres représentent une différence significative et la moustache représente l'écart-type. Dans les tableaux de la section Résultats, ce sont les moyennes et les écarts-types qui sont présentés.

4. RÉSULTATS

Les résultats documentent tout d'abord l'état du couvert forestier dans chaque bloc. Suit une description sommaire des conditions météorologiques observées durant les 2 saisons de croissance (2016 et 2017). Sont ensuite traités individuellement les trois PFNL, en présentant en premier lieu un portrait général des différentes variables calculées, puis les relations existant entre les variables mesurées lors de la récolte des fruits et l'ouverture du couvert d'une part, et les traitements de fertilisation d'autre part.

À noter que les résultats présentés peuvent varier selon les années, car certaines mesures ont été ajustées entre l'année 1 (2016) et l'année 2 (2017). De plus, la taille des échantillons récoltés a beaucoup varié selon les années. Il est arrivé que les quantités de fruits récoltés soient trop limitées pour pouvoir établir des comparaisons entre les traitements.

4.1. COUVERT FORESTIER

Le portrait général du couvert par bloc a été établi en considérant tous les points de mesures réalisés, les trois PFNL confondus. Le portrait du couvert forestier met en évidence le gradient d'ouverture du couvert observé entre les 5 blocs d'analyse, variant entre environ 23 à 6% d'ouverture du couvert (figure 32). Le bloc 1 est le plus ouvert et est significativement différent des 4 autres blocs. Suivent le bloc 3, lui aussi significativement différent des 4 autres, puis le bloc 2 que l'on retrouve en 3^e position. Finalement les blocs 4 et 5 sont les plus fermés et ne sont pas significativement différents entre eux.

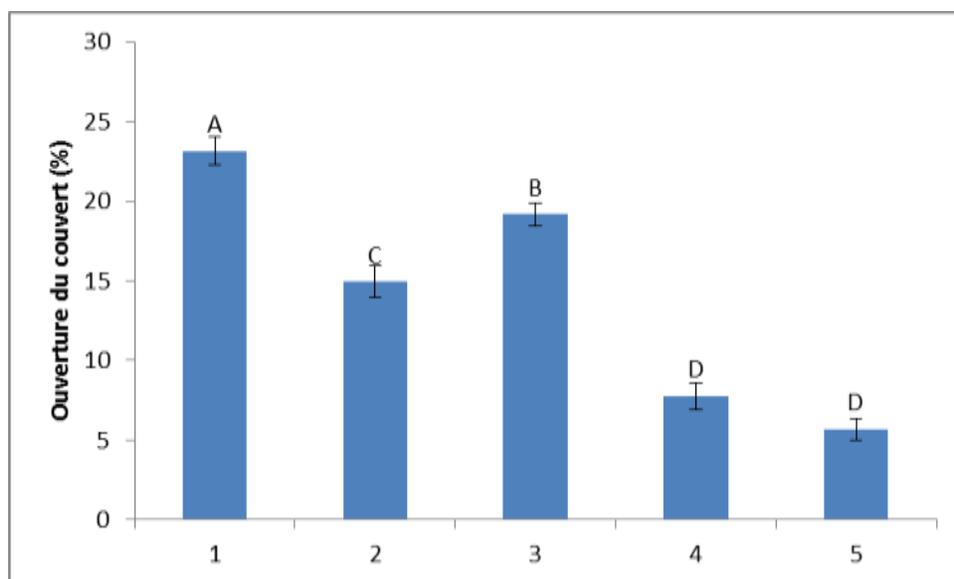


Figure 32. Ouverture du couvert (%) par bloc

4.2. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

4.2.1. Portrait de la température et de l'humidité de l'air

Ces portraits reposent sur les données provenant de la station commerciale Davis. De façon générale, en moyenne, la saison 2017 a présenté des **températures de jour** (du lever au coucher du soleil) légèrement supérieures à celles enregistrées en 2016. La moyenne de température de jour est respectivement pour les mois de juillet, août et septembre 0,9 °C, 0,7 °C et 2,3 °C plus élevée en 2017 qu'en 2016, tandis que les **moyennes (24 h) de température** sont respectivement 0,7 °C et 1 °C plus élevées en juillet et en septembre 2017 par rapport à l'année précédente (tableau 3).

Un **gel hâtif** a été enregistré à l'automne 2016 à deux reprises, soit durant les nuits du 15 et du 16 septembre. Les écarts de température jour/nuit durant le mois de septembre 2016 sont aussi plus importants qu'en septembre 2017 (figure 33).

L'**humidité de l'air** est en moyenne plus élevée en 2016 qu'en 2017 de 6,5 %. En 2016, le mois de septembre est le plus humide affichant une humidité moyenne de 85 % alors qu'en 2017, c'est le mois d'août qui présente l'humidité relative la plus élevée avec une valeur de 77 % (tableau 3). En moyenne, au cours des saisons de croissance de 2016 et 2017, l'humidité relative est 9,5 % plus élevée la nuit que le jour. Les variations d'humidité intra mensuelles sont toutefois généralement plus élevées durant le jour (écarts types supérieurs) que durant la nuit.

Tableau 3. Moyennes mensuelles de la température et de l'humidité de l'air enregistrées par la station commerciale Davis au courant des saisons de croissance 2016 et 2017

Mois	Température (°C)				Humidité (%)			
	2016		2017		2016		2017	
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET
Juillet	16.7	4.8	17.4	5.2	83.3	13.4	76.1	16.6
jour	18.4	4.7	19.3	4.9	78.7	14.7	70.1	18.2
nuit	14.4	3.8	14.7	4.3	89.7	7.5	84.5	8.7
Août	17.2	5.0	16.0	5.4	80.4	15.7	77.3	15.9
jour	18.6	5.1	17.9	5.2	75.7	17.7	71.2	17.7
nuit	15.2	4.1	13.4	4.5	86.9	9.0	85.7	6.9
Septembre	14.2	5.7	15.2	5.8	85.0	12.4	75.8	16.8
jour	14.0	6.1	16.3	5.8	85.3	12.6	72.5	16.9
nuit	14.3	5.3	14.1	5.7	84.7	12.2	79.1	16.2

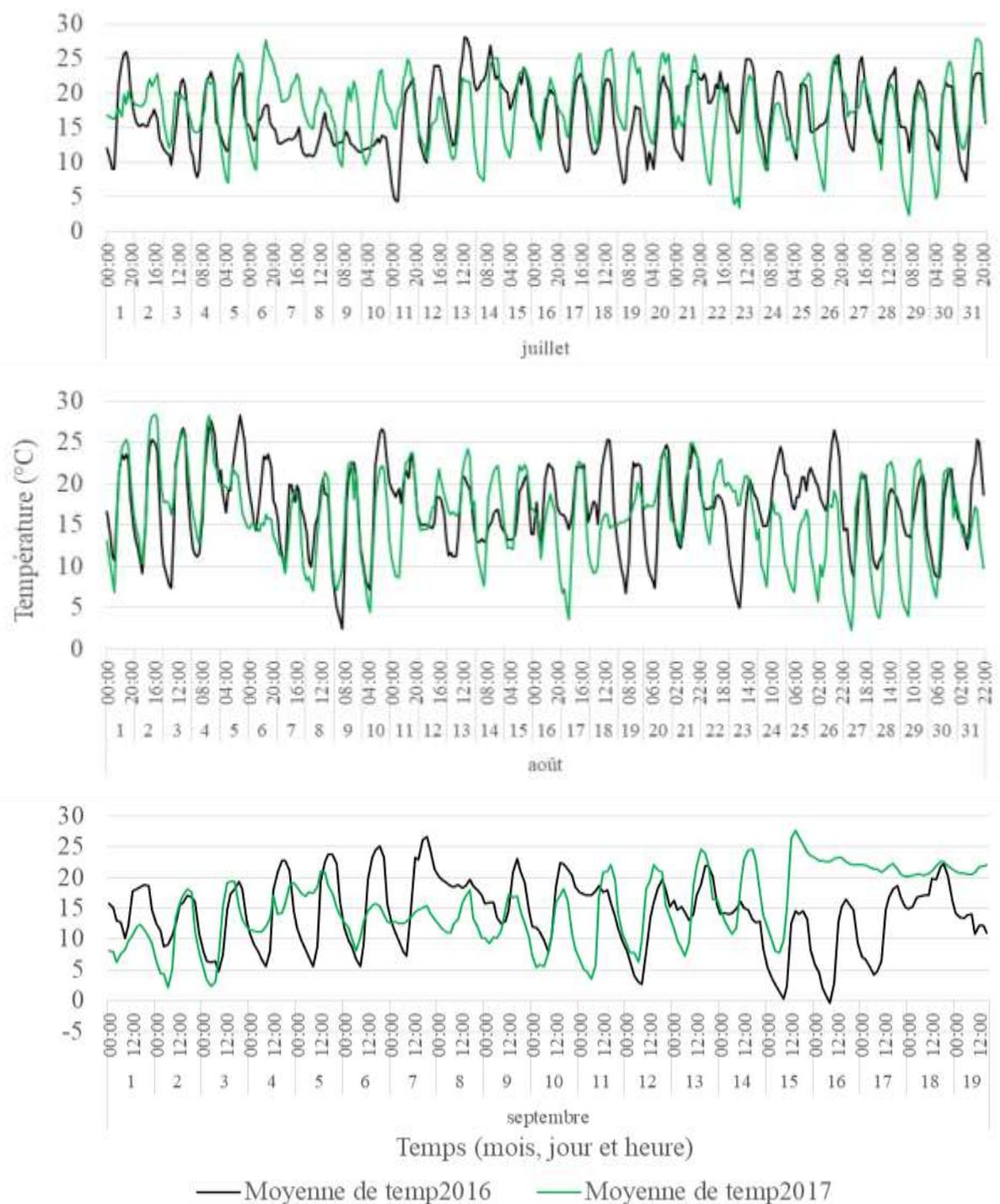


Figure 33. Température de l'air journalière prise par la station commerciale Davis en 2016 et 2017

4.2.2. Portrait de la température et de l'humidité du sol

La température du sol, mesurée à l'aide d'un capteur de type « iButton » pendant la saison de croissance 2016, présente des valeurs plus élevées dans le bloc 1 que dans les

autres blocs. Cette zone est située à plus faible altitude, plus au sud et est en zone plus ouverte que les autres zones, ce qui pourrait expliquer cette observation (figure 34).

Concernant l'**humidité du sol**, la station prototype semble avoir enregistré des données erronées à partir du 3 juillet 2017, soit après deux semaines de mise en marche (Tableau 4).

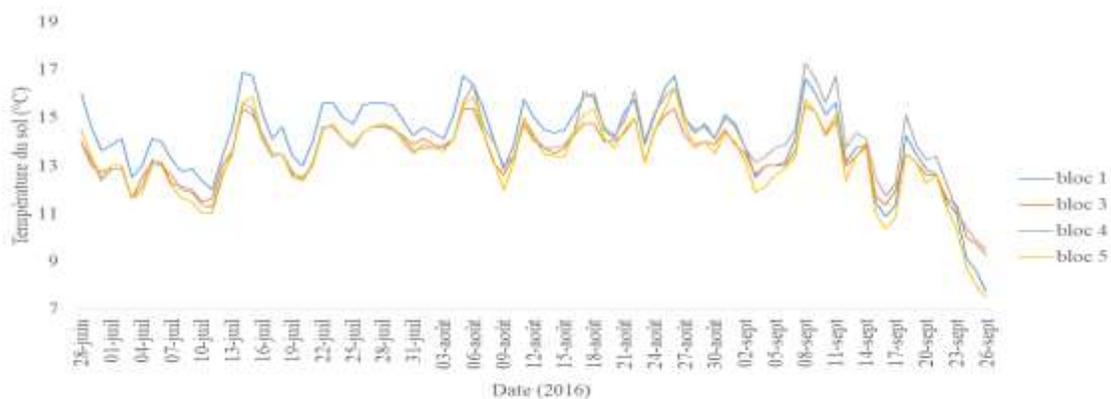


Figure 34. Mesure de la température du sol prise par des sondes « iButton » durant la saison de croissance de 2016 en fonction des blocs.

Tableau 4. Température et humidité du sol enregistrées avec la station prototype durant la saison de croissance 2017

Semaine	Température du sol (°C)			Humidité du sol (%)		
	jour	nuit	moyenne	jour	nuit	moyenne
2017-06-19 - 2017-06-25	19.6	18.1	18.9	56.3	56.9	56.6
2017-06-26 - 2017-07-02	16.3	15.6	16.0	79.7	80.4	80.1
2017-07-03 - 2017-07-09	16.3	16.0	16.2	100.0	100.0	100.0
2017-07-10 - 2017-07-16	16.2	15.6	15.9	100.0	100.0	100.0
2017-07-17 - 2017-07-23	16.3	16.1	16.2	99.8	99.8	99.8
2017-07-24 - 2017-07-30	14.7	14.3	14.5	91.8	88.1	89.9
2017-07-31 - 2017-08-06	20.2	14.0	17.1	2.8	6.4	4.6
2017-08-07 - 2017-08-13	14.8	9.3	12.1	2.5	4.0	3.3

4.2.3. Comparaisons entre les données de la station prototype et celles de la station commerciale pour l'année 2017

Comme la saison estivale 2016 était une année de développement/amélioration de la station prototype, aucun résultat n'est présenté pour cette première année de mesures. En 2017, la station météorologique prototype a généralement bien fonctionné. Les valeurs de température enregistrées sont sensiblement les mêmes que celles mesurées par la station

commerciale Davis (figure 35). Les températures de la station commerciale sont en moyenne 1,5 °C supérieures aux températures enregistrées par la station prototype (tableau 5). Ces différences entre les deux stations sont plus prononcées durant la nuit, étant en moyenne 1,8 °C plus basses pour la station prototype que pour la station commerciale, alors que la différence est de 0,4 °C pendant le jour.

Toutefois, la station prototype semble avoir une problématique au niveau du capteur d'humidité relative ambiante, et ce, particulièrement la nuit où l'humidité a plafonné après quelques jours de démarrage. Durant les deux premières semaines de fonctionnement, l'humidité de l'air enregistrée par la station prototype était en moyenne 3,8 °C plus élevée que l'humidité captée par la station commerciale. La différence était à nouveau plus marquée durant la nuit (+ 4,2 °C) que le jour (+ 1,8 °C) (tableau 5).

La station prototype avait pour but de permettre l'acquisition de données environnementales de manière autonome. La station a permis d'effectuer les mesures sur toute la période d'acquisition de données requise par la recherche. Mise à part une courte interruption, le module de transfert cellulaire des données bioclimatiques a bien fonctionné et a ainsi permis de valider que cette méthode de fonctionnement est avantageuse. L'autonomie de la station a également été réalisée. De plus, il a été facile d'installer et d'opérer la station. Il a aussi été démontré que l'ensemble batterie/panneau/chargeur a été largement suffisant pour les besoins d'autonomie de la station. Quelques problématiques, telles que la complexité de la mécanique et du câblage, ont toutefois fait en sorte que le prototype doit encore être optimisé afin qu'il puisse être utilisé dans une situation réelle d'acquisition de données. Ces aspects ainsi que l'information relative à la conception et à la mise en opération de la station sont détaillés dans le bilan du fonctionnement de la station prototype présenté dans l'annexe 3. Finalement, de manière générale, la station prototype s'est avérée fonctionnelle et efficace et laisse envisager un grand potentiel de développement futur.

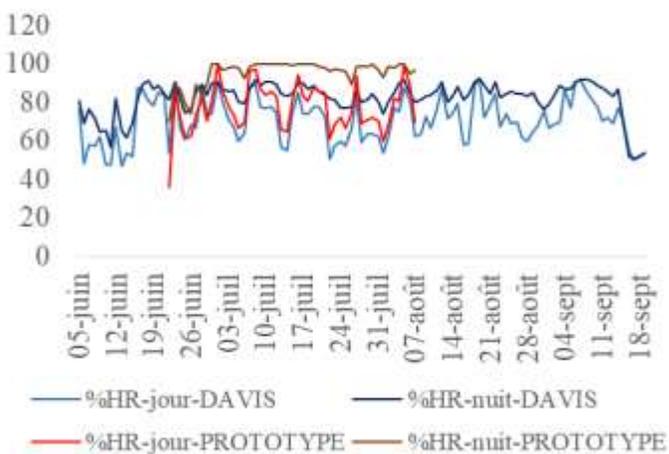
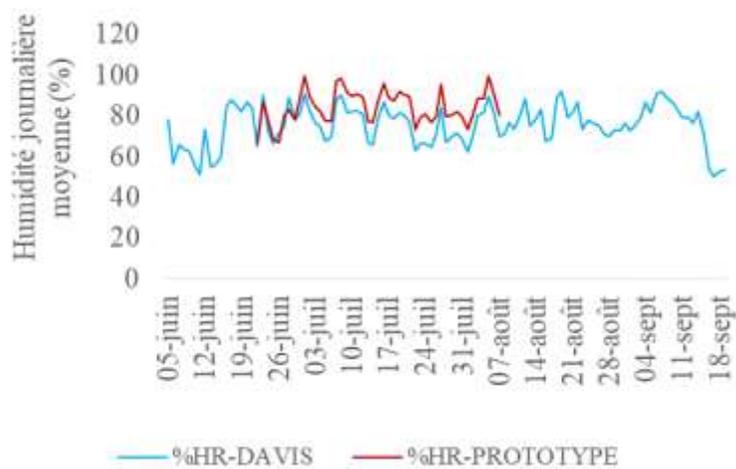
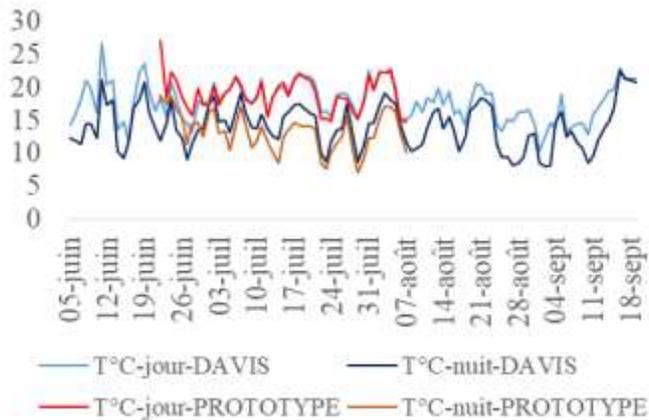
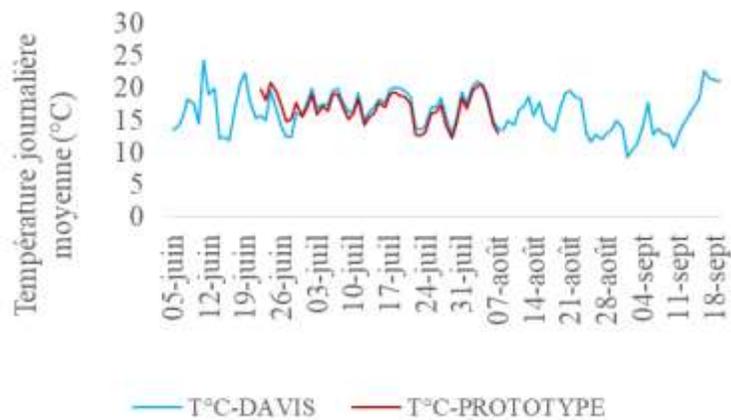


Figure 35. Données météorologiques de température et d'humidité de l'air des deux stations durant la saison de croissance 2017

Tableau 5. Température et humidité hebdomadaires moyennes des deux stations durant la saison de croissance 2017

Semaine	Station Davis 2017						Station Prototype 2017						Écart entre les 2 stations 2017					
	Température de l'air (°C)			Humidité de l'air (%)			Température de l'air (°C)			Humidité de l'air (%)			Température de l'air (°C)			Humidité de l'air (%)		
	jour	nuit	moy	jour	nuit	moy	jour	nuit	moy	jour	nuit	moy	jour	nuit	moy	jour	nuit	moy
2017-06-26 - 2017-07-02	16.8	13.6	15.5	77.7	86.0	81.1	18.0	14.4	16.2	79.5	90.2	84.9	1.2	0.8	0.7	1.8	4.2	3.8
2017-07-03 - 2017-07-09	19.3	15.6	17.9	73.8	85.7	78.3	19.1	13.4	16.2	81.1	98.0	89.5	-0.3	-2.2	-1.7	7.3	12.3	11.3
2017-07-10 - 2017-07-16	18.9	14.3	17.1	71.5	87.6	77.5	19.0	11.8	15.4	79.7	99.9	89.8	0.1	-2.5	-1.7	8.2	12.3	12.3
2017-07-17 - 2017-07-23	20.0	14.6	18.0	69.2	85.6	75.3	19.4	12.5	15.9	78.9	98.6	88.8	-0.5	-2.1	-2.0	9.8	13.0	13.4
2017-07-24 - 2017-07-30	17.6	12.7	15.8	64.6	80.6	70.6	17.1	10.9	14.0	74.3	96.9	85.6	-0.5	-1.8	-1.7	9.6	16.4	15.0
2017-07-31 - 2017-08-06	20.6	16.5	18.9	71.2	83.8	76.3	20.4	14.8	17.6	78.3	97.4	87.9	-0.2	-1.7	-1.3	7.2	13.7	11.5
2017-08-07 - 2017-08-13	17.3	13.0	15.5	71.4	83.7	76.5	14.8	10.2	12.5	69.6	96.7	83.2	-2.5	-2.8	-3.0	-1.8	13.1	6.7

*rouge: valeur prototype supérieure

*bleu: valeur prototype inférieure

4.3. MAÏANTHÈME DU CANADA

Le positionnement des unités expérimentales de maïanthème a été établi selon la présence des plants de maïanthème au début de l'été 2016. On visait en effet au moins 10 plants de maïanthème portant une inflorescence par UE. En 2017, il s'est par contre avéré que dans certaines UE, le nombre de plants portant des fleurs était beaucoup plus limité et même parfois inférieur à 10. L'échantillonnage nettement plus faible dans certaines UE a sûrement eu une incidence sur les analyses statistiques. Des effets significatifs ont par contre pu être démontrés dans certains cas.

Les résultats sont présentés en plusieurs sections. Un portrait général par sous-bloc et par traitement de fertilisation des différents paramètres qui ont été mesurés est présenté en premier lieu. Suivent les analyses de corrélation entre les mesures de production de fruits et l'ouverture du couvert, la compétition herbacée et finalement les traitements de fertilisation. Le portrait des propriétés antioxydantes et nutritionnelles est présenté dans la section 4.6 pour les 3 fruits ensemble.

4.3.1. Portrait général

4.3.1.1 Ouverture du couvert forestier

L'ouverture du couvert présentée dans cette section est calculée uniquement pour les UE de maïanthème. Cette mesure n'a été réalisée qu'une seule fois, en 2016. Le tableau 6 met en évidence un gradient important de l'ouverture du couvert pour le maïanthème, allant de 5,9 % d'ouverture dans le sous-bloc 8 à 25,9 % dans le sous-bloc 4. Le bloc 5 (sous-blocs 7 et 8) a un couvert forestier nettement plus fermé que les 2 autres blocs, dont l'ouverture du couvert semble relativement similaire, située autour de 15-18%.

Tableau 6. Moyenne et écart-type de l'ouverture du couvert par bloc et sous-bloc pour le maïanthème du Canada

Bloc	Sous-bloc	Ouverture (%)	
		<i>Moy.</i>	<i>E-T</i>
2	1	11.2 ± 1.6	
	2	19.7 ± 0.9	
	3	14.1 ± 3.5	
	total	15.0 ± 4.2	
3	4	25.9 ± 3.4	
	5	11.8 ± 2.3	
	6	16.4 ± 1.7	
	total	18.0 ± 6.4	
5	7	6.2 ± 0.7	
	8	5.9 ± 2.2	
	total	6.1 ± 1.5	

4.3.1.2 Compétition herbacée

Étant donné la petite taille des plants de maïanthème du Canada, mesurant autour de 10 cm, l'évaluation de la compétition herbacée devient nécessaire si l'on souhaite évaluer l'impact de la lumière sur la production de fruits de cette plante. Le tableau 7 présente le bilan de la compétition herbacée en 2016 et 2017. La compétition herbacée semble plus importante en 2017 qu'en 2016, avec une moyenne de recouvrement de 77% en 2017 *versus* 59% en 2016. L'écart-type est par contre important, de l'ordre de 30%, faisant en sorte que ces différences ne sont peut-être pas significatives. Le portrait des différents sous-blocs varie beaucoup. En 2016, les sous-blocs 2 et 6 ont une compétition nettement plus élevée que les autres sous-blocs (100 et 85%). Suivent les sous-blocs 1 et 5, autour de 65%, puis les sous-blocs 3, 4, 7 et 8 avec une valeur comprise entre 36 et 53%. En 2017, les mêmes sous-blocs ont les valeurs les plus élevées (sous-blocs 1, 2, 5 et 6 avec plus de 90% de recouvrement de la compétition). Suit le sous-bloc 7 avec 85 % et le minimum est observé dans le sous-bloc 4 avec 29%. Globalement, à l'exception de quelques sous-blocs où le recouvrement de la compétition est inférieur à 50% (sous-blocs 4, 7 et 8 en 2016 ; sous-bloc 4 en 2017), on peut donc conclure que le maïanthème est sujet à une compétition herbacée importante. Aucune différence significative n'est remarquable selon les traitements de fertilisation.

Tableau 7. Moyenne et écart-type du pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée mesurée en 2016 et 2017 pour le maianthème par sous-bloc et traitement

Bloc	Sous-bloc	Traitement	N	Recouvrement (%)				
				2016		2017		
				Moyenne	E-T	Moyenne	E-T	
2	1	T	4	72.5 ± 2.9		97.5 ± 5.0		
		C	4	77.5 ± 9.6		100.0 ± 0.0		
		A	4	42.5 ± 5.0		92.5 ± 15.0		
		C+A	4	65.0 ± 5.8		90.0 ± 8.2		
		s-total	16	64.4 ± 14.9		95.0 ± 8.9		
	2	T	4	100.0 ± 0.0		100.0 ± 0.0		
		C	4	100.0 ± 0.0		100.0 ± 0.0		
		A	4	100.0 ± 0.0		100.0 ± 0.0		
		C+A	4	100.0 ± 0.0		100.0 ± 0.0		
		s-total	16	100.0 ± 0.0		100.0 ± 0.0		
	3	T	4	40.0 ± 18.7		62.5 ± 33.8		
		C	4	51.3 ± 27.5		71.3 ± 21.7		
A		4	83.8 ± 7.5		100.0 ± 0.0			
C+A		4	37.5 ± 9.6		41.3 ± 19.3			
s-total		16	53.1 ± 24.8		68.8 ± 29.5			
3	4	T	4	27.5 ± 12.6		10.0 ± 10.8		
		C	4	50.0 ± 24.5		53.8 ± 39.0		
		A	4	10.0 ± 4.1		12.5 ± 2.9		
		C+A	4	72.5 ± 22.2		41.3 ± 40.1		
		s-total	16	40.0 ± 29.0		29.4 ± 32.0		
	5	T	4	81.3 ± 6.3		100.0 ± 0.0		
		C	4	78.8 ± 8.5		100.0 ± 0.0		
		A	4	71.3 ± 8.5		99.3 ± 1.5		
		C+A	4	31.3 ± 16.5		62.5 ± 26.3		
		s-total	16	65.6 ± 22.9		90.4 ± 20.4		
	6	T	4	82.5 ± 9.6		98.8 ± 2.5		
		C	4	97.5 ± 5.0		100.0 ± 0.0		
		A	4	76.3 ± 4.8		90.0 ± 20.0		
		C+A	4	91.3 ± 2.5		100.0 ± 0.0		
		s-total	16	86.9 ± 10.0		97.2 ± 10.0		
	5	7	T	7	61.4 ± 12.5		97.9 ± 3.9	
			C	6	21.7 ± 11.3		70.0 ± 22.4	
			A	7	47.1 ± 14.7		90.0 ± 12.2	
C+A			6	35.0 ± 20.7		85.8 ± 6.6		
s-total			26	42.3 ± 20.6		86.5 ± 15.9		
8		T	5	37.0 ± 7.6		50.6 ± 18.6		
		C	6	36.7 ± 18.6		55.3 ± 26.7		
		A	5	39.0 ± 13.4		65.0 ± 20.6		
		C+A	6	31.7 ± 9.3		46.3 ± 15.1		
		s-total	22	35.9 ± 12.5		54.0 ± 20.5		
Global	T	36	61.9 ± 25.2		78.1 ± 33.1			
	C	36	60.3 ± 31.4		79.2 ± 27.1			
	A	36	57.2 ± 27.8		81.4 ± 29.4			
	C+A	36	55.3 ± 29.0		70.4 ± 29.3			
	Global	144	58.7 ± 28.3		77.3 ± 29.8			

4.3.1.3 Production de fruits

Le tableau 8 présente le portrait des différentes variables décrivant la production de fruits, qui ont été mesurées en 2016 pour le maïanthème du Canada. Le portrait de 2017 se trouve dans le tableau 9.

Le nombre moyen de plants portant des fruits par UE est très variable selon les sous-blocs, que ce soit en 2016 ou en 2017. On observe en effet un nombre minimum par sous-bloc de l'ordre de 0,5 – 1,5 et un maximum de l'ordre de 18,5 plants. En 2016, les sous-blocs 1 et 4 présentent un nombre moyen de plants avec fruits bien plus élevé que les autres sous-blocs. En 2017, le sous-bloc 4 est encore le plus peuplé de tous et de loin. Par contre le portrait moyen du dispositif met en évidence un nombre de plants avec des fruits beaucoup plus faible en 2017 ($2,8 \pm 7$) qu'en 2016 ($7,6 \pm 7$). En 2017, huit combinaisons de sous-bloc et traitement n'ont d'ailleurs aucun plant portant des fruits et ne disposent donc d'aucune donnée de récolte. Le bilan par traitement met en évidence une situation similaire selon les 4 traitements en 2016. En 2017, le traitement témoin a un nombre moyen de plants avec fruits bien plus élevé que les autres traitements, mais l'écart-type est, lui aussi très élevé.

Le nombre de fruits par plant varie peu d'une année à l'autre, étant situé autour de 3,5. Le portrait par sous-bloc diffère par contre. Le sous-bloc 4 est celui qui a le plus de fruits, autant en 2016 qu'en 2017, étant quatre fois plus élevé que les valeurs les plus faibles. Le sous-bloc 2 et le sous-bloc 6 ont le moins de fruits par plant en 2016, alors que ce sont les sous-blocs 2 et 1 en 2017.

Le poids moyen par 1000 fruits varie beaucoup selon les sous-blocs. Il est le plus élevé dans les sous-blocs 2 et 5, atteignant en 2016 des valeurs de 118 et 125 g / 1000 fruits, et 105 et 93 g / 1000 fruits en 2017. Les valeurs les plus faibles sont observées dans le sous-bloc 7, avec 40 g / 1000 fruits en 2016 et 54 g / 1000 fruits en 2017. Le poids moyen de 1000 fruits dans tout le dispositif est de 88 g en 2016 et 71 g en 2017. Ces valeurs peuvent être considérées comme similaires, étant donnée l'étendue de l'écart-type.

En ce qui concerne la proportion de fruits mûrs, la mesure n'a pas été réalisée de la même manière selon les 2 années et la comparaison entre les années n'est donc pas possible. En 2016, l'évaluation a été étalée sur plusieurs semaines selon les sous-blocs, afin de récolter le plus de fruits mûrs possible. Ceci a pour conséquence que la proportion de fruits mûrs par sous-bloc est toujours élevée (moyenne globale de 85%, valeur minimale par sous-bloc de 70%, valeur maximale de 98%). En 2017, il a été décidé de choisir une date unique de récolte, afin de pouvoir

comparer l'évolution de la maturité des fruits selon les différentes variables. Dans ce contexte, de plus grandes variations existent en 2017 entre les sous-blocs, allant de 52% à 100% de fruits mûrs. La valeur globale moyenne est de 78%.

Tableau 8. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2016 pour le maïanthème par sous-bloc et traitement

Bloc	Sous-bloc	Traitement	N	Nombre de plants avec fruits par UE		Nombre de fruits par plant		Poids moyen pour 1000 fruits (g)		Proportion de fruits mûrs (%)		
				Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy	E-T	Moy.	E-T	
2	1	T	4	14,8 ± 2,6	3,0 ± 0,5	84 ± 10	92 ± 7					
		C	4	14,5 ± 5,3	2,1 ± 0,3	107 ± 37	91 ± 8					
		A	4	27,5 ± 3,9	3,9 ± 0,5	71 ± 14	82 ± 15					
		C+A	4	17,3 ± 8,5	4,2 ± 1,7	77 ± 15	55 ± 42					
	s-total			16	18,5 ± 7,4	3,3 ± 1,2	85 ± 24	80 ± 26				
	2	T	4	9,8 ± 5,0	1,8 ± 0,3	90 ± 28	89 ± 13					
		C	4	12,5 ± 5,1	2,5 ± 0,5	132 ± 25	89 ± 11					
		A	4	3,8 ± 3,6	1,8 ± 0,8	154 ± 0	90 ± 16					
		C+A	4	5,5 ± 2,9	1,8 ± 0,3	117 ± 26	94 ± 5					
	s-total			16	7,9 ± 5,2	2,0 ± 0,6	118 ± 30	90 ± 11				
	3	T	4	14,3 ± 4,1	4,0 ± 0,9	88 ± 17	86 ± 24					
		C	4	9,8 ± 3,5	3,0 ± 1,0	111 ± 31	94 ± 5					
		A	4	2,0 ± 2,2	2,3 ± 0,3	77 ± 0	89 ± 19					
		C+A	4	13,0 ± 4,5	3,9 ± 1,3	98 ± 14	14 ± 18					
	s-total			16	9,8 ± 5,9	3,4 ± 1,1	96 ± 22	70 ± 38				
	3	4	T	48	16,8 ± 5,4	8,8 ± 1,0	74 ± 8	98 ± 2				
C			4	11,0 ± 2,4	6,0 ± 1,5	71 ± 20	98 ± 1					
A			4	18,8 ± 5,4	6,8 ± 1,5	57 ± 9	98 ± 2					
C+A			4	16,8 ± 2,9	10,0 ± 1,9	77 ± 6	98 ± 2					
s-total			4	15,8 ± 4,8	7,9 ± 2,1	70 ± 13	98 ± 2					
5		T	16	1,5 ± 1,0	3,5 ± 0,5	0 ± 0	81 ± 7					
		C	4	1,8 ± 2,1	2,2 ± 0,6	0 ± 0	81 ± 27					
		A	4	3,0 ± 1,4	1,4 ± 0,5	0 ± 0	100 ± 0					
		C+A	4	8,5 ± 3,3	4,9 ± 1,5	125 ± 23	99 ± 2					
s-total			4	3,7 ± 3,5	3,1 ± 1,7	125 ± 23	92 ± 12					
6		T	16	3,3 ± 2,6	1,4 ± 0,5	125 ± 0	88 ± 25					
		C	4	9,5 ± 1,7	3,0 ± 0,8	79 ± 25	87 ± 10					
		A	4	4,3 ± 1,3	1,9 ± 1,1	72 ± 7	100 ± 0					
		C+A	4	1,8 ± 1,7	1,7 ± 0,3	125 ± 0	82 ± 17					
s-total			4	4,7 ± 3,5	2,0 ± 0,9	89 ± 28	90 ± 15					

Bloc	Sous-bloc	Traitement	N	Nombre de plants avec fruits par UE		Nombre de fruits par plant		Poids moyen pour 1000 fruits (g)		Proportion de fruits mûrs (%)	
				Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy	E-T	Moy.	E-T
5	7	T	16	0,9 ± 1,1	1,7 ± 0,8	0 ± 0	100 ± 0				
		C	48	1,7 ± 1,0	2,9 ± 2,6	0 ± 0	70 ± 40				
		A	7	0,1 ± 0,4	3,0 ± 0,0	0 ± 0	0 ± 0				
		C+A	6	3,8 ± 2,8	3,3 ± 2,3	40 ± 9	74 ± 39				
		s-total	7	1,5 ± 2,0	2,8 2,1	40 9	77 34				
	8	T	6	2,6 ± 3,8	2,3 ± 1,2	74 ± 52	97 ± 6				
		C	26	5,3 ± 2,0	4,4 ± 1,0	79 ± 26	88 ± 5				
		A	5	2,6 ± 1,8	3,3 ± 2,2	91 ± 0	79 ± 20				
		C+A	6	4,2 ± 3,2	3,0 ± 1,7	73 ± 32	89 ± 20				
		s-total	5	3,8 ± 2,8	3,4 ± 1,7	78 ± 27	87 ± 15				
Global	T	36	7,2 ± 7,0	3,4 ± 2,4	85 ± 22	91 ± 14					
	C	36	7,7 ± 5,4	3,4 ± 1,7	95 ± 33	87 ± 19					
	A	36	7,0 ± 9,4	3,1 ± 2,0	75 ± 26	90 ± 15					
	C+A	36	8,3 ± 6,7	4,1 ± 2,79	90 ± 31	76 ± 34					
Global		144	7,6 ± 7,2	3,5 2,3	88 ± 30	85 ± 23					

Tableau 9. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2017 pour le maïanthème par sous-bloc et traitement

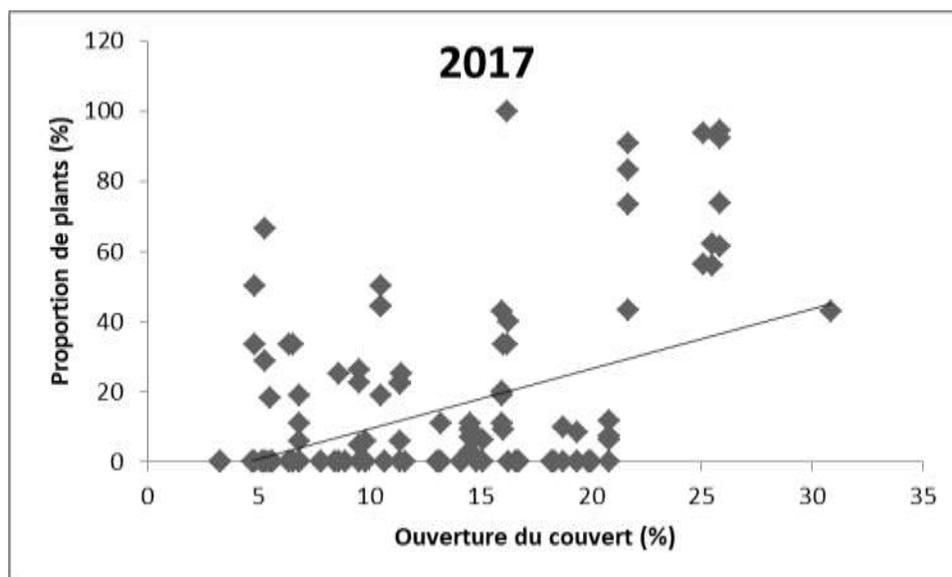
Bloc	Sous-bloc	Traitement	N	Nombre de plants avec fruits par UE		Nombre de fruits par plant		Poids moyen pour 1000 fruits (g)		Proportion de fruits mûrs (%)	
				Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy	E-T	Moy.	E-T
2	1	T	4	2,8 ± 2,6	1,7 ± 0,6	90 ± 33	95 ± 9				
		C	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0						
		A	4	3,5 ± 1,0	2,2 ± 0,4	70 ± 13	85 ± 30				
		C+A	4	2,5 ± 2,4	2,3 ± 1,6	108 ± 14	96 ± 8				
		s-total	16	2,2 ± 2,1	2,1 ± 0,9	88 ± 25	92 ± 18				
	2	T	4	0,3 ± 0,5	2,0 ± 0,0	78 ± 0	100 ± 0				
		C	4	1,3 ± 1,0	1,5 ± 0,5	137 ± 24	88 ± 20				
		A	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0						
		C+A	4	0,5 ± 1,0	1,0 ± 0,0	39 ± 0	100 ± 0				
		s-total	16	0,5 ± 0,8	1,5 ± 0,5	105 ± 48	93 ± 16				
3	T	4	4,5 ± 3,0	2,9 ± 0,9	51 ± 30	66 ± 36					
	C	4	2,0 ± 2,8	1,4 ± 0,6	69 ± 13	50 ± 50					
	A	4	0,3 ± 0,5	2,0 ± 0,0	40 ± 0	50 ± 0					
	C+A	4	2,0 ± 0,8	3,0 ± 1,1	60 ± 33	70 ± 22					
	s-total	16	2,2 ± 2,5	2,6 ± 1,0	57 ± 26	62 ± 32					

Bloc	Sous-bloc	Traitement	N	Nombre de plants avec fruits par UE		Nombre de fruits par plant		Poids moyen pour 1000 fruits (g)		Proportion de fruits mûrs (%)	
				Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy	E-T	Moy.	E-T
3	4	T	48	25,8 ± 5,2		8,7 ± 0,7		52 ± 13		90 ± 4	
		C	4	4,8 ± 2,1		2,9 ± 1,9		86 ± 12		100 ± 0	
		A	4	25,0 ± 14,7		7,4 ± 0,5		50 ± 5		91 ± 9	
		C+A	4	20,0 ± 7,7		7,1 ± 2,2		52 ± 9		74 ± 15	
		s-total	4	18,9 ± 11,7		6,5 ± 2,6		60 ± 18		89 ± 13	
	5	T	16	0,0 ± 0,0		0,0 ± 0,0					
		C	4	0,3 ± 0,5		2,0 ± 0,0		57 ± 0		50 ± 71	
		A	4	0,0 ± 0,0		0,0 ± 0,0					
		C+A	4	1,5 ± 0,6		4,4 ± 3,1		102 ± 28		53 ± 40	
		s-total	4	0,4 ± 0,7		3,9 ± 2,9		93 ± 32		52 ± 44	
	6	T	16	0,0 ± 0,0		0,0 ± 0,0					
		C	4	0,3 ± 0,5		3,0 ± 0,0		79 ± 0		100 ± 0	
		A	4	0,0 ± 0,0		0,0 ± 0,0					
		C+A	4	0,0 ± 0,0		0,0 ± 0,0					
		s-total	4	0,1 ± 0,3		3,0 ± 0,0		79 ± 0		100 ± 0	
5	7	T	16	0,7 ± 1,1		3,0 ± 2,8		75 ± 25		100 ± 0	
		C	48	0,8 ± 1,3		3,3 ± 1,1		25 ± 20		33 ± 18	
		A	7	0,1 ± 0,4		0,0 ± 0,0					
		C+A	6	1,0 ± 1,7		4,5 ± 0,7		63 ± 1		88 ± 18	
		s-total	7	0,7 ± 1,2		3,6 ± 1,6		54 ± 27		80 ± 31	
	8	T	6	0,2 ± 0,4		4,0 ± 0,0		86 ± 0		75 ± 0	
		C	26	0,2 ± 0,4		1,0 ± 0,0		30 ± 0		0 ± 0	
		A	5	0,4 ± 0,5		2,5 ± 0,7		82 ± 16		75 ± 35	
		C+A	6	0,0 ± 0,0		0,0 ± 0,0					
		s-total	5	0,2 ± 0,4		2,5 ± 1,3		70 ± 28		56 ± 43	
Global	T	36	8,2 ± 8,2		3,0 ± 3,0		27 ± 27		22 ± 22		
	C	36	1,1 ± 1,9		2,3 ± 1,3		79 ± 40		68 ± 42		
	A	36	3,3 ± 9,0		4,1 ± 2,6		62 ± 17		84 ± 23		
	C+A	36	3,1 ± 6,6		4,1 ± 2,6		75 ± 32		76 ± 26		
	Global	144	2,8 ± 7,0		3,7 ± 2,55		71 ± 31		78 ± 30		

4.3.2. Ouverture du couvert forestier

Seules les relations significatives entre l'ouverture du couvert forestier et les variables de récoltes de fruits sont présentées ci-dessous.

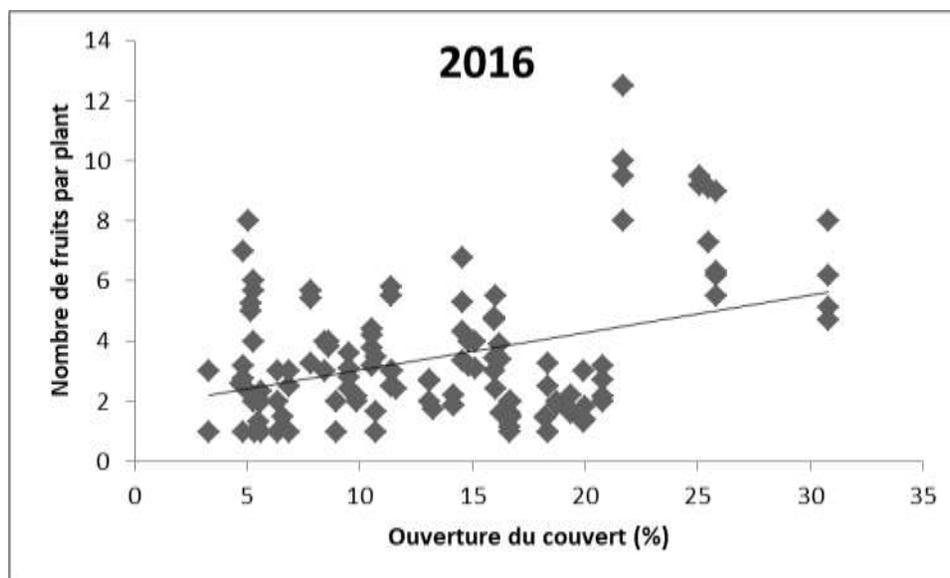
La proportion des plants en fleurs qui portent des fruits est évaluée seulement en 2017. L'ouverture du couvert a un effet significatif sur la proportion des plants en fleurs qui finissent par porter des fruits (figure 36). Ainsi, plus le couvert forestier est ouvert, plus les plants portant des fleurs ont tendance à produire des fruits. Cette corrélation est par contre modérée, avec un R^2 de 0,20.



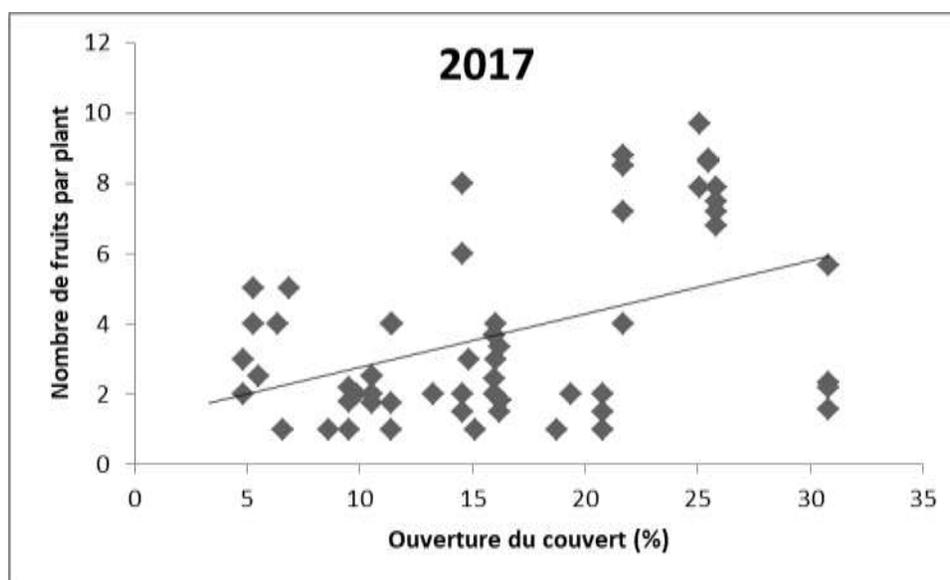
$$R^2 = 0,20 \quad p < 0,0001$$

Figure 36. Relation entre l'ouverture du couvert et la proportion des plants en fleurs qui portent des fruits chez le maïanthème en 2017

Le nombre de fruits moyen par plant est corrélé à l'ouverture du couvert de manière significative (figure 37). Que ce soit en 2016 ou en 2017, plus l'ouverture du couvert est élevée, plus le nombre de fruits par plant augmente. La corrélation est relativement faible, avec un R^2 variant selon les années, entre 0,14 et 0,19.



$R^2=0,14$ $p<0,0001$



$R^2=0,19$ $p<0,0005$

Figure 37. Relation entre l'ouverture du couvert et le nombre de fruits par plant chez le maïanthème (2 vues – 2016 et 2017)

Le poids moyen des fruits récoltés et la proportion de fruits mûrs ne sont pas présentés dans la section des résultats pour l'année 2016, à cause de la méthode de récolte utilisée qui a certainement dû masquer certaines variables qui ont une influence sur la maturation des fruits et qui diffèrent selon les sous-blocs, comme l'ouverture du couvert. En 2017, aucun effet significatif de l'ouverture du couvert forestier sur le poids moyen des fruits et la proportion de fruits mûres n'a été mis en évidence.

4.3.3. Compétition herbacée

La compétition herbacée est constituée en grande partie de cornouiller du Canada. C'est une petite plante herbacée qui dépasse légèrement le maïanthème en hauteur, mais qui a un feuillage très dense et se retrouve souvent en tapis au sol (figure 38). Il obstrue donc la lumière de manière très efficace lorsqu'il est présent abondamment. En 2017, lorsque le taux de recouvrement de la compétition herbacée dépasse 50%, le cornouiller du Canada est l'espèce majoritaire dans 89% des unités expérimentales.



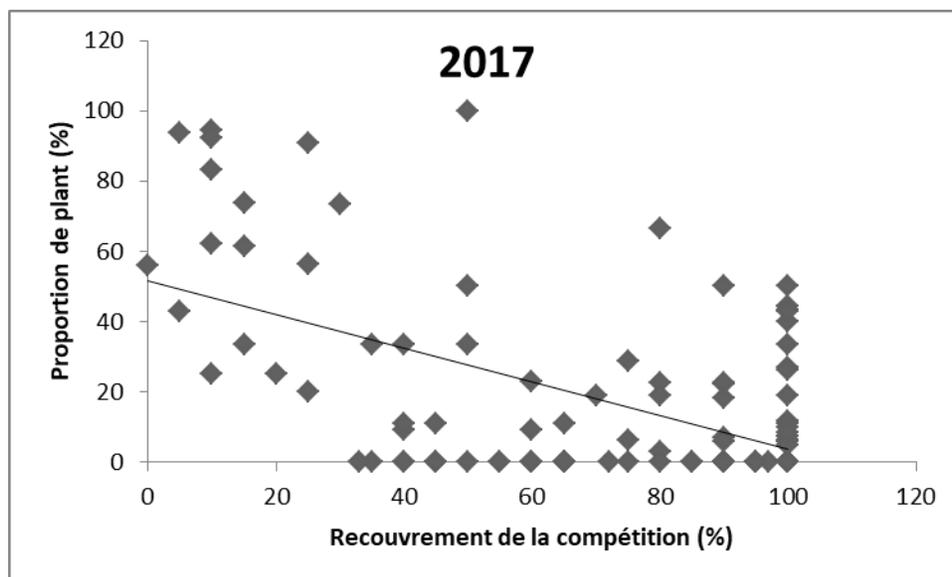
Figure 38. Tapis de cornouiller du Canada (plant avec les feuilles en rosette et fleurs à 4 pétales) dans une unité expérimentale de maïanthème

Note : Cette photo a été prise en juin 2017, moment où le maïanthème dépasse encore un peu le cornouiller en hauteur. Mais dès juillet, le maïanthème se retrouve sous le cornouiller.

L'effet du recouvrement de la compétition herbacée sur la production de fruits est présenté pour plusieurs variables.

La proportion des plants en fleurs qui portent des fruits a été évaluée seulement en 2017. Le taux de recouvrement de la compétition herbacée a un effet significatif sur la proportion des plants en fleurs qui finissent par porter des fruits (figure 39). Plus la compétition herbacée a un recouvrement élevé, moins les plants portant des fleurs ont tendance à produire des fruits. Cette corrélation est modérée, avec un R^2 de 0,34. Cette relation est plus forte (R^2 supérieur) que ne

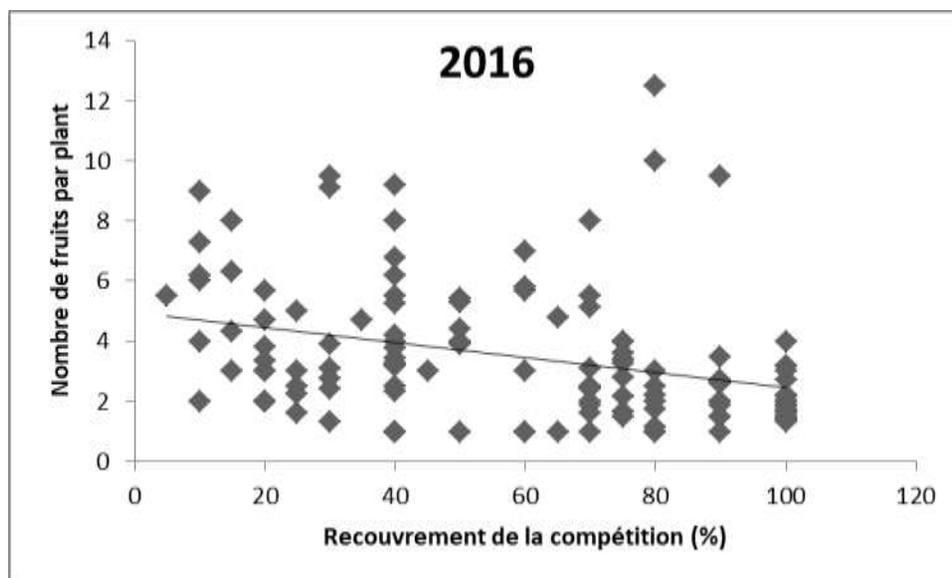
l'est le pourcentage de couvert forestier avec la proportion des plants en fleurs qui portent des fruits. Ainsi, l'effet de la compétition herbacée est plus direct sur la production de fruits que ne l'est le couvert forestier.



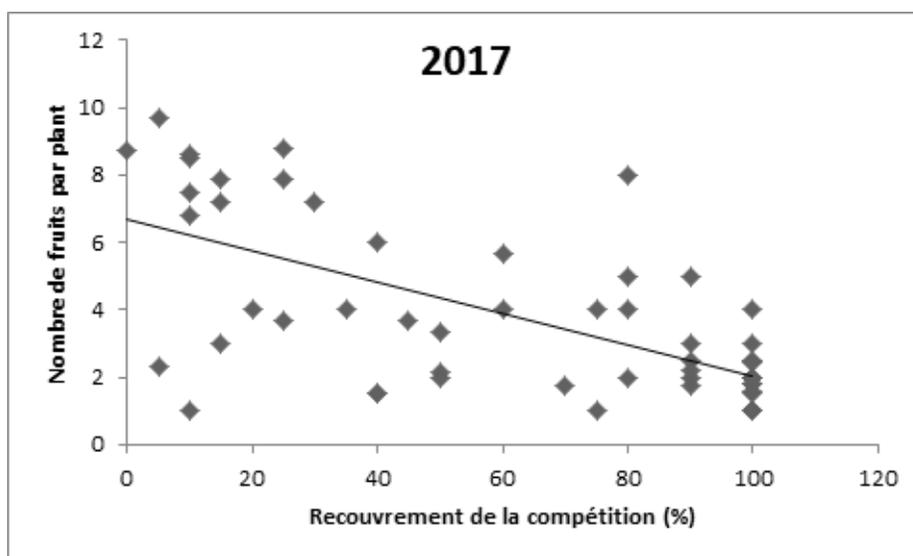
$$R^2=0,34 \quad p<0,0001$$

Figure 39. Relation entre le recouvrement de la compétition herbacée et la proportion des plants en fleurs qui portent des fruits chez le maianthème en 2017

Le nombre de fruits moyen par plant est corrélé de manière significative au taux de recouvrement de la compétition herbacée. Que ce soit en 2016 ou en 2017, plus le taux de recouvrement de la compétition herbacée est faible, plus le nombre de fruits par plant augmente (figure 40). La corrélation est relativement faible en 2016, avec un R^2 de 0,10, mais peut être considérée forte en 2017, avec un R^2 de 0,43.



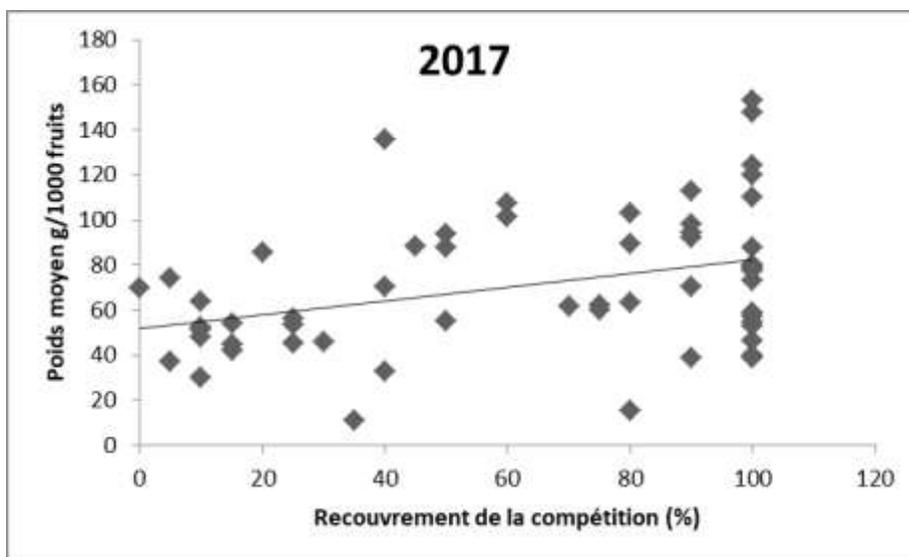
$R^2=0,10$ $p=0,0003$



$R^2=0,43$ $p<0,0001$

Figure 40. Relation entre le recouvrement de la compétition herbacée et le nombre de fruits par plant chez le maïanthème (2 vues – 2016 et 2017)

Le poids moyen des fruits est corrélé de manière significative au recouvrement de la compétition herbacée en 2017. Ainsi, plus le taux de recouvrement de la compétition herbacée est faible, plus le poids des fruits diminue (figure 41). La corrélation est relativement faible, avec un R^2 de 0,13. Les données de 2016 ne sont pas présentées à cause de la méthode de récolte qui s'est avérée inappropriée pour ces analyses.



$R^2=0,13$ $p=0,0062$

Figure 41. Relation entre le recouvrement de la compétition herbacée et le poids des fruits chez le maïanthème en 2017

En ce qui concerne **la proportion de fruits mûrs**, elle n'est pas présentée dans la section des résultats pour l'année 2016, à cause de la méthode de récolte utilisée. En 2017, aucun effet significatif n'a été mis en évidence.

4.3.4. Fertilisation

Que ce soit pour **la proportion du nombre de tiges en fleurs qui ont produit des fruits, le poids moyen des fruits et la proportion de fruits mûrs**, aucun effet significatif des traitements de fertilisation n'a été mis en évidence sur ces variables.

Dans le cas du **nombre moyen de fruits par plant**, un effet significatif du traitement à la chaux est remarquable en 2017 (figure 42). La chaux provoque une diminution de la production de fruits par rapport au témoin et aux autres traitements de fertilisation. En 2016, aucun effet significatif n'est présent.

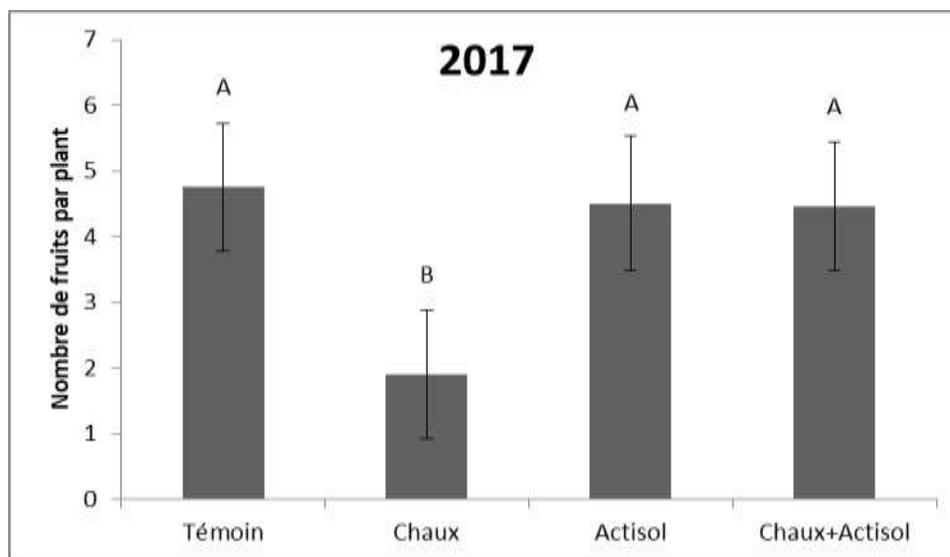


Figure 42. Relation entre les traitements de fertilisation et le nombre de fruits moyen par plant chez le maïanthème en 2017

4.4. ARALIE À TIGE NUE

Les unités expérimentales d'aralie ont été positionnées en 2016, en identifiant des plants d'aralie qui avaient au moins 2 ombelles en fleurs au moment de l'implantation du dispositif. En 2017, il s'est avéré que de nombreux plants d'aralie identifiés comme des unités expérimentales en 2016, ne portaient aucune ombelle en fleurs. Ceci s'explique peut-être par le mode de reproduction végétatif de l'aralie. En effet, comme la plante se propage par son rhizome, elle n'a pas à produire beaucoup de fleurs (Flore Laurentienne). L'échantillonnage très restreint en 2017 a influencé les analyses de la récolte de 2017.

Les résultats présentés se divisent en plusieurs sections. Un portrait général par sous-bloc et par traitement de fertilisation des différents paramètres qui ont été mesurés est présenté en premier lieu. Suivent les analyses de corrélation entre les mesures de production de fruits et l'ouverture du couvert d'une part, et les traitements de fertilisation d'autre part. Le portrait des propriétés antioxydantes et nutritionnelles est présenté dans la section 4.6 pour l'ensemble des 3 PFNL.

4.4.1. Portrait général

4.4.1.1 Ouverture du couvert forestier

L'ouverture du couvert présenté dans cette section est calculée uniquement pour les UE avec des aralies. Cette mesure n'a été réalisée qu'en 2016. Le tableau 10 met en évidence un gradient important de l'ouverture du couvert pour l'aralie, allant d'environ 5 % d'ouverture dans les sous-blocs 4, 5 et 6 à 21,7% dans le sous-bloc 1. Les sous-blocs 2 et 3 sont intermédiaires, avec une ouverture située autour de 10%.

Tableau 10. Moyenne et écart-type de l'ouverture du couvert par bloc et sous-bloc pour l'aralie à tige nue

Bloc	Sous-bloc	Ouverture (%)	
		Moy.	E-T
3	1	21.7	± 3.2
	2	11.5	± 2.3
4	3	8.4	± 3.5
	4	5.3	± 1.7
		8.1	± 3.6
5	5	4.8	± 1.5
	6	5.6	± 1.6
		5.1	± 1.6

4.4.1.2 Production de fruits

Le tableau 11 présente le portrait des différentes variables décrivant la production de fruits, qui ont été mesurées en 2016 pour l'aralie. Le portrait de 2017 se trouve dans le tableau 12.

Le nombre d'ombelles en fleurs par plant est relativement constant dans les différentes unités du dispositif. Il est nettement supérieur en 2016 (moyenne de 2,8) qu'en 2017 (moyenne de 0,7). Sept combinaisons de sous-blocs et traitements sur 24 n'ont aucune ombelle en fleurs en 2017, alors qu'elles sont présentes en 2016.

Le nombre d'ombelles récoltées par plant est plus variable. En 2016, le sous-bloc 2 se démarque avec la moyenne la plus élevée, de 1,7, alors que le sous-bloc 4 a la moyenne la plus faible (0,1). La moyenne générale du dispositif est de 0,8 en 2016. En 2017, elle est plus faible, d'une valeur de 0,2 et ce sont 16 combinaisons de sous-blocs et traitements sur 24 qui n'ont aucune ombelle avec des fruits. Que ce soit en 2016 ou en 2017, ce sont les mêmes sous-blocs où le nombre d'ombelles avec des fruits est le plus faible voire nul (sous-blocs 3, 4, 5 et 6).

Le nombre de fruits par plant varie selon les sous-blocs. En 2016, le maximum est obtenu dans le sous-bloc 1 (6 fruits par plant) et le minimum dans le sous-bloc 5 (0,7 fruit par plant). La moyenne générale est de 3,6. Le traitement d'Acti-Sol® a une moyenne bien plus élevée que les autres traitements (6,9), mais un écart-type très étendu. En 2016, la moyenne générale diminue de moitié (1,8). Une grande variation dans les données est observée.

Le poids moyen par 1000 fruits varie beaucoup selon les sous-blocs et les années. En 2016, la moyenne générale est de 139 g / 1000 fruits, avec un minimum de 33 g dans le sous-bloc 3 et un maximum de 169 g dans le sous-bloc 1. Le traitement à la chaux se distingue des autres avec une moyenne nettement plus faible (57 g). En 2017, la moyenne générale est plus élevée (211 g / 1000 fruits).

En ce qui concerne la proportion de fruits mûrs, même si la mesure n'a pas été réalisée de la même manière selon les 2 années, la proportion de fruits mûrs est très élevée durant les 2 années de récolte, supérieure à 90%.

Tableau 11. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2016 pour le l'aralie par sous-bloc et traitement

Bloc	Sous-bloc	Traitement	N	Nombre d'ombelles en fleurs		Nombre d'ombelles récoltées		Nombre de fruits par plant		Poids moyen pour 1000 fruits (g)		Proportion de fruits mûrs (%)	
				Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
3	1	T	4	2,9 ± 0,5	0,9 ± 1,4	3,8 ± 9,8	141 ± 91	79 ± 26					
		C	4	3,1 ± 0,5	0,5 ± 1,3	0,0 ± 0,0							
		A	4	3,2 ± 0,4	1,9 ± 1,4	15,3 ± 15,6	175 ± 65	87 ± 17					
		C+A	4	2,9 ± 0,2	1,6 ± 1,4	6,2 ± 9,6	169 ± 43	90 ± 18					
		s-total	16	3,0 ± 0,4	1,3 ± 1,5	6,0 ± 11,2	169 ± 58	87 ± 18					
4	2	T	4	3,0 ± 0,0	2,0 ± 1,4	3,3 ± 3,3		100 ± 0					
		C	4	2,8 ± 0,5	1,8 ± 1,3	8,8 ± 13,3	71 ± 0	100 ± 0					
		A	4	3,0 ± 0,0	1,8 ± 1,6	2,4 ± 4,3	100 ± 0	100 ± 0					
		C+A	4	3,0 ± 0,0	1,3 ± 1,5	1,0 ± 2,0		100 ± 0					
		s-total	16	2,9 ± 0,2	1,7 ± 1,4	3,8 ± 7,0	86 ± 20	100 ± 0					
	3	T	4	2,8 ± 0,4	0,6 ± 0,9	0,8 ± 1,8		100 ± 0					
		C	4	3,0 ± 0,0	0,6 ± 1,3	6,8 ± 13,1	33 ± 0	100 ± 0					
		A	4	3,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		C+A	4	2,8 ± 0,5	0,3 ± 0,5	0,0 ± 0,0							
		s-total	16	2,9 ± 0,4	0,5 ± 0,9	2,5 ± 7,7	33 ± 0	100 ± 0					
	4	T	48	3,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		C	4	3,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		A	4	2,9 ± 0,4	0,0 ± 0,0								
C+A		4	2,8 ± 0,4	0,6 ± 1,3	5,8 ± 13,0		100 ± 0						
s-total		4	2,9 ± 0,3	0,1 ± 0,6	1,3 ± 6,0		100 ± 0						
5	5	T	16	2,4 ± 0,5	0,6 ± 0,7	0,0 ± 0,0							
		C	4	2,0 ± 0,0	0,8 ± 1,0	2,6 ± 5,0	67 ± 0	100 ± 0					
		A	4	2,4 ± 0,5	0,4 ± 0,9	0,3 ± 0,7		100 ± 0					
		C+A	4	2,1 ± 0,3	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0							
		s-total	4	2,2 ± 0,4	0,5 ± 0,8	0,7 ± 2,6	67 ± 0	100 ± 0					
	6	T	16	2,7 ± 0,5	0,0 ± 0,0								
		C	4	2,9 ± 0,4	0,4 ± 1,1	0,9 ± 2,3		100 ± 0					
		A	4	3,2 ± 0,4	1,0 ± 1,5	11,7 ± 20,1	65 ± 24	100 ± 0					
		C+A	4	3,3 ± 1,4	0,5 ± 1,2	6,3 ± 15,5	132 ± 0	100 ± 0					
		s-total	4	3,0 ± 0,7	0,5 ± 1,1	4,4 ± 12,4	87 ± 42	100 ± 0					
Global	T	5	2,8 ± 0,5	0,6 ± 1,0	1,5 ± 5,6	141 ± 91	91 ± 19						
	C	6	2,8 ± 0,5	0,6 ± 1,1	2,1 ± 6,3	57 ± 21	100 ± 0						
	A	7	2,9 ± 0,5	1,1 ± 1,4	6,9 ± 13,2	148 ± 73	92 ± 15						
	C+A	8	2,8 ± 0,7	0,9 ± 1,3	3,9 ± 9,2	163 ± 42	92 ± 16						
	Global	9	2,8 ± 0,5	0,8 ± 1,2	3,6 ± 9,1	139 ± 67	93 ± 15						

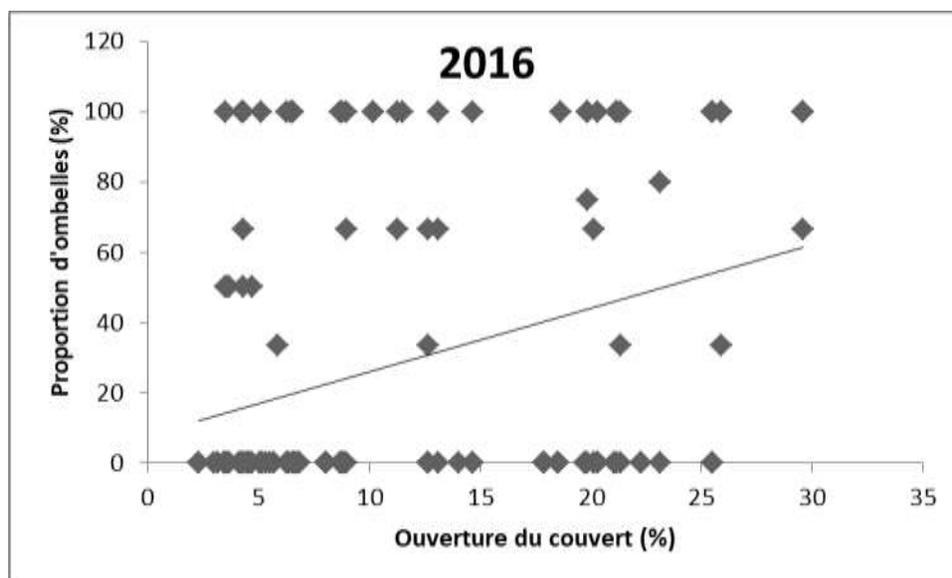
Tableau 12. Moyenne et écart-type des variables de récolte mesurées en 2017 pour le l'aralie par sous-bloc et traitement

Bloc	Sous-bloc	Traitement	N	Nombre d'ombelles en fleurs		Nombre d'ombelles récoltées		Nombre de fruits par plant		Poids moyen pour 1000 fruits (g)		Proportion de fruits mûrs (%)	
				Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
3	1	T	4	0,5 ± 1,1	0,0 ± 0,0								
		C	4	1,0 ± 1,5	0,4 ± 0,9	2,1 ± 5,4	231 ± 74	100 ± 0					
		A	4	0,8 ± 1,3	0,7 ± 1,3	7,1 ± 15,7	264 ± 35	100 ± 0					
		C+A	4	1,2 ± 1,5	0,4 ± 1,0	1,6 ± 4,1	186 ± 37	100 ± 0					
		s-total	16	0,9 ± 1,4	0,4 ± 0,9	2,6 ± 8,3	228 ± 57	100 ± 0					
4	2	T	4	0,8 ± 1,5	0,0 ± 0,0								
		C	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		A	4	0,6 ± 1,3	0,2 ± 0,4	0,8 ± 1,8							
		C+A	4	1,0 ± 2,0	1,0 ± 2,0	16,3 ± 32,5	183 ± 0	100 ± 0					
		s-total	16	0,6 ± 1,3	0,3 ± 1,0	4,1 ± 15,7	183 ± 0	100 ± 0					
	3	T	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		C	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		A	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		C+A	4	0,8 ± 1,5	0,0 ± 0,0								
		s-total	16	0,2 ± 0,8	0,0 ± 0,0								
	4	T	48	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		C	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		A	4	0,4 ± 1,1	0,0 ± 0,0								
C+A		4	0,6 ± 1,3	0,0 ± 0,0									
s-total		4	0,3 ± 0,9	0,0 ± 0,0									
5	5	T	16	1,0 ± 1,2	0,1 ± 0,3	0,6 ± 1,7							
		C	4	0,4 ± 0,9	0,1 ± 0,3	1,2 ± 3,7							
		A	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0								
		C+A	4	1,2 ± 1,5	0,6 ± 1,1	9,6 ± 20,4	168 ± 62	98 ± 4					
		s-total	4	0,7 ± 1,1	0,2 ± 0,6	2,8 ± 10,7	168 ± 62	98 ± 4					
	6	T	16	0,9 ± 1,5	0,0 ± 0,0								
		C	4	0,9 ± 1,5	0,0 ± 0,0								
		A	4	1,0 ± 1,5	0,0 ± 0,0								
		C+A	4	1,2 ± 1,8	0,0 ± 0,0								
		s-total	4	1,0 ± 1,5	0,0 ± 0,0								
Global	T	5	0,6 ± 1,1	0,0 ± 0,2	0,1 ± 0,8								
	C	6	0,6 ± 1,2	0,2 ± 0,6	1,0 ± 3,6	231 ± 74	100 ± 0						
	A	7	0,6 ± 1,2	0,2 ± 0,8	2,3 ± 9,2	264 ± 35	100 ± 0						
	C+A	8	1,1 ± 1,5	0,4 ± 1,0	4,0 ± 13,5	178 ± 37	99 ± 2						
	Global	9	0,7 ± 1,3	0,2 ± 0,7	1,8 ± 8,4	211 ± 58	100 ± 2						

4.4.2. Ouverture du couvert forestier

L'effet de l'ouverture du couvert forestier sur la production de fruits est présenté pour plusieurs variables. L'échantillonnage très restreint en 2017 a influencé les analyses de l'effet de l'ouverture du couvert sur les différentes variables de récolte et aucun effet significatif n'a pu être mis en évidence pour cette année-là.

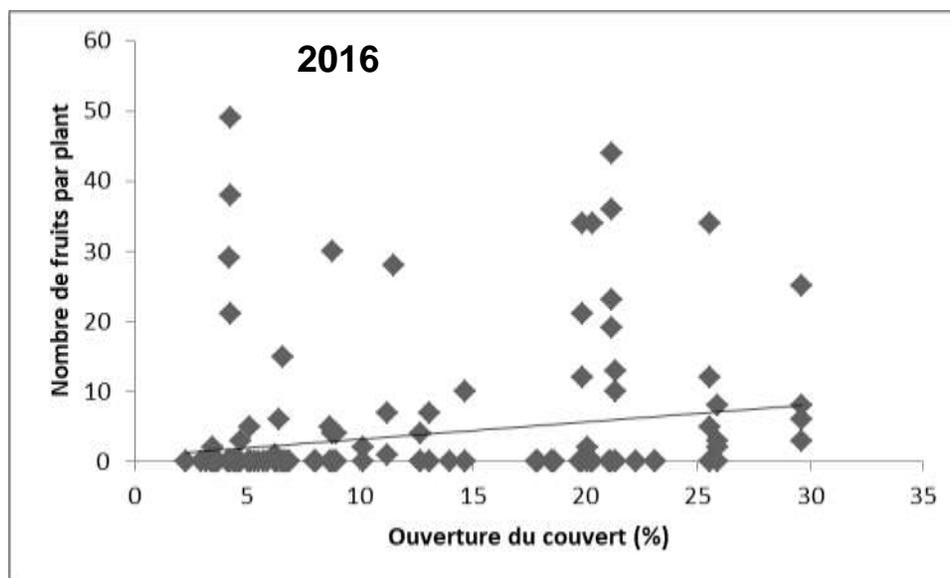
La proportion des ombelles en fleurs qui portaient des fruits varie de manière significative en fonction de l'ouverture du couvert pour les relevés de 2016 (figure 43). Ainsi, plus le couvert forestier est ouvert, plus les ombelles portant des fleurs ont tendance à produire des fruits. Mais cette corrélation est faible, avec un R^2 de 0,11.



$$R^2 = 0,11 \quad p < 0,0001$$

Figure 43. Relation entre l'ouverture du couvert et la proportion des plants en fleurs qui portent des fruits chez l'aralie en 2016

Le nombre de fruits moyen par plant est corrélé à l'ouverture du couvert de manière significative pour les relevés de 2016 (figure 44). Ainsi, plus l'ouverture du couvert est élevée, plus le nombre de fruits par plant augmente. La corrélation est par contre très faible, avec un R^2 de 0,04.



$R^2=0,04$ $p=0,0052$

Figure 44. Relation entre l'ouverture du couvert et le nombre de fruits par plant chez l'aralie en 2016

Tout comme pour le maïanthème, les résultats de l'effet de l'ouverture du couvert forestier sur **le poids moyen des fruits récoltés et la proportion de fruits mûrs** chez l'aralie ne sont pas présentés dans la section des résultats pour l'année 2016, à cause de la méthode de récolte utilisée. En 2017, aucun effet significatif de l'ouverture du couvert forestier sur le poids moyen des fruits et la proportion de fruits matures n'a été mis en évidence.

4.4.3. Fertilisation

Que ce soit pour **la proportion du nombre d'ombelles en fleurs qui ont produit des fruits, le poids moyen des fruits et la proportion de fruits mûrs**, aucun effet significatif des traitements de fertilisation n'a été mis en évidence sur ces variables. L'échantillonnage très restreint en 2017 a certainement influencé les résultats pour cette année-là.

Dans le cas du **nombre moyen de fruits par plant**, le traitement à l'Acti-Sol® semble produire en 2016 un nombre supérieur de fruits que le traitement témoin et de chaux (figure 45). Aucune différence significative n'a été mise en évidence en 2017.

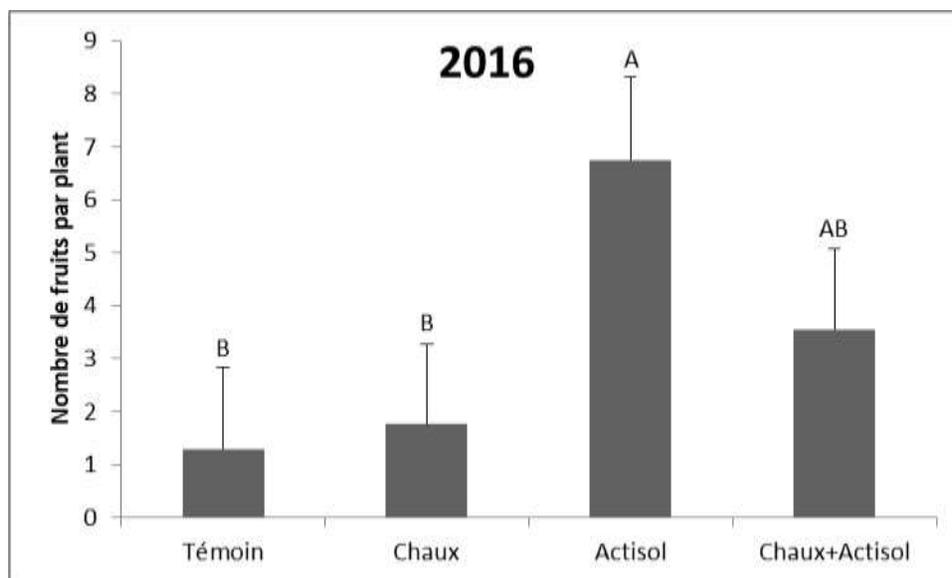


Figure 45. Relation entre les traitements de fertilisation et le nombre moyen de fruits par plant chez l'aralie en 2016

4.5. SUREAU PUBESCENT

Les résultats se divisent en plusieurs sections. Un portrait général par traitement des différents paramètres qui ont été mesurés est présenté en premier lieu. Suivent les analyses de corrélation entre les mesures de production de fruits et l'ouverture du couvert d'une part, et les traitements de fertilisation d'autre part. Les analyses de corrélation n'ont pu être réalisées qu'avec les données de 2017, car l'échantillonnage disponible en 2016 était trop restreint. En effet, en 2016, seuls 4 arbres disposent de données de production.

4.5.1. Portrait général

Le portrait présente la situation de l'ouverture du couvert et des variables de production de fruits. Le portrait des propriétés antioxydantes et nutritionnelles est présenté dans la section 4.6 pour les trois PFNL ensemble.

4.5.1.1 Ouverture du couvert

L'ouverture moyenne du couvert forestier pour le bloc 1 où l'on retrouve tous les sureaux à l'étude est de 23,2 %. L'écart-type est de 0,9, l'ouverture minimale de 15 % et l'ouverture maximale de 32%. Rappelons que ce bloc est le plus ouvert de tous (figure 32).

4.5.1.2 Production de fruits

Le tableau 13 présente le portrait des différentes variables décrivant la production de fruits, qui ont été mesurées en 2017 pour le sureau. Le portrait de 2016 n'est pas analysé, car il repose sur la récolte de 4 plants seulement. Un gel tardif fin juin 2016 a en effet entraîné l'absence de production de fruits chez la majorité des arbustes.

En 2017, on observe une moyenne de 87 grappes en fleurs par plant au printemps, 82 grappes en fruits au moment de la récolte, un poids moyen pour 1000 fruits de 39 g et une proportion de fruits mûrs lors de la récolte de 59%. La récolte a été un peu hâtive afin d'éviter que les fruits ne se fassent manger par les oiseaux qui en sont très friands.

L'abondance de la récolte en 2017 pourrait être en partie attribuable aux conditions climatiques particulièrement favorables à la production de fruits (pas de gel tardif ni de températures basses pendant la période de formation des fruits jusqu'à la récolte ayant eu lieu autour du 10 juillet 2017).

Tableau 13. Bilan des variables mesurées en 2017 pour le sureau par sous-bloc et traitement

Traitement	N	Nombre de grappes de fleurs par plant	Nombre de grappes de fruits par plant	Poids moyen pour 1000 fruits (g)	Proportion de fruits mûrs (%)
T	4	86 ± 65	81 ± 65	44 ± 21	56 ± 28
C	4	99 ± 69	92 ± 59	31 ± 5	42 ± 27
A	4	63 ± 63	46 ± 52	38 ± 10	85 ± 13
C+A	4	100 ± 49	108 ± 60	42 ± 10	66 ± 34
Global	16	87 ± 60	82 ± 60	39 ± 13	59 ± 29

Note : le traitement C+A a un nombre moyen de grappes de fruits supérieur au nombre moyen de grappes de fleurs. Cette situation est due au plant # 20 où l'on a compté 159 grappes avec des fleurs et 201 avec des fruits. Devant la quantité très importante de fruits, il semble qu'il y ait eu une erreur de comptage pour ce plant.

4.5.2. Ouverture du couvert forestier

Que ce soit pour **la proportion des grappes en fleurs qui portaient des fruits, le nombre moyen de fruits par grappe, le poids moyen des fruits et la proportion de fruits mûrs**, aucun effet significatif du couvert forestier n'a été mis en évidence sur ces variables.

4.5.3. Fertilisation

Que ce soit pour **la proportion des grappes en fleurs qui portaient des fruits, le nombre moyen de fruits par grappe, le poids moyen des fruits et la proportion de fruits mûrs**, aucun effet significatif du traitement de fertilisation n'a été mis en évidence sur ces variables.

4.6. PORTRAIT DES ANTIOXYDANTS ET DES PROPRIÉTÉS NUTRITIONNELLES DES TROIS FRUITS

Sont présentées tout d'abord les quantités moyennes produites en polyphénols et anthocyanes pour chacun des trois fruits à l'étude. Ces résultats sont comparés à ceux du bleuet. Suit une comparaison statistique des quantités de polyphénols et anthocyanes produites par le sureau et le maïanthème, en fonction des traitements de fertilisation. Le portrait des propriétés nutritionnelles du sureau et du maïanthème termine cette section.

4.6.1. Polyphénols totaux

Les trois fruits étudiés présentent des teneurs en polyphénols plus élevées que le bleuet, qui agit à titre de référence, étant reconnu pour sa forte composition en molécules antioxydantes. Parmi les trois fruits étudiés, le maïanthème présente la teneur en polyphénols totaux la plus élevée (325 mg GAE/g), suivi par l'aralie (304 mg GAE/g) et le sureau (276 mg GAE/g) (figure 46). La teneur en polyphénols du maïanthème est 18 % plus élevée que celle du sureau et 7 % plus élevée que celle de l'aralie. Le maïanthème du Canada, l'aralie à tige nue et le sureau rouge présentent des teneurs en polyphénols totaux respectivement 66 %, 55 % et 41 % plus élevées que le bleuet (figure 47). En termes de polyphénols totaux, les trois fruits étudiés présentent donc un potentiel fort intéressant.

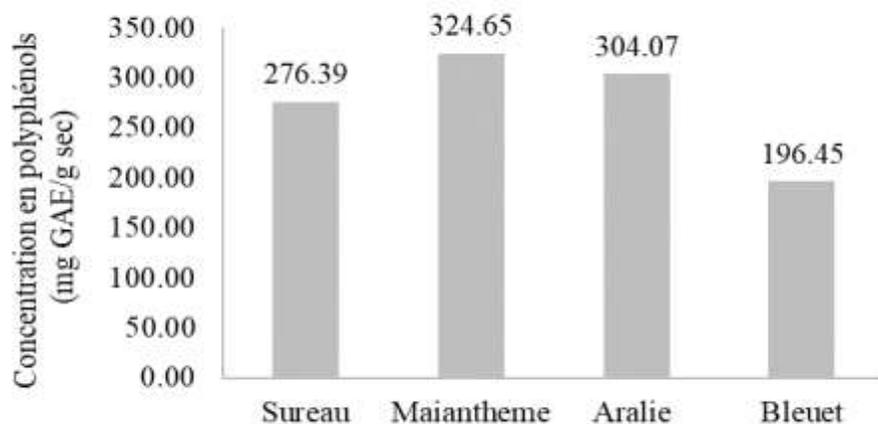


Figure 46. Concentration en polyphénols totaux pour les trois fruits étudiés et le bleuet

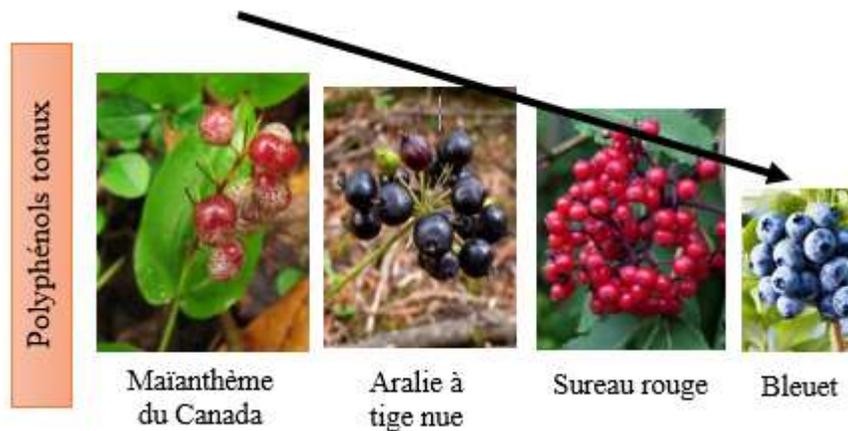


Figure 47. Représentation de la teneur en polyphénols totaux pour les trois fruits étudiés et le bleuet

4.6.2. Anthocyanes monomériques totales

En ce qui concerne les anthocyanes, l'aralie et le bleuet présentent tous deux une concentration en anthocyanes très similaire (0,427 mg CGE/g) et beaucoup plus élevée que le maïanthème (2 fois plus élevée) et le sureau (14 fois plus élevée) (figure 48 et figure 49).

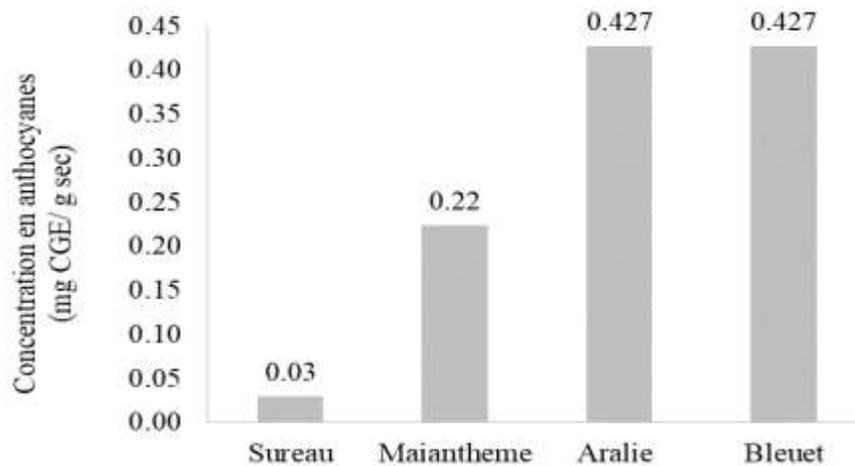


Figure 48. Concentration en anthocyanes pour les trois fruits étudiés et le bleuet



Figure 49. Représentation de la teneur en anthocyanes pour les trois fruits étudiés et le bleuet

4.6.3. Polyphénols et anthocyanes monomériques totaux en fonction des traitements de fertilisation

En ce qui concerne le sureau rouge, aucune différence significative n'est apparue pour la concentration en polyphénols totaux et en anthocyanes, en fonction des traitements de fertilisation ($p < 0,05$) (figure 50). Ainsi, la fertilisation apportée n'a pas d'incidence sur les quantités de polyphénols et d'anthocyanes produites chez le sureau.

Chez le maïanthème, les polyphénols totaux et les anthocyanes présentent des valeurs 10 % et 20 % plus élevées, respectivement, chez le traitement témoin comparativement au traitement recevant à la fois de la chaux et de l'Acti-Sol® (fertilisant). Toutefois, les analyses n'ont pas été conduites en plusieurs répétitions chez le maïanthème ce qui ne nous permet pas d'évaluer l'effet statistique des traitements sur la concentration en antioxydants chez cette espèce (figure 51).

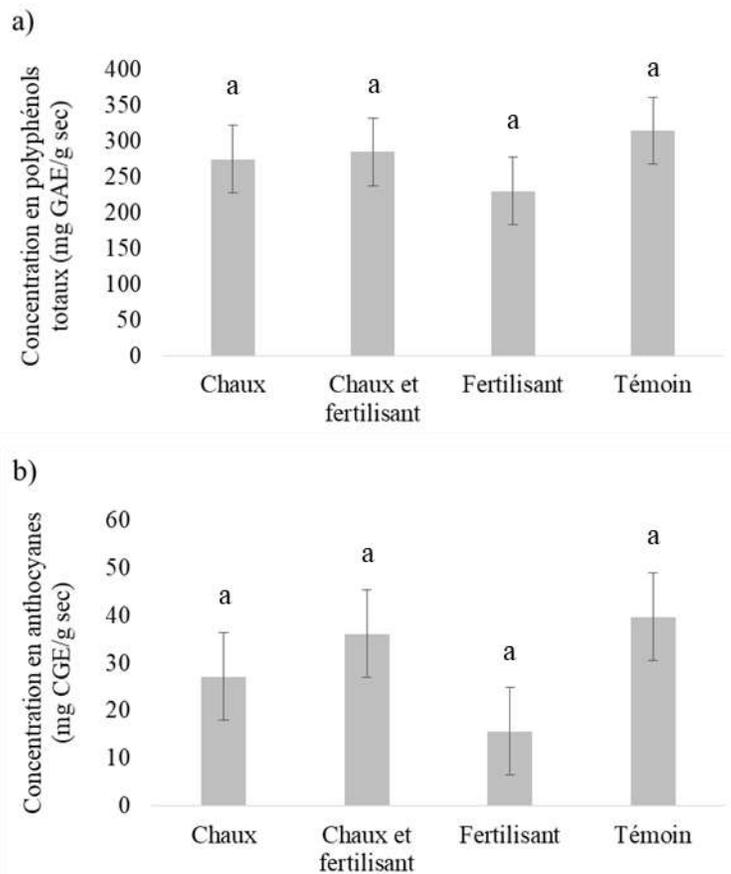


Figure 50. Concentration en antioxydants chez le sureau en fonction des amendements appliqués.
En a) concentration en polyphénols totaux et b) concentration et en anthocyanes

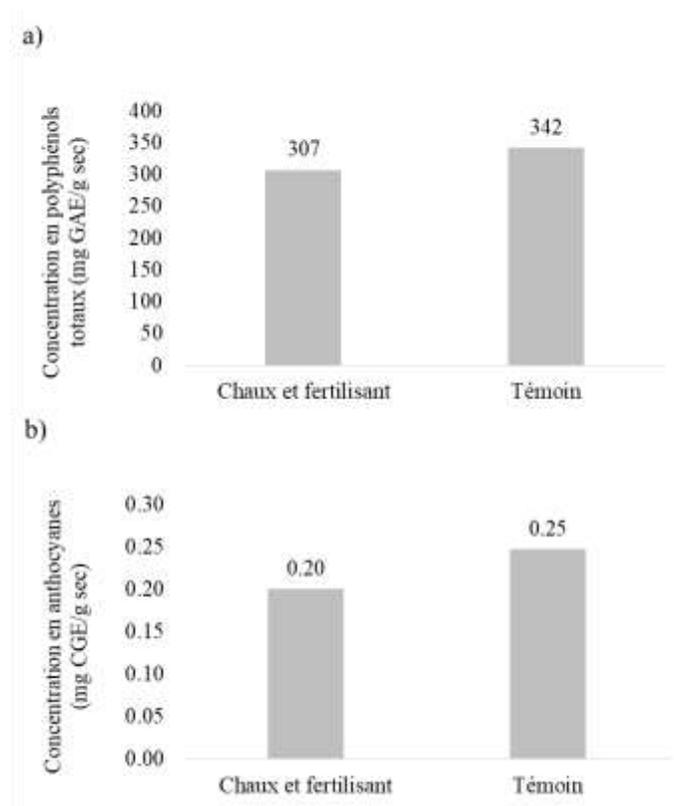


Figure 51. Concentration en antioxydants chez le maïanthème en fonction des amendements appliqués. En a) concentration en polyphénols totaux et b) concentration en anthocyanes

4.6.4. Propriétés nutritionnelles du sureau rouge et du maïanthème

Le tableau 14 présente les résultats des analyses. Les documents originaux des analyses sont présentés dans l'annexe 4. Les deux petits fruits étudiés présentent des concentrations élevées en fibres (8 et 12 g/100 g respectivement pour le sureau et le maïanthème) comparativement au bleuet qui contient 2,4 g/100 g. La valeur nutritionnelle du maïanthème du Canada est différente de celle du sureau rouge à plusieurs niveaux. La concentration en vitamine C est beaucoup plus élevée chez le maïanthème que chez le sureau. La teneur en vitamine C des deux fruits est beaucoup plus élevée que celle du bleuet qui se situe à 2,6 mg/100 g, mais plus faible que celle de l'orange (35 mg/100 g) et que celle du poivron rouge (128 mg/100 g) (USDA Food Products Database). La teneur en vitamine A des deux fruits est inférieure à celle du bleuet qui se situe à 54 UI/100 g, mais ceux-ci sont plus caloriques que le bleuet qui compte 57 Cal/100g. Le taux de sucre du maïanthème se rapproche de celui du bleuet (9 g/100 g) alors que le sureau présente un faible contenu en sucre (2 %). Évidemment, la teneur en gras des fruits est très faible. La teneur en calcium des deux fruits est plus élevée que celle du bleuet qui se situe à 6 mg/100 g, surtout en

ce qui concerne le sureau qui contient 123 mg/100g de calcium. De façon générale, les petits fruits étudiés présentent un portrait nutritionnel intéressant, notamment au niveau de leur contenu en fibres, en vitamine C pour le maïanthème et en calcium pour le sureau.

Tableau 14. Propriétés nutritionnelles du sureau rouge et du maïanthème

Composé	Unité	Sureau rouge	Maïanthème du Canada
Cendres	%	0.955	0.681
Cholestérol	mg/100g	<0.8	<0.8
Fibres alimentaires totales	g/100 g	8	12
Glucides	%	14.2	27.8
Énergie	(Cal/100g)	118	121
Énergie	(KJ/100g)	495	506
Gras total	g/100 g	5.06	0.07
Gras saturés	g/100 g	1.02	0.03
Gras monoinsaturés	g/100 g	2.18	0.01
Gras polyinsaturés	g/100 g	1.63	0.02
Gras trans	g/100 g	0.01	<0.01
Gras oméga 3	g/100 g	3	3
Gras oméga 6	g/100 g	6	6
Sucres totaux	%	2	10.1
Vitamine A	ER/100g	<6	<6
Vitamine A	UI/100g	22	<19
Vitamine C	mg/100g	4	23
Azote	%	0.63	0.36
Protéines	%	3.97	2.27
Calcium	mg/100 g	123	22
Fer	mg/100 g	1.4	0.6
Sodium	mg/100 g	1.2	<1.0
Humidité	%	75.8	69.2

5. DISCUSSION

5.1. MAÏANTHÈME DU CANADA

5.1.1. Influence de la présence d'un couvert sur la production de fruits

Les résultats indiquent que la présence d'un couvert trop dense et un manque important de lumière nuisent à la production de fruits. En effet, que ce soit le couvert des strates arborescentes et arbustives d'une part ou le couvert de la strate herbacée d'autre part, des effets significatifs de ces 2 variables ont été mis en évidence sur 2 indicateurs de la production de fruits : **la proportion de plants portant des fleurs qui ont produit des fruits et le nombre moyen de fruits par plant**. Ainsi, on observe une production moindre de fruits lorsque ces 2 couverts augmentent. Cet effet significatif s'est même confirmé durant les 2 années de mesures pour le nombre moyen de fruits par plant. L'autre variable n'a été mesurée qu'en 2017 et l'effet n'est donc documenté que pour une année.

Ainsi, même si le maïanthème est reconnu pour vivre dans les milieux ombragés et semi-ombragés (http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=MACA4, consulté le 1^{er} juin 2016), sa production de fruits est néanmoins favorisée dans un milieu avec un certain apport de lumière. Les hypothèses postulées sont donc confirmées.

De plus, si l'on compare les 2 sources de couvert testées (couvert des strates arbustive et arborescente d'une part, couvert de la strate herbacée d'autre part), la corrélation entre les 2 variables de production de fruits et les variables de couvert semble plus forte pour le couvert herbacé ($R^2 = 0,34$ et $0,47$ en 2017 pour la strate herbacée *versus* $R^2 = 0,20$ et $0,19$ pour le couvert forestier). Ainsi, la diminution de la production de fruits est davantage expliquée par la présence de la strate herbacée que la strate forestière. Ceci s'explique par le fait que la strate herbacée a un effet plus direct d'interception de la lumière sur les plants de petite taille.

Ainsi, si l'on souhaite ajuster l'ouverture du couvert pour favoriser une meilleure production de fruits, c'est le sous-bloc 4 qui représente les meilleures conditions de croissance. Basés sur les analyses statistiques, on peut alors utiliser les barèmes suivants :

- Une ouverture du couvert forestier supérieure à 15 % permettrait d'avoir au moins 20% des plants en fleurs qui produiront de 3 à 4 fruits. Si l'ouverture passe à 30%, ce sont alors 40% des plants en fleurs qui produiront environ 6 fruits par plant.
- Un taux de recouvrement de la compétition inférieur à 40% permettrait, quant à lui, d'avoir au moins 30% des plants en fleurs qui produiront 4 à 5 fruits par plant.

Comme le recouvrement de la compétition est plus facile à contrôler que le couvert forestier et qu'il est davantage corrélé à la production de fruits que le couvert forestier, il est recommandé de privilégier le contrôle de la compétition pour améliorer la production de fruits. Par contre, certaines espèces de compétition seront plus difficiles à contrôler que d'autres par le débroussaillage, en particulier celles qui dépassent de peu le maïanthème en hauteur, comme le cornouiller du Canada.

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H1- Le maïanthème étant une espèce de mi-ombre à ombre, la proportion de plants en fleurs qui ont produit des fruits est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre *versus* ombre).

VRAI, effet démontré en 2017 (voir figure 36).

- H2- Le nombre moyen de fruits par plant est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre *versus* ombre).

VRAI, effet démontré en 2016 et 2017 (voir figure 37).

- H5- La proportion des plants en fleurs qui ont produit des fruits est inversement proportionnelle au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.

VRAI, effet démontré en 2017 (voir figure 39).

- H6- Le nombre de fruits moyen par plant est inversement proportionnel au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.

VRAI, effet démontré en 2016 et 2017 (voir figure 40).

L'influence de la lumière sur **le poids des fruits** et la **proportion de fruits mûrs** n'a pu être mise en évidence en 2016, à cause de la méthode de récolte utilisée. En 2017, le couvert forestier ne semble pas avoir d'influence significative ni sur le poids des fruits ni sur la proportion de fruits mûrs. Par contre, le couvert herbacé a un effet significatif confirmé : plus la compétition herbacée est présente, plus le poids des fruits est élevé. Ainsi, avec 20% de recouvrement de la compétition, on obtient un poids moyen pour 1000 fruits de 60 g, et avec 80%, de 80 g. Une explication possible de ce résultat allant à l'encontre des hypothèses posées, est que sous une compétition herbacée dense et donc à l'abri de la lumière et de la chaleur, les fruits restent davantage gorgés d'eau et donc plus pesants. Par opposition, les fruits exposés à la lumière sont plus sujets à un dessèchement, entraînant une perte de poids.

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H3- Le poids moyen des fruits est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre *versus* ombre).

FAUX, aucun effet démontré en 2017.

- H4- La proportion de fruits mûrs est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert, pour autant qu'un couvert partiel soit maintenu (mi-ombre *versus* ombre).

FAUX, aucun effet démontré en 2017.

- H7- Le poids moyen des fruits est inversement proportionnel au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.

FAUX, effet contraire démontré en 2017 (voir figure 41).

- H8- La proportion de fruits mûrs est inversement proportionnelle au pourcentage de recouvrement de la compétition herbacée.

FAUX, aucun effet démontré en 2017.

5.1.2. Influence de la fertilisation sur la production de fruits

L'effet de la fertilisation sur la production de fruits de maïanthème est très ténu. L'apport d'**Acti-Sol®** seul ou accompagné de la chaux n'a produit aucun changement à la production de fruits.

L'absence d'effet de l'Acti-Sol® peut s'expliquer de plusieurs raisons :

- Le maïanthème étant une plante vivant dans les tourbières et les milieux pauvres (Lamoureux 2002), elle est peu exigeante en éléments nutritifs et l'ajout de fertilisant ne se fait alors pas sentir.
- Comme le maïanthème est une plante à croissance lente (7 ans de croissance avant de produire des fruits), ses besoins en nutriments sont probablement très peu élevés. Les nutriments déjà présents dans le sol ont donc été en mesure de répondre aux besoins de croissance et de production de la plante. Pour des plantes peu exigeantes, un surplus de nutriments peut aussi avoir un effet négatif sur les rendements. Étant donné que la fertilisation du maïanthème n'a, à notre connaissance, jamais été étudiée, il se peut aussi que la fertilisation effectuée n'ait pas été bien adaptée aux besoins réels de la plante. Il est également possible que la fertilisation ait favorisé la croissance végétative sans que ses effets soient perceptibles directement sur la production de fruits.

Seul l'ajout de **chaux** a eu un effet significatif sur le nombre de fruits produits par plant et a provoqué une diminution du nombre de fruits (environ 2 fois moins). Le maïanthème étant reconnu pour préférer les sols acides (pH de 4-5) (Lamoureux 2002), et les sols du dispositif étant caractérisés par un pH situé entre 4,9 et 5,4 (figure 19 à figure 23), l'ajout de chaux a pu augmenter légèrement le pH, et le nouveau pH convient alors moins aux conditions de culture du maïanthème. Cet effet est remarquable seulement en 2017, ce qui peut s'expliquer par le délai de libération de la chaux dans le sol. En effet, la chaux a été appliquée au printemps 2016, sous forme de granules et a été appliquée en surface. Ces facteurs contribuent à retarder son effet alcalinisant, ce qui pourrait expliquer l'absence de différence en 2016 au niveau de la production en fruits du maïanthème. On peut donc conclure que les conditions de sol présentes au Domaine du Bocage ne nécessitent pas d'apport de chaux ou d'Acti-Sol® pour améliorer la production de fruits de maïanthème et qu'un apport en chaux doit être évité afin de conserver les conditions acides du sol qui prévalent sur la propriété.

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H9- Le maïanthème étant une espèce acidophile, la proportion de plants en fleurs qui ont produit des fruits diminue avec l'ajout de chaux.
FAUX, aucun effet démontré en 2016 et 2017.
- H10- La proportion de plants en fleurs qui ont produit des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2016 et 2017.
- H11- Le nombre moyen de fruits par plant diminue avec l'ajout de chaux.
VRAI, effet démontré en 2017 (voir figure 42).
- H12- Le nombre moyen de fruits par plant augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2016 et 2017.
- H13- Le poids moyen des fruits diminue avec l'ajout de chaux.
FAUX, aucun effet démontré en 2016 et 2017.
- H14- Le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2016 et 2017.
- H15- La proportion de fruits mûrs diminue avec l'ajout de chaux.
FAUX, aucun effet démontré en 2016 et 2017.
- H16- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2016 et 2017.

5.2. ARALIE À TIGE NUE

5.2.1. Influence de la présence d'un couvert forestier sur la production de fruits

Les résultats confirment que la présence d'un couvert arbustif et arborescent limitant l'apport de lumière aux plants d'aralie a un effet significatif négatif sur la **proportion des ombelles portant des fleurs qui produiront des fruits et sur le nombre moyen de fruits par plant**. Cet effet est par contre seulement remarquable en 2016 et le niveau de corrélation entre les différentes variables à l'étude est faible, voire très faible (R^2 de 0,11 et 0,04). Selon la littérature consultée, l'aralie affectionne les conditions qualifiées d'ombre à mi-ombre²¹ ou de mi-ombre à ensoleillée²² dépendamment des sources. Elle serait donc plutôt ubiquiste. Les résultats du projet confirment donc les hypothèses posées et mettent en évidence une influence, mais plutôt limitée par contre, de la lumière sur la production de fruits d'aralie en sous-bois.

Si l'on souhaite ajuster l'ouverture du couvert pour favoriser une meilleure production de fruits, ce sont les sous-blocs 1 et 2 qui représentent les meilleures conditions de croissance. Ainsi, basé sur les analyses statistiques, on peut utiliser les barèmes suivants. Ils sont par contre à utiliser avec prudence, car seule une année de mesures sur deux a montré une relation significative et la corrélation entre les 2 variables reste faible :

- Une ouverture du couvert forestier supérieure à 15 % permettrait d'avoir au moins 30% des ombelles en fleurs qui produiront des fruits. Si l'ouverture passe à 30%, ce sont alors 60% des ombelles en fleurs qui produiront des fruits.

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H17- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, la proportion d'ombelles en fleurs qui ont produit des fruits est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.

VRAI, effet démontré en 2016 (voir figure 43).

- H18- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, le nombre moyen de fruits par plant est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.

VRAI mais faible corrélation, démontré en 2016 (voir figure 44).

²¹ <http://espacepourlavie.ca/flore-biodome/aralie-tige-nue>, consulté le 6 juin 2016

²² http://fr.hortipedia.com/wiki/Aralia_nudicaulis, consulté le 8 juillet 2016

L'influence de la lumière sur le **poids des fruits d'aralie** et la **proportion de fruits mûrs** n'ont pu être mises en évidence ni 2016 à cause de la méthode de récolte utilisée, ni 2017 à cause de l'échantillonnage trop réduit.

Il est donc possible de répondre à l'hypothèse suivante :

- H19- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, le poids moyen des fruits est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.

NON DÉMONTRÉ

- H20- L'aralie étant une espèce de mi-ombre se trouvant également en conditions ensoleillées, la proportion de fruits mûrs est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.

NON DÉMONTRÉ

5.2.2. Influence de la fertilisation sur la production de fruits

L'effet de la fertilisation sur la production de fruits de l'aralie est ténu, tout comme pour le maïanthème. Seul l'ajout **d'Acti-Sol®** a eu un effet significatif sur le nombre de fruits produits par plant et a provoqué une augmentation importante du nombre de fruits par rapport aux traitements témoin et avec chaux seule (1 à 2 fruits par plant pour le témoin et la chaux *versus* 6 à 7 pour l'Acti-Sol®). Cet effet bénéfique ne s'est fait sentir par contre que durant l'année de l'application, en 2016. En 2017, aucun effet significatif n'est présent. Les éléments fertilisants incorporés en 2016 ont été en grande partie assimilés ou libérés dans l'environnement durant cette même année de croissance. C'est pourquoi aucun effet de fertilisation n'a été observé l'année suivante. Par contre, lorsque l'Acti-Sol® est combiné à la chaux, son effet n'est plus significatif par rapport au témoin. Ainsi, si l'on souhaite augmenter le nombre de fruits produits par plant chez l'aralie, l'ajout d'un fertilisant du type fumier de poule comme l'Acti-Sol® est recommandé, à raison d'une application à renouveler chaque année.

L'absence d'effet de la **chaux** peut s'expliquer par la présence au Domaine du Bocage, de conditions de pH satisfaisantes pour l'aralie. Elle préfère en effet les sols acides à neutres (pH 5 à 7,2)²³ et le pH relevé dans les différents blocs varie entre 4,9 et 5,4, correspondant à des conditions considérées favorables pour l'aralie (figure 19 à figure 23).

²³ http://fr.hortipedia.com/wiki/Aralia_nudicaulis, consulté le 8 juillet 2016

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H21- L'aralie étant une espèce préférant les sols acides à neutres (pH optimum de 5 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), la proportion d'ombelles en fleurs qui ont produit des fruits augmente avec l'ajout de chaux.

FAUX, aucun effet démontré en 2016.

- H22- La proportion d'ombelles en fleurs qui ont produit des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.

FAUX, aucun effet démontré en 2016.

- H23- L'aralie étant une espèce préférant les sols acides à neutres (pH optimum de 5 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le nombre moyen de fruits par plant augmente avec l'ajout de chaux.

FAUX, aucun effet démontré en 2016.

- H24- Le nombre moyen de fruits par plant augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.

VRAI, effet démontré en 2016.

- H25- L'aralie étant une espèce préférant les sols acides à neutres (pH optimum de 5 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout de chaux.

FAUX, aucun effet démontré en 2016.

- H26- Le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.

FAUX, aucun effet démontré en 2016.

- H27- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout de chaux.

FAUX, aucun effet démontré en 2016.

- H28- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.

FAUX, aucun effet démontré en 2016.

5.3. SUREAU PUBESCENT

Durant l'année 2016, seuls 4 des 24 plants de sureau ont produit des fruits, à cause d'un gel tardif à la fin du mois de juin. L'interprétation des résultats repose donc uniquement sur la récolte de 2017.

5.3.1. Influence de la présence d'un couvert forestier sur la production de fruits

Aucun effet significatif de l'ouverture du couvert sur les différentes variables de production de fruits n'a été mis en évidence. Cela signifie qu'à l'échelle du spectre d'ouverture de couvert testé (de 15 à 32 % environ), l'apport de lumière n'a pas d'incidence sur la production de fruits. La littérature mentionne que le sureau pousse mieux en plein soleil, mais qu'il peut tolérer une certaine quantité d'ombre²⁴. Selon ce projet, aussi peu que 15% d'ouverture du couvert remplissent des conditions de lumière qui permettent une production en fruits équivalente au double de l'ouverture (32%). L'année 2017 semble avoir été par contre, une année exceptionnelle pour la production en fruits de sureau (Chantale Levesque, communication personnelle). Il est donc possible que l'effet de l'ouverture du couvert ait été masqué par d'autres facteurs qui ont contribué à une production exceptionnelle (ex. conditions climatiques très favorables, pic dans le cycle de production chez le sureau, etc.).

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H29- Le sureau étant une espèce de lumière, la proportion de grappes en fleurs qui ont produit des fruits est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H30- Le sureau étant une espèce de lumière, le nombre moyen de fruits par grappe est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H31- Le sureau étant une espèce de lumière, le poids moyen des fruits est supérieur en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H32- Le sureau étant une espèce de lumière, la proportion de fruits mûrs est supérieure en présence d'une plus grande ouverture du couvert.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.

²⁴ <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/agroforesterie/planification-et-etablissement-des-brise-vent/choix-des-essences-d-arbres-et-d-arbustes/sureau-rouge/?id=1345845931784>, consulté le 8 juin 2016

5.3.2. Influence de la fertilisation sur la production de fruits

Aucun effet significatif des différents traitements de fertilisation n'a été mis en évidence sur les variables de production de fruits.

L'absence d'effet de la **chaux** est contraire aux hypothèses posées, car le sureau rouge est reconnu pour préférer les sols à pH quasi neutre (6,8-7,2)²⁵. Or les sols du Domaine du Bocage sont acides, avec un pH compris entre 4,9 et 5,4 (figure 19 à figure 23). Le fait que l'application de chaux ait été réalisée au printemps, plutôt qu'à l'automne précédent et qu'elle soit appliquée en surface sont des facteurs qui ralentissent la rapidité de l'alcalinisation du sol. De plus, le sureau est un arbuste dont les racines sont profondes comparativement aux plantes herbacées. Ainsi, la chaux appliquée en surface n'a peut-être pas permis de corriger l'acidité du sol en profondeur et les racines de sureau n'ont pas pu bénéficier de cet ajout. Tout comme pour l'ouverture du couvert forestier, il est donc possible que l'effet de la fertilisation ait été masqué par d'autres facteurs qui ont contribué à une production exceptionnelle (ex. conditions climatiques très favorables, pic dans le cycle de production chez le sureau, etc.).

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H33 - Le sureau étant une espèce préférant les sols neutres (pH optimum de 6,8 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), la proportion de grappes en fleurs qui ont produit des fruits augmente avec l'ajout de chaux.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H34- La proportion de grappes en fleurs qui ont produit des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H35- Le sureau étant une espèce préférant les sols neutres (pH optimum de 6,8 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le nombre moyen de fruits par grappe augmente avec l'ajout de chaux.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H36- Le nombre moyen de fruits par grappe augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H37 -Le sureau étant une espèce préférant les sols neutres (pH optimum de 6,8 à 7,2 et pH du site variant entre 4,9 et 5,5), le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout de chaux.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H38- Le poids moyen des fruits augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.

²⁵ http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=SARAR3, consulté le 8 juin 2016

- H39- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout de chaux.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H40- La proportion de fruits mûrs augmente avec l'ajout d'Acti-Sol®.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.

5.3.3. Propriétés antioxydantes des trois PFNL à l'étude

Les trois PFNL à l'étude ont des teneurs en polyphénols totaux supérieures à celle du bleuet, ce qui laisse présager des propriétés intéressantes pour la santé. Les anthocyanes faisant partie de la famille des polyphénols et donc des molécules antioxydantes ont, elles aussi, des propriétés intéressantes. Des propriétés médicinales ont déjà été mises en évidence, notamment des propriétés anti-cancer sur plusieurs types de cancer (leucémie, cancer du côlon et du cervix) pour l'aralie (Wang *et al.*, 2006) et des effets antiviraux chez le sureau (100% d'inhibition) sur le virus respiratoire syncytial qui provoque des infections respiratoires chez les jeunes enfants (McCutcheon *et al.*, 1995). Or, l'aralie et le maïanthème présentent également des teneurs élevées en anthocyanes, se rapprochant de la concentration en anthocyanes du bleuet. Quant au maïanthème, il est utilisé par les premières nations pour soigner les migraines (Uprety *et al.*, 2016).

5.3.4. Influence de la fertilisation sur les antioxydants

L'effet de différents traitements de fertilisation sur les antioxydants a été testé uniquement chez le sureau rouge. Aucun effet significatif de la fertilisation n'a été mis en évidence sur la production des fruits du sureau, en particulier les propriétés antioxydantes des fruits. Étant donné que plusieurs facteurs tels que l'ensoleillement, la pluviométrie, le moment de récolte et d'autres stress environnementaux peuvent influencer la qualité des fruits, il est possible que ceux-ci aient eu un certain effet durant l'expérimentation et qu'ils pourraient expliquer l'absence de différence significative observée entre les traitements de fertilisation chez le sureau. Il peut donc être important de considérer l'ensemble des pratiques culturales d'un site afin d'élaborer une régie permettant d'optimiser la concentration en métabolites secondaires des petits fruits produits.

Il est donc possible de répondre aux hypothèses suivantes :

- H41- L'ajout de chaux, en favorisant la croissance et le rendement, diminuerait la concentration des fruits en antioxydants.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.
- H42- L'Acti-Sol® étant un amendement riche en azote (5 %), il favoriserait la croissance et la production de fruits et les fruits produits seraient alors moins riches en composés secondaires tels que les composés phénoliques.
FAUX, aucun effet démontré en 2017.

6. RECOMMANDATIONS

Huit recommandations sont formulées et regroupées en différentes catégories.

Suivi du dispositif expérimental :

1. Il serait fort pertinent de continuer à faire le suivi du dispositif sur une plus longue période, car cela permettrait de préciser certaines hypothèses de recherche qui n'ont pu être répondues après 2 années de suivi ou mériteraient d'être confirmées. Ainsi, par exemple, mentionnons que la grande variabilité de la production de fruits entre les 2 années de suivi (les 3 PFNL ont tous eu une mauvaise année de récolte durant les 2 années du projet), et les faibles récoltes obtenues dans certains cas ont rendu certaines analyses impossibles à réaliser. Les délais d'alcalinisation du sol suite à l'application de la chaux sont aussi peut-être responsables de l'absence d'effets significatifs mis en évidence. Enfin, en ce qui concerne l'apport d'Acti-Sol®, comme il est en grande partie assimilé ou libéré dans l'environnement durant l'année d'application, il pourrait être intéressant de renouveler son application sur plusieurs années consécutives, afin de confirmer ou non la présence d'un effet bénéfique sur les rendements en fruits.
2. Il serait intéressant de documenter les cycles internes de production de fruits chez l'aralie et le maïanthème, qui ne semblent pas constants tous les ans.
3. Puisque l'application de chaux peut prendre du temps à être effective, un suivi de l'acidité du sol à moyen terme et des apports supplémentaires en chaux au besoin pourraient améliorer la performance agronomique du sureau rouge et potentiellement de l'aralie.

Régie de cultures et stratégie de production de fruits :

4. Pour le maïanthème du Canada :
 - a. L'apport de lumière sous un couvert partiel est recommandé. Le contrôle de la compétition herbacée dans les sites choisis pour la récolte serait la première action à entreprendre, car il assure une meilleure production en fruits. Une ouverture partielle du couvert forestier située autour de 30% (ouverture maximale testée dans le cadre du projet) favorise aussi la production en fruits (davantage de fleurs qui portent des fruits et de nombre de fruits par plant).
 - b. Aucune application de chaux n'est recommandée sur ce site.

5. Pour l'aralie à tige nue :

- a. L'apport de lumière est recommandé. Une ouverture partielle du couvert forestier située autour de 30% (ouverture maximale testée dans le cadre du projet) favorise la production en fruits (davantage d'ombelles en fleurs qui portent des fruits et de nombre de fruits par plant).
- b. La poursuite de la fertilisation à l'Acti-Sol® est recommandée sur plusieurs années, puisque son effet n'est visible que sur l'horizon de l'année d'application.

6. Pour le sureau rouge :

- a. Une nouvelle application de chaux serait recommandée afin de poursuivre l'atteinte d'un pH plus près de la neutralité. L'incorporation de la chaux dans le sol (et non pas seulement en surface) et l'utilisation de chaux vive pourraient permettre d'augmenter la rapidité de l'effet chaulant. Une vérification du pH (0-20 cm) peut être réalisée pour valider l'atteinte du pH cible.

7. Il pourrait être intéressant de valider l'effet d'une fertilisation plus élevée en fractionnant les apports en éléments fertilisants dans le temps, pour les espèces étudiées.

Débouchés pour les PFNL à l'étude :

8. Les analyses nutritionnelles et des antioxydants ont confirmé que les trois PFNL à l'étude présentent un potentiel fort intéressant pour les consommateurs qui cherchent à intégrer à leur alimentation des aliments riches en molécules bioactives (polyphénols, anthocyanes, vitamine C, vitamine A), en particulier le maïanthème du Canada et l'aralie, qui sont méconnues et dont leurs propriétés les classent aussi intéressantes, voire plus que le bleuet. Il est donc recommandé de faire la promotion des produits développés à partir de ces petits fruits.

7. CONCLUSION

L'implantation et le suivi sur 2 années de croissance d'un dispositif expérimental à la ferme le Domaine du Bocage, visait à étudier la production en fruits de 3 PFNL peu connus au Québec et représentant un créneau novateur pour le développement de la filière économique des PFNL : le maïanthème du Canada, l'aralie à tige nue et le sureau rouge. En testant différentes conditions d'ouverture de couvert, et traitements de fertilisation, il a été possible de documenter la performance en rendement des fruits de ces espèces en fonction des variables du milieu. Ainsi, l'ouverture du couvert forestier influence favorablement la production en fruits du maïanthème et de l'aralie, alors qu'elle n'a pas d'effet chez le sureau dans les conditions étudiées. En ce qui concerne l'apport de fertilisants, les seules conclusions qui peuvent être tirées sont que la chaux réduit la production fruitière du maïanthème alors que l'Acti-Sol® augmente celle de l'aralie. L'évaluation des propriétés antioxydantes et nutritionnelles des PFNL à l'étude confirme qu'ils ont un potentiel fort intéressant pour les consommateurs qui cherchent à intégrer à leur alimentation des aliments riches en molécules bioactives (polyphénols, anthocyanes, vitamine C, vitamine A), en particulier le maïanthème du Canada et l'aralie, qui sont méconnus et dont leurs propriétés les classent aussi intéressantes, voire plus que le bleuet.

Ainsi, grâce à cette expérimentation, il est déjà possible, après 2 années de suivi, de faire certaines recommandations concernant la régie de culture des trois PFNL à l'étude, en vue d'optimiser leurs rendements en fruits. De plus, il serait fort pertinent de continuer à faire le suivi du dispositif sur une plus longue période, car cela permettrait de préciser certaines hypothèses de recherche qui n'ont pu être répondues après 2 années de suivi, étant donné la grande variabilité de la production de fruits selon les années et les délais d'alcalinisation du sol suite à l'application de la chaux par exemple.

8. RÉFÉRENCES

- Ainsworth, E. A., et K. M. Gillespie. 2007. *Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent*. *Nature Protocols*, 2(4), 875-877.
- Andres-Lacueva, C., B. Shukitt-Hale, R. L. Galli, O. Jauregui, R. M. Lamuela-Raventos, et J. A. Joseph. 2005. *Anthocyanins in aged blueberry-fed rats are found centrally and may enhance memory*. *Nutritional Neuroscience*, 8(2), 111-120.
- Bélanger, L., S. Paquette, S. Morel, J. Bégin, P. Meek, L. Bertrand, P. Beauchesne, S. Lemay et M. Pineau. 1995. *Indices de qualité de station du sapin baumier dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc humide*. *For. Chron.* 71-3. 317-325.
- Cardona, F., C. Andrés-Lacueva, S. Tulipani, F. J. Tinahones, et M. I. Queipo-Ortuño. 2013. *Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health*. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 24(8), 1415-1422.
- CRAAQ. 2014. *Guide de production du bleuets sauvage*. 245 p. Disponible en ligne à : https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-de-production-du-bleuet-sauvage/p/PAUT0108-PDF#tab_tab3[https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-de-production-du-bleuet-sauvage/p/PAUT0108-PDF - tab_tab3](https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-de-production-du-bleuet-sauvage/p/PAUT0108-PDF-tab_tab3)
- CRAAQ. 2010. *Guide de référence en fertilisation, 2^e édition*. 473 p. ISBN : 978-2-7649-0231-8.
- Desjardins, Y. 2015. *Are organically grown fruits and vegetables nutritionally better than conventional ones? Revisiting the question with new eyes*. In *International Symposium on Innovation in Integrated and Organic Horticulture*, 1137:187-200.
- Dion, P-P., S. Pépin, M. Thériault et M. Dorais. 2017. *Taux de minéralisation de cinq fertilisants couramment utilisés en serriculture au Québec*. Colloque Bio, cultures abritées maraichères et nouveaux systèmes de production. Sainte-Julie, Québec.
- Girard, F. 2013. *Secrets de plante 2*. Les Éditions JCL. 214 p.
- Holton, T. A., et E. C. Cornish. 1995. *Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis*. *The Plant Cell*, 7(7), 1071.
- Lamoureux, G. 2002. *Flore Printanière*. Fleurbec Éditeur, Saint-Henri-de-Lévis, Québec. 576 p.
- Lau, F. C., D. F. Bielinski, et J. A. Joseph. 2007. *Inhibitory effects of blueberry extract on the production of inflammatory mediators in lipopolysaccharide-activated BV2 microglia*. *Journal of Neuroscience Research*, 85(5), 1010-1017.
- Leboeuf, M. 2007. *Arbres et plantes forestières du Québec et des maritimes*, Éditions Michel Quintin, 392 p.

- Lee, J., R. W. Durst et R. E. Wrolstad. 2005. *Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study*. Journal of AOAC international, 88(5), 1269-1278.
- LeGal, G. 2009. *Aventure sauvage, de la cueillette à l'assiette*. Marcel Broquet Éditeur. 198 p.
- Marie-Victorin. 2002. *La flore laurentienne*. 3^e édition. 925 p.
- McCutcheon, A. R., T. E. Roberts, E. Gibbons, S. M. Ellis, L. A. Babiuk, R. E. W. Hancock et G. H. N. Towers. 1995. *Antiviral screening of British Columbian medicinal plants*. Journal of Ethnopharmacology, 49(2), 101-110.
- Middleton, E., C. Kandaswami et T. C. Theoharides. 2000. *The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer*. Pharmacological Reviews, 52(4), 673-751.
- Puupponen-Pimiä, R., L. Nohynek, C. Meier, M. Kähkönen, M. Heinonen, A. Hopia et K. M. Oksman-Caldentey. 2001. *Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries*. Journal of applied microbiology, 90(4), 494-507.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier. 1998. *Les paysages régionaux du Québec méridional*. Direction de la gestion des stocks forestiers et direction des relations publiques du ministère des Ressources naturelles du Québec. Les Publications du Québec. 213 p.
- Rompré, M. et M. Gagnon, 2000. *Les terres cultivées de la MRC de la Côte-de-Beaupré*. Étude pédologique 40. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. 132 p.
- Seeram, N. P., L. S. Adams, Y. Zhang, R. Lee, D. Sand, H. S. Scheuller et D. Heber. 2006. *Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells in vitro*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(25), 9329-9339.
- Uprety, Y., A. Lacasse et H. Asselin. 2016. *Traditional uses of medicinal plants from the Canadian boreal forest for the management of chronic pain syndromes*. Pain Practice, 16(4), 459-466.
- Wang, J., Q. Li, G. Ivanochko et Y. Huang. 2006. *Anticancer effect of extracts from a North American medicinal plant-wild sarsaparilla*. Anticancer Research, 26(3A), 2157-2164.
- Willis, L. M., B. Shukitt-Hale et J. A. Joseph. 2009. *Modulation of cognition and behavior in aged animals: role for antioxidant-and essential fatty acid-rich plant foods*. The American Journal of Clinical Nutrition, 89(5), 1602S-1606S.
- Willis, L. M., B. Shukitt-Hale et J. A. Joseph. 2009. *Recent advances in berry supplementation and age-related cognitive decline*. Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care, 12(1), 91-94.

ANNEXE 1. ANALYSE DÉTAILLÉE DES PEDONS

Les informations décrivant les séries de sols sont présentées à la fin de cette annexe.

Secteur du bloc 1

Quelques éléments de synthèse :

- Bon sol pour la production forestière, profond, bien drainé, peu pierreux
- Sapinière à bouleau blanc
- Présence du cortège des acidiphiles et du sureau rouge.

Humus	Humique 1 cm Fibrique 3 cm	
Ae	5 cm (gris)	
Bhf ?	2 cm brun foncé	29 cm
Bf1 ?	9 cm brun jaune foncé	
Bf2 ?	18 cm brun jaune foncé	
C	graveleux	
Profondeur des racines	54 cm	
Présence de mouchetures	Quelques-unes 64 cm	
Nappe phréatique	Absente	
Classe de drainage	bien drainé (2)	Peut-être 3, présence de mouchetures.
Texture et pierrosité	Sablonneuse 15-20%	Légèrement lité et trié : concentration dans les 30 premiers cm puis gravelat au fond du pédon.
Type écologique	MS11	MS11-MS21 ?
Couvert	Sapin baumier, bouleau blanc	
Végétation de sous-bois	<i>Acidiphiles, Cornus canadensis, Maianthemum canadense, Trientalis borealis, etc.</i>	Production de petits fruits de <i>Maianthemum</i>
Série de sol associée (hypothèse)	Périgny Podzol humo-ferrique orthique	Justification : Fluvio-glaciaire, pas de nappe phréatique, pierrosité entre 15-40%, présence de pierres voir photo.



Figure 1. Profil général du pédon, bloc 1



Figure 2. Pierrosité du pédon, bloc 1



Figure 3. Couverture de plantes, bloc 1

Secteur du bloc 2

Quelques éléments de synthèse :

- Bon sol pour la production forestière, profond, bien drainé, peu pierreux
- Sapinière à bouleau blanc
- Présence du cortège des acidiphiles
- Présence abondante du maianthème.

Humus	8 cm (3 cm fibrique)	
A	9 cm	
Bf1?	10 cm brun foncé	
Bf2?	25 cm brun rouge	
C		
Profondeur des racines	34 cm	
Présence de mouchetures	44 cm 52 cm abondantes	
Nappe phréatique	77 cm	
Classe de drainage	Modérément bon (3)	Pas de nappe dans l'horizon A et B, mais présente. Mouchetures autour de 50 cm.
Pierrosité	Autour 10%	
Type écologique	MS11	MS21?
Couvert	Sapin baumier, bouleau blanc	
Végétation de sous-bois	<i>Acidiphiles, Cornus canadensis, Maianthemum canadense, Trientalis borealis, etc.</i>	Production de petits fruits de <i>Maianthemum</i>
Série de sol associée (hypothèse)	Éternité	Justification: drainage modéré, pas de pierre et blocs, charge présente entre 10 et 15%



Figure 4. Profil du pédon, bloc 2



Figure 5. Pierrosité du pédon, bloc 2



Figure 6. Couverture de plantes, bloc 2

Secteur du bloc 3

Quelques éléments de synthèse :

- Sol humide
- Pessière à épinette noire à mousses hypnacées et herbacées
- Présence du cortège des acidiphiles (ex. : *Vaccinium*) et des plantes associées à l'épinette noire
- Présence abondante du maïanthème
- Présence de l'aralie en bordure du peuplement, près du canal de ruissellement

Humus	6 cm	fibrique
A	19 cm	
Bhg	13 cm	
Cg		Texture plus loameuse Mais très caillouteux et horizon avec concrétions présentes à 77cm
Profondeur des racines	44 cm	
Présence de mouchetures et marbrures		Difficiles à observer
Nappe phréatique	48 cm	
Classe de drainage	Mauvais (5)	Mais ne semble pas y avoir d'affleurement d'eau et pas de sphaigne.
Pierrosité	10-15%	À 77 cm très caillouteux, plus compact, obstacle à l'écoulement de l'eau ?
Type écologique	MS11	MS14
Couvert	Pessière à épinette noire	
Végétation de sous-bois	Mousses hypnacées (<i>Pleurozium schreberi</i>) et acidiphile. <i>Vaccinium</i> et épinette noire En plus des acidiphiles.	
Série de sols associée (hypothèse)	Placide	Justification : drainage mauvais, assez caillouteux



Figure 7. Profil de sol, bloc 3



Figure 8. Pierrosité du pédon, bloc 3



Figure 9. Couverture de plantes avec mousses hypnacées, bloc 3

Secteur du bloc 4

Quelques éléments de synthèse :

- Potentiel modéré pour la production forestière, drainage imparfait, peu pierreux
- Sapinière à sapin baumier et bouleau blanc
- Présence du cortège des acidiphiles
- Bonne présence d'aralie

Humus	5 cm	Assez fibrique
Ah	3 cm	
Bf1	18 cm rouge	
Bf2	18 cm ocre	
Cgj	olive	
Profondeur des racines	50 cm	
Présence de mouchetures	Pas de mouchetures visibles observées.	
Nappe phréatique	59 cm	
Classe de drainage	Imparfait (4)	
Pierrosité	5% cailloux	1 grosse pierre à 30 cm
Type écologique		
Couvert	Sapinière à bouleau blanc	
Végétation de sous-bois	Acidiphiles, <i>Cornus canadensis</i> , <i>Maianthemum canadense</i> , etc.	Production de petits fruits de <i>Maianthemum</i>
Série de sols associée (hypothèse)	Comporté	Justification : Fluvio-glaciaire, pierrosité faible, sableux, voir photo.



Figure 10. Profil du pédon, bloc 4



Figure 11. Pierrosité du pédon, bloc 4

Secteur du bloc 5

Quelques éléments de synthèse :

- Bon sol pour la production forestière, profond, bien drainé, peu pierreux
- Sapinière à bouleau blanc et érable rouge
- Présence du cortège des acidiphiles, mais aussi quelques plantes de l'érablière
- Présence abondante de maianthème et d'aralie

Humus	1 cm litière 4 cm	Humimor ?
Ae	3 cm	
Bhf	3 cm brun rouge	
Bf1	16 cm rouge	
Bf2	17 cm plus orangé	
C	olive	
Profondeur des racines	60 cm	
Présence de mouchetures	Aucune visible	
Nappe phréatique	À 1 m.	(pluie ?)
Classe de drainage	Bon (2)	
Pierrosité	< 5%	Cailloux plus 1 grosse pierre
Type écologique	MS11	MS11
Couvert	Sapinière à érable rouge	
Végétation de sous-bois	Acidiphiles, <i>Cornus canadensis</i> , <i>Maianthemum canadense</i> , <i>Trientalis borealis</i> , etc.	Production de petits fruits de <i>Maianthemum</i>
Série de sols associée (hypothèse)	Sagard (ou Éternité?)	Justification : Fluvio-glaciaire, pas de nappe phréatique, faible pierrosité voir photo.



Figure 12. Profil du pédon, bloc 5



Figure 14. Pierrosité du pédon, bloc 5



Figure 15. Couverture de plantes, bloc 5

Description des séries de sols (Rompré et Gagnon, 2000).

Tableau 9. Caractéristiques morphologiques « terrain » des dépôts fluvio-glaciaires, fluviatiles, fluvio-lacustres, fluvio-marins, deltaïques et les épandages fluvio-glaciaires.

Séries	Dépôts	Texture	Fragments grossiers		Drainage	Réaction (pH)	Remarques	
			Charge	Type				
Périgny	Fluvio-glaciaire	S-SL-LS	- 15-60%	Graviers, cailloux, pierres, blocs	R	Acide	Ces séries sont issues de dépôts plus ou moins triés, lités, renfermant généralement des lits de magnétite, des concrétions et parfois des débris de cimentation (ortstein). Leurs différences proviennent davantage de la charge en fragments grossiers, du type de fragments et de leur arrangement. La position dans le paysage et la forme de terrain sont également des facteurs de différenciation. Toutes ces séries sont situées en secteur montagneux.	
Éternité			- 15-40%	Graviers, cailloux	R			
Placide					M (nappe)			
Sagard				0%				R
Comporté			Fluvio-glaciaire (épandage)	10% (base)	Cailloux, pierres			M-TM (nappe)
Persil	Fluvio-glaciaire (kame)	St-SL	0%		B-R			
Hilarion					B-R			
Dumas					M-TM (nappe)			
Misère	Fluviatile (deltaïque)	LSI-St						
Irénée	Fluviatile/til		20-30% (base)	Graviers, cailloux	B-MB			Sur till entre 60 et 80 cm

ANNEXE 2. FORMULAIRES D'INVENTAIRE

MESURES DE LA COMPÉTITION HERBACÉES EXERCÉES SUR LE MAÏANTHÈME (EXTRAIT)											Évaluateur :			Date :							
No ligne	Essence	Bloc	Traitem	Répétition	No UE	Essence 1			Essence 2			Essence 3			Essence 4			Essence 5			% total
						Ess.	Haut(cm)	%	Ess.	Haut(cm)	%	Ess.	Haut(cm)	%	Ess.	Haut(cm)	%	Ess.	Haut(cm)	%	
1	MAC	2	C	1	201																
2	MAC	2	C	2	202																
3	MAC	2	C	3	203																
4	MAC	2	C	4	204																
5	MAC	2	F	1	205																
6	MAC	2	F	2	206																
7	MAC	2	F	3	207																
8	MAC	2	F	4	208																
9	MAC	2	C-F	1	209																
10	MAC	2	C-F	2	210																
11	MAC	2	C-F	3	211																
12	MAC	2	C-F	4	212																
13	MAC	2	T	1	213																
14	MAC	2	T	2	214																
15	MAC	2	T	3	215																
16	MAC	2	T	4	216																
17	MAC	2	T	5	217																
18	MAC	2	T	6	218																
19	MAC	2	T	7	219																
20	MAC	2	T	8	220																
21	MAC	2	F	5	221																
22	MAC	2	F	6	222																
23	MAC	2	F	7	223																
24	MAC	2	F	8	224																

INVENTAIRE DES PETITS FRUITS DE MAÏANTHÈME / PROJET PART AU BOCAGE / PROJET 17-0759

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension de l'UE		Nb plants avec fruits
							Long. (cm)	Larg. (cm)	
MAC									
Nb fruits/plant									
pl1	pl2	pl3	pl4	pl5	pl6	pl7	pl8	pl9	pl10
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)								
	1-blanc	2-picoté	3-rose	4-rouge	Autre	%			

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension de l'UE		Nb plants avec fruits
							Long. (cm)	Larg. (cm)	
MAC									
Nb fruits/plant									
pl1	pl2	pl3	pl4	pl5	pl6	pl7	pl8	pl9	pl10
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)								
	1-blanc	2-picoté	3-rose	4-rouge	Autre	%			

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension de l'UE		Nb plants avec fruits
							Long. (cm)	Larg. (cm)	
MAC									
Nb fruits/plant									
pl1	pl2	pl3	pl4	pl5	pl6	pl7	pl8	pl9	pl10
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)								
	1-blanc	2-picoté	3-rose	4-rouge	Autre	%			

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension de l'UE		Nb plants avec fruits
							Long. (cm)	Larg. (cm)	
MAC									
Nb fruits/plant									
pl1	pl2	pl3	pl4	pl5	pl6	pl7	pl8	pl9	pl10
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)								
	1-blanc	2-picoté	3-rose	4-rouge	Autre	%			

EB/18juil2016

INVENTAIRE DES PETITS FRUITS D'ARALIE / PROJET PART AU BOCAGE / PROJET 17-0759							
Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Nb ombelles avec fruits
ARN							
Nb fruits/ombelle							
O1	O2	O3	O4	O5	O6		
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)						
	1-vert	2-mauve/rouge	3-mauve/noir	4-mat. incomp.	Autre	%	
Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Nb ombelles avec fruits
ARN							
Nb fruits/ombelle							
O1	O2	O3	O4	O5	O6		
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)						
	1-vert	2-mauve/rouge	3-mauve/noir	4-mat. incomp.	Autre	%	
Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Nb ombelles avec fruits
ARN							
Nb fruits/ombelle							
O1	O2	O3	O4	O5	O6		
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)						
	1-vert	2-mauve/rouge	3-mauve/noir	4-mat. incomp.	Autre	%	
Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Nb ombelles avec fruits
ARN							
Nb fruits/ombelle							
O1	O2	O3	O4	O5	O6		
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)						
	1-vert	2-mauve/rouge	3-mauve/noir	4-mat. incomp.	Autre	%	

EB/18juil2016

INVENTAIRE DES PETITS FRUITS DE SUREAU / PROJET PART AU BOCAGE / PROJET 17-0759

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension du plant		Nb grappes avec fruits	
							Long. (cm)	Larg. (cm)		
SUP										
Nb fruits/grappe										
gr1	gr2	gr3	gr4	gr5	gr6	gr7	gr8	gr9	gr10	
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)									
	1-kaki	2-jaune	3-rose/orange	4-rouge	Autre	%				

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension du plant		Nb grappes avec fruits	
							Long. (cm)	Larg. (cm)		
SUP										
Nb fruits/grappe										
gr1	gr2	gr3	gr4	gr5	gr6	gr7	gr8	gr9	gr10	
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)									
	1-kaki	2-jaune	3-rose/orange	4-rouge	Autre	%				

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension du plant		Nb grappes avec fruits	
							Long. (cm)	Larg. (cm)		
SUP										
Nb fruits/grappe										
gr1	gr2	gr3	gr4	gr5	gr6	gr7	gr8	gr9	gr10	
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)									
	1-kaki	2-jaune	3-rose/orange	4-rouge	Autre	%				

Essence	Bloc	Traite ment	Répé tition	No unique UE	Date	Évalu.	Dimension du plant		Nb grappes avec fruits	
							Long. (cm)	Larg. (cm)		
SUP										
Nb fruits/grappe										
gr1	gr2	gr3	gr4	gr5	gr6	gr7	gr8	gr9	gr10	
Poids des fruits	Couleur des fruits (%)									
	1-kaki	2-jaune	3-rose/orange	4-rouge	Autre	%				

EB/18juil2016

ANNEXE 3. BILAN DE LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE PROTOTYPE

1. Vue d'ensemble

1.1. Présentation

Plusieurs projets de recherche impliquant le CCTT Biopterre s'articulent autour de la prise de mesures de paramètres environnementaux tels que la température et l'humidité extérieures, la température du sol, l'éclairement, la vitesse et la direction du vent pour n'en nommer que quelques-uns. Jusqu'à maintenant, deux solutions techniques ont été utilisées pour effectuer ce travail: les stations météo "tout en main" ainsi que des capteurs de type "iButton".

Ces dispositifs ne remplissent que partiellement les besoins d'un centre de recherche. En effet, les stations météo standards ont comme principal objectif de fournir des mesures en temps réel, mais sans grande capacité de sauvegarde, sans protection de données ni de possibilité d'extension des fonctionnalités. Les iButton pour leur part ne permettent pas la récupération des données sur une base régulière : les chercheurs doivent attendre la fin de l'expérience pour commencer leurs analyses. Finalement, le coût de ces solutions est relativement élevé.

Le projet de recherche proposé consiste à remplacer ces dispositifs par un prototype de nouvelles stations d'acquisition de données environnementales autonome.

1.2. Objectifs

En accord avec les besoins de Biopterre, nous avons établi les objectifs du projet dès le départ. Voici la liste des objectifs :

1. Effectuer minimalement les mesures suivantes :
 - a. Température de l'air
 - b. Humidité de l'air
 - c. Luminosité
 - d. Température du sol
 - e. Humidité du sol
2. Prendre des mesures à une fréquence fixe
3. Sauvegarder les mesures avec la date et l'heure
4. Sauvegarder les mesures dans une mémoire non volatile facile à consulter
5. Transmettre les données à un serveur afin de permettre la consultation des mesures à distance
6. S'alimenter de façon autonome
7. Avoir un faible coût d'achat
8. Être facilement modifiable afin de changer et/ou ajouter des fonctionnalités
9. Être facile d'installation et d'opération, tant sur le plan mécanique qu'électrique

1.3. Stratégie générale

Une stratégie de départ a été élaborée afin d'orienter les efforts dans l'atteinte des objectifs mentionnés ci-dessus. Elle s'articulait autour de trois axes:

1. Minimiser le développement électronique et mécanique afin de rendre les modifications et améliorations de la station le plus simple possible. Ceci impliquait donc d'intégrer des systèmes/modules déjà existants sans réaliser une conception de cartes électroniques à proprement parler en plus d'utiliser des éléments d'interconnexions provenant du monde de l'automatisation industriel. Même stratégie sur le plan de la mécanique en se procurant des boîtiers, supports et autres en minimisant les modifications requises.
2. Puisque la station est un prototype, s'approvisionner là où le coût est le plus faible et les composants les plus simples d'utilisation sans se soucier de la capacité d'approvisionnement des distributeurs. Par exemple, utiliser des distributeurs tels que *aliexpress*, *sparkfun*, *adafruit*.
3. Certains types de composants ont déjà été sélectionnés dès le départ. Toujours dans le but de rendre la maintenance logicielle la plus facile possible pour supporter les améliorations futures apportées, le choix du contrôleur a été la plateforme Arduino. En effet, il est plus simple pour une personne débutante ou intermédiaire en programmation de systèmes embarqués, comme les étudiants de technologie du génie physique ou du personnel de Biopterre par exemple, de travailler avec la plateforme Arduino qu'avec toute autre plateforme. Aussi, une carte microSD pour la sauvegarde des données ainsi qu'un modem cellulaire pour le téléchargement des données ont été choisis comme média de storage et de moyen de communication sans-fil.

Notez finalement que deux étudiants de deuxième année en technologie du génie physique ont travaillé sur divers aspects du projet dans le cadre du cours *244-R60-LP - Projet individuel*.

2. Conception

La station se divise en quatre éléments: l'alimentation, le contrôleur, la gestion de données (modem cellulaire et une mémoire microSD), et finalement les capteurs. De façon grossière, les choix de conception ont été les suivants:

- Une batterie 12 V au plomb-acid rechargée par un panneau solaire à l'aide d'un petit chargeur simple est utilisée comme source d'alimentation.
- L'alimentation 12 V alimente le contrôleur Arduino qui, pour sa part, génère les alimentations 5 V et 3.3 V pour le reste du système.
- Un gestionnaire d'alimentation désactive l'alimentation de toute la station laissant la batterie sans charge, mais permettant toujours sa recharge par le panneau solaire. Ce gestionnaire sera basé sur une horloge avec une alimentation secondaire par batterie de montre 3 V pouvant générer un signal selon une alarme programmable qui active l'alimentation 12 V au moment souhaité.
- Une carte Arduino pour le contrôle de la station est utilisée.

- Un modem cellulaire permet de transmettre les mesures de toute une journée à un serveur de type *File Transport Protocol* (FTP).
- Une carte microSD sauvegarde les données de toutes les mesures.
- Une série de capteurs sont installés utilisant le protocole de communication *Inter-Integrated Circuit* (I2C) ou une tension analogique.

Cette section présente le détail de ces éléments.

2.1. Schéma bloc

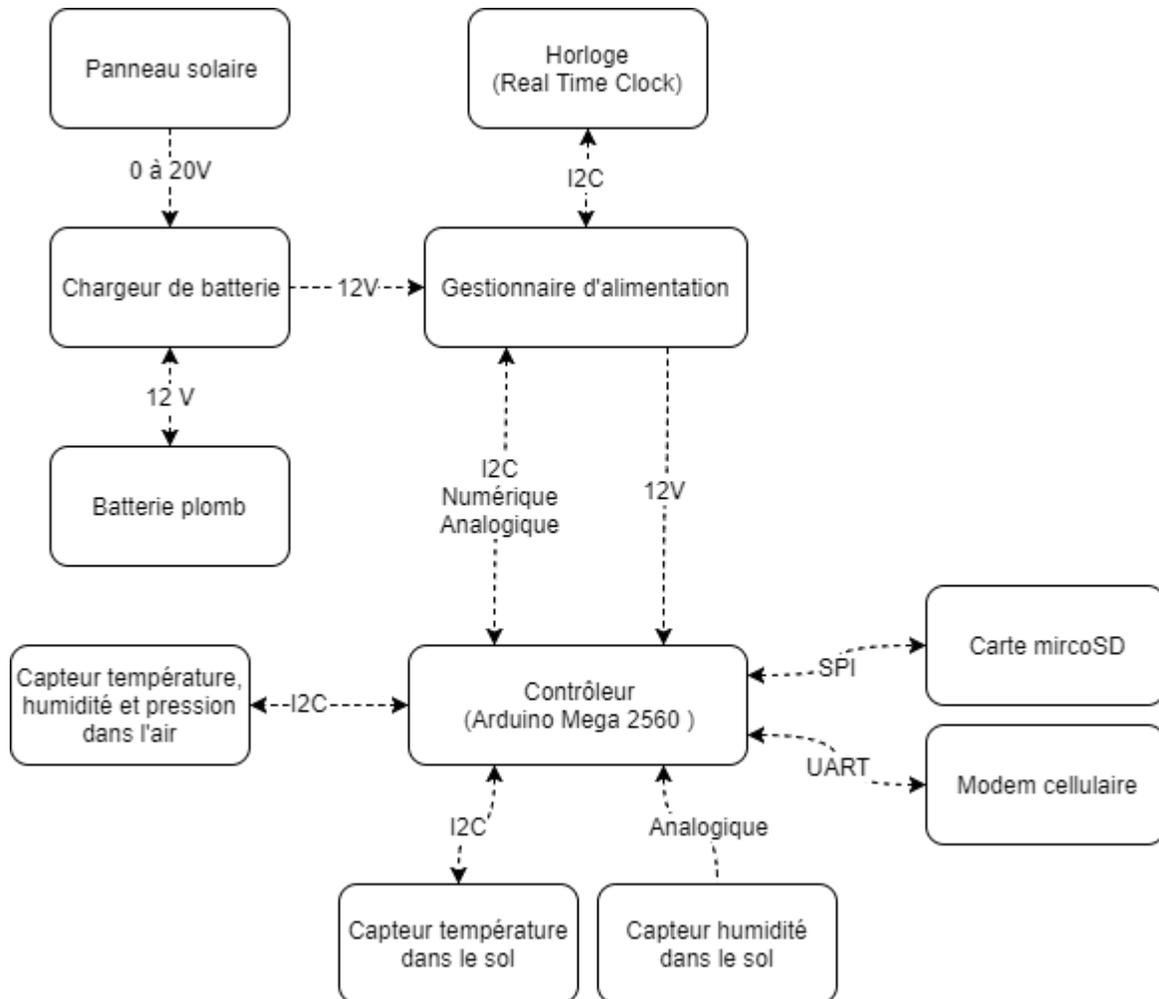


Figure 1: Schéma bloc de la station

2.2. Contrôleurs

Nous avons choisi l'Arduino comme contrôleur pour plusieurs raisons. La principale raison est le fait que cette plateforme est l'une des plus faciles d'utilisation en raison de la documentation, de son environnement logiciel ainsi que du choix de leurs créateurs de rester le plus simple possible. Ainsi, la station pourra continuer d'évoluer puisque des étudiants et/ou des professionnels autres que des développeurs logiciels pourront en faire la maintenance.

Deuxièmement, l'écosystème technologique entourant l'Arduino est fleurissant, rempli d'exemples, de tutoriels, de projets code source libre, de modules électroniques, etc. Ceci facilite l'utilisation de nombreux composants divers, dont des capteurs.

Trois Arduino ont été analysées. L'Arduino UNO a été rapidement laissé de côté dû à ses limitations en ce qui a trait à la mémoire et au nombre d'entrées/sorties disponible. Puis l'Arduino Zero a été regardé pour sa basse consommation. Comme le mentionne la section suivante, cette qualité était insuffisante.

Le choix final s'est porté sur l'Arduino Mega 2560 avec sa mémoire vive de 8 ko, sa mémoire non volatile de 256 ko, ainsi qu'un nombre de 70 entrées/sorties.

2.3. Alimentation

La conception de l'alimentation a été une grosse partie du projet. La difficulté était bien sûr de rendre la station autonome pendant au minimum 4 mois. De plus, nous ne possédions aucune donnée au sujet de la consommation requise puisque d'une part, nous ne connaissions pas le temps nécessaire au modem cellulaire pour transférer les données au serveur FTP et d'autre part, nous ne connaissions pas la capacité du panneau solaire à recharger la batterie due aux variations d'éclairement. Notez que la consommation utilisée par le modem cellulaire est de loin la plus grande.

Nous avons dans un premier temps uniquement regardé la puissance requise par le contrôleur. L'arduino UNO a une consommation très élevée de l'ordre de plusieurs dizaines de mA due notamment à son régulateur linéaire 5 V. Cette solution paraissait trop risquée. De toute façon, l'Arduino UNO s'est avéré non utilisable dû à sa mémoire FLASH trop faible ainsi qu'au nombre d'entrées/sorties limité.

Par la suite, nous avons évalué l'Arduino Zero qui possède un régulateur à découpage beaucoup plus efficace. De plus, ce contrôleur peut être mis en mode *basse consommation*. En dessoudant les DEL de l'Arduino Zero (afin de réduire la consommation) et en le configurant en mode basse consommation, la consommation est d'environ 6.5 mA à 12 V. Négligeant la consommation des autres éléments du système et en négligeant la recharge de la batterie par le panneau solaire, cette consommation demande environ 4700 mAh par mois, ce qui nous paraissait très élevé.

Avant même de poursuivre l'analyse de la consommation, une solution radicale a été choisie. Elle s'articule en deux parties, la deuxième étant la plus importante sur les développements futurs:

1. Surévaluer la capacité de la batterie (7800 mAh) et la puissance du panneau solaire (10 W).
2. Concevoir et réaliser une carte électronique appelée *Gestionnaire d'alimentation* afin de désactiver l'alimentation de toute la station (contrôleur, capteurs, modem cellulaire, carte microSD) et de réactiver l'alimentation uniquement lorsque les mesures doivent être effectuées pour par la suite être désactivée de nouveau.

2.3.1 Gestionnaire d'alimentation

La carte *gestionnaire d'alimentation* est basée principalement sur une horloge DS3232, appelée communément un *Real-Time Clock* (RTC). Ce composant fonctionne de façon assez similaire à un réveil-matin et elle est jumelé à une petite batterie 3 V de montre standard. L'heure courante peut être programmée tout comme une alarme générant un signal permettant, dans notre cas, d'activer l'alimentation de tout le système pour la prise de mesure. Par la suite, le contrôleur configure l'heure pour la prochaine activation, puis désactive l'alimentation. De plus, la date et l'heure de la prise des mesures par les capteurs devaient aussi être sauvegardées à même les mesures. Ainsi, un RTC était de toute façon nécessaire.

Finalement, la carte fournit une tension analogique proportionnelle à la tension d'alimentation 12 V provenant de la batterie. Le contrôleur se sert de ce signal pour sauvegarder, avec les mesures provenant des capteurs, la valeur de la tension de la batterie pour consultations futures

Chargeur à batterie.

Le chargeur à batterie choisi a été le CMP-12 trouvé chez *aliexpress*. Ceci consiste à un module ayant trois terminaux, une pour le panneau solaire, une autre pour la batterie et la dernière pour la charge (c'est-à-dire le contrôleur, les capteurs, etc.). Ce module gère normalement la recharge de la batterie tout en alimentant la charge, et ce, de façon sécuritaire pour la batterie.

Malheureusement, ce module a rendu l'âme une semaine avant de remettre la station à Biopterre. Nous n'avions plus le temps d'acquérir un autre module et de toute façon, la confiance que nous pouvions avoir en ce genre de produit avait beaucoup diminué. De plus, les solutions de rechange chez les autres distributeurs étaient trop dispendieuses.

La solution a été de fabriquer notre propre chargeur à batterie simple bâti autour d'un régulateur LM317K. Cette carte électronique a été montée rapidement à l'aide d'une planche de prototypage soudable.

2.3.1 Panneau solaire

Un panneau solaire de 10 W et d'une tension nominale de 18 V a été acheté chez *aliexpress*. Ce panneau était protégé contre les intempéries et pouvait donc rester à l'extérieur sans problème.

2.4. Mémoire non volatile

Le module *MicroSD card breakout board+* de Adafruit ainsi qu'une carte microSD de 8 GB ont été choisis. Il a été facile de réaliser la sauvegarde des données à l'aide de la carte microSD, un système de fichier FAT ainsi que la librairie Arduino permettant de piloter le tout.

Les données sauvegardées étaient de format ASCII permettant, après avoir été récupérées, de générer un fichier de format CVS à l'aide d'un petit script. Le format CVS peut être directement lu par les logiciels Excel ou LibreOffice.

2.5. Modem cellulaire

Le modem cellulaire choisi a été le GMS/GPRS SIM900 de la compagnie *SIMCom*. Il est monté sur une carte électronique compatible Arduino, *IComSat* acheté chez *Robotshop*. L'interface du modem est un lien sériel asynchrone et un ensemble de commandes ASCII couramment appelées *commandes AT*. L'un des défis du projet a été la programmation du modem par ces commandes AT.

De plus, lors de son utilisation, la demande de courant était telle que le régulateur de l'Arduino ne pouvait plus fournir la puissance demandée, ceci ayant comme effet le redémarrage du contrôleur en plein milieu d'un transfert FTP. Ce problème empêchait tout simplement le bon fonctionnement des transferts. La solution a été d'ajouter un gros condensateur entre l'alimentation de l'Arduino et le modem cellulaire.

Un forfait de donnée a été acheté chez *Roger*. Ce fournisseur a été choisi puisque c'est l'un des seuls à toujours supporter les réseaux cellulaires GSM/GPRS.

2.6. Capteurs

Voici la liste des capteurs utilisés lors du projet.

Tableau 1. Capteurs utilisés pour la station

Mesures	Capteurs	Modules	Interfaces
Température/humidité/ pression dans l'air	BME280	Adafruit BME280	I2C
Température sol	MCP9808	Adafruit MCP9808	I2C
Humidité dans le sol	--	DFRobot SEN0193	analogique
Luminosité	TSL2591	Adafruit TSL2591	I2C

La plupart des capteurs utilisés sont sous la forme d'un circuit intégré, c'est-à-dire un composant complètement intégré que l'on utilise par une interface de communication série. Ce type de capteur est très largement répandu et est le choix de prédilection pour une station d'acquisition de données environnementales. Effectivement, la précision et la justesse des mesures ainsi que leur facilité d'emploi comparées aux autres solutions justifient leurs utilisations.

Par la suite, ces capteurs sont assemblés sur de petits modules qui consistent en de petites cartes électroniques (aussi appelées breakout board). Ces cartes électroniques ne contiennent que les composants électroniques nécessaires pour permettre une alimentation et une interconnexion avec un contrôleur.

Cependant, un des capteurs n'est pas intégré comme le sont les autres. Il s'agit du capteur d'humidité pour le sol. En effet, ce capteur est constitué d'un circuit imprimé et de quelques composants. Son principe de fonctionnement est basé sur la mesure de la capacité électrique du sol qui est fonction de son humidité. Nous avons étalonné le capteur avant utilisation.

Nous avons observé que les données prises à partir du 3 juillet 2017 provenant de ce capteur semblent erronées. Quatre hypothèses possibles: la calibration effectuée était en erreur, le capteur n'était pas installé adéquatement dans le sol, la méthode de mesure pose certains problèmes ou le

capteur n'employait pas une méthode complète permettant des mesures de qualités. Ainsi, ce type de capteur devra être réévalué pour une future version de la station.

2.7. Mécanique

L'assemblage mécanique de la station a été réalisé principalement par cinq éléments.

1. La batterie ainsi que le chargeur à batterie ont été installés dans un boîtier électrique standard pour l'extérieur. C'est sur le dessus de ce boîtier qu'a été installé le panneau solaire.
2. La carte gestionnaire d'alimentation ainsi que le contrôleur ont été installés dans un boîtier en plastique étanche. Un mécanisme de passe-fils simple a été élaboré afin de permettre l'interconnexion des capteurs.
3. Un poteau d'acier galvanisé (tube électrique métallique standard) avec trois pattes perforées à leur extrémité aussi en acier galvanisé également réparties à l'horizontale sur lequel étaient attachées la boîte du contrôleur et la boîte de l'alimentation permettait de rendre le tout stable lorsque les pattes étaient ancrées au sol par des clous de 12 pouces.
4. À l'extrémité supérieure du poteau était fixée une boîte en polycarbonate dans lequel était fixé le capteur de luminosité.
5. Une carte prototype soudable s'installant



Figure 1. Utilisation de la station à l'extérieur

2.8. Coût

Dans notre cas, il est assez complexe d'évaluer le coût réel d'un tel prototype puisque nous avons utilisé plusieurs composants déjà disponibles au département de technologie du génie physique. Voici néanmoins les coûts approximatifs des composants les plus importants:

Tableau 2. Coût des composants majeurs

Composants	Coûts
Carte module cellulaire	80 \$
Carte contrôleur Arduino Mega	70 \$
Carte gestionnaire d'alimentation (circuit imprimé et RTC)	30 \$
Chargeur à batterie	20 \$
Boîtier pour le contrôleur	33 \$
Boîtier pour la batterie et le chargeur	43 \$
Capteurs et cartes microSD (température, humidité, luminosité)	65 \$
Module microSD et carte microSD	25 \$
Poteau et pattes	10 \$
Câbles, connecteurs, quincaillerie	30 \$
Total	406 \$

3. Analyse des résultats et développements futurs

3.1. Utilisation

La station a permis d'accumuler des données environnementales à toutes les demi-heures sur carte microSD du 22 juin 2017 au 2 octobre 2017 sur le site, mais a continué de sauvegarder des mesures une fois retirées du site jusqu'à ce que l'on coupe l'alimentation le 19 octobre.

La station a cependant interrompu la communication cellulaire avec le serveur FTP le 8 août 2017. En effet, lorsque nous avons récupéré la station, nous avons constaté que l'antenne cellulaire assemblée sur le boîtier du contrôleur s'était relâchée pour une raison inconnue au point tel que l'antenne s'est détachée du câble le reliant au contrôleur, ceci expliquant la perte de communication avec le serveur.

3.2. Évaluation technique

La station a permis d'effectuer les mesures sur toute la période d'acquisition de données requise par la recherche. Ainsi, la plupart des objectifs ont été atteints. L'autonomie de la station a été réalisée. Il a été facile d'installer et d'opérer la station. De plus, la sauvegarde des mesures de la tension de l'alimentation à même des données environnementales montre que l'ensemble

batterie/panneau/chargeur a été largement suffisant pour l'autonomie de la station avec une tension variant de 12,8 V à 13,4 V, au-delà de la tension nominale de 12 V de la batterie.

Par contre, un problème technique a empêché la transmission par lien cellulaire d'environ la moitié des données. En plus, la facilité de modification et de maintenance de la station afin d'en étendre les fonctionnalités reste à démontrer. Aussi, pour des raisons d'opération expliquées plus haut, il a été difficile de comptabiliser un coût de fabrication précis pour ce type de station. Finalement, il a été relativement difficile de réaliser ce prototype et de le rendre suffisamment opérationnel afin qu'il puisse être utilisé dans une situation réelle d'acquisition de données.

En effet, la station souffre de plusieurs problèmes, du moins dans son état actuel. En voici un résumé:

1. Le problème le plus évident est le fait que la stratégie voulant que la station soit facilement modifiable en intégrant des modules/systèmes sans réaliser de cartes électroniques à proprement parlé tout en s'efforçant de réaliser un système compact facilement déployable dans une situation réelle a été une erreur. En effet, la réalisation de la station est entre deux mondes: soit l'intégration de système, qui offre beaucoup de flexibilité, mais qui est très encombrant, lourd, dispendieux, d'une réalisation un peu désordonnée, ou soit la réalisation de cartes électroniques dédiées, à la fois compacte, légère, peu dispendieuse, propre, mais offrant moins de flexibilité.
2. Plusieurs éléments de la station ont été surévalués afin de s'assurer de son bon fonctionnement durant l'été 2017. On a qu'à penser à la capacité de la batterie ainsi que la puissance du panneau solaire. Ceci a comme inconvénient le prix plus élevé ainsi que le poids total et la taille de la station qui sont plus gros que nécessaire.
3. Les difficultés mécaniques ont été négligées. Les boîtiers, supports, passe-fils ainsi que l'assemblage total ont pris beaucoup d'effort afin d'arriver à une station utilisable à l'extérieur.

3.3. Développements futurs

La station actuelle est un premier prototype. Voici les éléments susceptibles d'en augmenter la qualité dans une phase ultérieure.

1. Concevoir et réaliser une carte électronique bâtie autour de la toute nouvelle carte Arduino MKR GSM 1400 intégrant un modem cellulaire. Ce Arduino serait monté en *piggyback* sur la nouvelle carte. La nouvelle carte intégrerait aussi le capteur de température, d'humidité et de pression dans l'air, le capteur de luminosité, la carte microSD ainsi que l'électronique du gestionnaire d'alimentation. Ainsi, cette carte aurait comme entrées l'alimentation 12 V provenant des batteries, l'alimentation provenant du panneau solaire, deux connecteurs pour le capteur d'humidité et le capteur de température du sol. Cette carte réduirait la taille et le poids de la station tout en étant très propre. Évidemment réalisée de cette façon, la flexibilité n'est plus possible. Cependant, nous croyons que le choix des mesures effectuées par la station est suffisamment arrêté pour prendre cette avenue.

2. Réduire la capacité de la batterie et la puissance du panneau solaire. En effet, le prototype actuel a démontré avec une bonne assurance que l'autonomie de la station pourrait être assurée par une alimentation plus petite, moins lourde et moins dispendieuse.
3. En réalisant une carte électronique dédiée ainsi qu'en minimisant la capacité de la batterie et la puissance du panneau solaire, toute l'électronique, incluant la batterie, pourrait s'intégrer dans un seul boîtier léger. Ainsi, il pourrait être facile d'installer la station sur plusieurs types de poteaux à l'aide d'attache de type *tie wrap* par exemple.

Il resterait néanmoins plusieurs défis à relever: le choix ou la réalisation de boîtier permettant aux capteurs de pression/humidité ainsi qu'au capteur de luminosité d'effectuer les mesures sans être obstrué par le boîtier, le choix des passe-fils pour l'alimentation et capteurs pour le sol pour n'en nommer que deux.

4. Conclusion

Bien que le prototype de station d'acquisition de mesures environnementales a effectué les mesures requises pendant toute la période de la recherche, plusieurs problèmes techniques durant le développement et l'opération de la station se sont avérés. La complexité de la mécanique et du câblage, le poids, l'aspect non fini de la station découle de la stratégie d'intégration de module sans réalisation de carte électronique dédiée.

Cependant, le prototype a permis d'identifier les défis qui restent à travailler dans le cadre d'une telle stratégie. C'est pourquoi le développement futur d'une nouvelle version sera réalisé à partir d'une carte électronique dédiée.

ANNEXE 4. ANALYSES NUTRITIONNELLES



2350, Chemin du Lac
Longueuil, Québec J4N 1G8
Tél. (514) 332-6001 Téléc. (450) 651-5211

3705, boul. Industriel
Sherbrooke, Québec J1L 1X8
Tél. (819) 481-1469 Téléc. (819) 987-1211

Certificat d'analyse

No M1389115, version 1

Émis le: 2017-12-15

Client: **BIOPTERRE**
Mme Pascale Ontchangalt
1642 rue de la Ferme
Ste-Anne-de-la-Pocatière, Québec
G0R 1Z0

No client: 8589
Tél.: 418-856-5917 p.220
Télé.: 418-856-6405
No projet: 13845
Bon de commande:

Projet: Étiquette nutritionnelle canadienne

Sous-projet: Analyse nutritionnelle

No éch.	Description	Résultat	Unité	Spécifications	Analysé le
Nature: Aliment Prélevé le: 2017-11-30 Par: Client Reçu le: 2017-12-01 Temp. réception: 3°C					
3570775 / 1- Sureau					
	Cendres	0.955	%		2017-12-01
	Cholestérol	<0.8	mg/100g		2017-12-13
	Fibres alimentaires totales	8.0	g/100g		2017-12-04
	Glucides	14.2	%		2017-12-11
	Énergie (Cal/100g)	118	Cal/100g		2017-12-11
	Énergie (KJ/100g)	495	KJ/100g		2017-12-11
	Gras total par GC	5.06	g/100g		2017-12-07
	Gras saturés	1.02	g/100g		2017-12-07
	Gras monoinsaturés	2.18	g/100g		2017-12-07
	Gras polyinsaturés	1.63	g/100g		2017-12-07
	Gras trans	0.01	g/100g		2017-12-07
	Gras oméga 3	0.55	g/100g		2017-12-07
	Gras oméga 6	1.07	g/100g		2017-12-07
	Sucres totaux	2.0	%		2017-12-08
	Vitamine A en ER/100g	<8	ER/100g		2017-12-04
	Vitamine A en UI/100g	22	UI/100g		2017-12-04
	Vitamine C	4	mg/100g		2017-12-06
	Azote	0.63	%		2017-12-01
	Protéines	3.97	%		2017-12-01
	¹ Calcium	123	mg/100 g		2017-12-05
	¹ Fer	1.4	mg/100 g		2017-12-05
	¹ Sodium	1.2	mg/100 g		2017-12-05
	Humidité	75.8	%		2017-12-06

- Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du Groupe EnvironeX.
- Ce certificat d'analyse est la référence valide en cas de différence avec tout autre document transmis.
- Les résultats ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai. - (PNA) Indique un Paramètre Non Accrédité.
- Les résultats sont basés sur les échantillons tels que reçus.

Page 1 de 2

Certificat d'analyse (suite)

No M1389115, version 1

Émis le: 2017-12-15

Projet: Étiquette nutritionnelle canadienne

Sous-projet: Analyse nutritionnelle

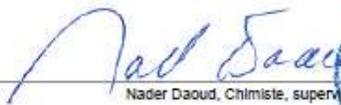
No éch.	Description	Résultat	Unité	Spécifications	Analysé le
3570776	2- Maienthème				
	Cendres	0.681	%		2017-12-01
	Cholestérol	<0.8	mg/100g		2017-12-13
	Fibres alimentaires totales	12.0	g/100g		2017-12-04
	Glucides	27.8	%		2017-12-11
	Énergie (Cal/100g)	121	Cal/100g		2017-12-11
	Énergie (KJ/100g)	506	KJ/100g		2017-12-11
	Gras total par GC	0.07	g/100g		2017-12-07
	Gras saturés	0.03	g/100g		2017-12-07
	Gras monoinsaturés	0.01	g/100g		2017-12-07
	Gras polyinsaturés	0.02	g/100g		2017-12-07
	Gras trans	<0.01	g/100g		2017-12-07
	Gras oméga 3	<0.01	g/100g		2017-12-07
	Gras oméga 6	0.02	g/100g		2017-12-07
	Sucres totaux	10.1	%		2017-12-08
	Vitamine A en ER/100g	<6	ER/100g		2017-12-04
	Vitamine A en UI/100g	<19	UI/100g		2017-12-04
	Vitamine C	23	mg/100g		2017-12-06
	Azote	0.36	%		2017-12-01
	Protéines	2.27	%		2017-12-01
	* Calcium	22.0	mg/100 g		2017-12-05
	* Fer	0.6	mg/100 g		2017-12-05
	* Sodium	<1.0	mg/100 g		2017-12-05
	Humidité	69.2	%		2017-12-06

* Cette analyse a été effectuée à notre laboratoire de Longueuil.

Méthode d'analyse	Description	Référence externe	Procédure Interne
Glucides-Energie	Calcul	—	FLCA-019
Protéines	Combustion -Leco	Leco - AOAC 992.15	ILCA-035
Scan de métaux	Digestion micro-onde / ICP-MS	AOAC 2011.14	ILCA-040
Cendres à 550°C	Gravimétrie	AOAC	ILCA-009
Cholestérol	Saponification / GC	AOAC 994.10	ILCA-016
Fibres alimentaires totales	Enzymatique/gravimétrie	AOAC 985.29	ILCA-024
Profil d'acide gras	Extraction / GC	AOAC 996.06	ILCA-017
Sucres totaux	Extraction / HPLC	AOAC 980.13	ILCA-019
Vitamine A	Saponification / HPLC	AOAC 992.06	ILCA-021
Vitamine C	Fuorimétrie	AOAC 967.22	ILCA-018
Humidité sous vide à 70°C	Gravimétrie	AOAC	ILCA-004


Marie-Josée Lessard, Chimiste, Chef de service




Nader Daoud, Chimiste, superviseur



- Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du Groupe Environex
 - Ce certificat d'analyse est la référence valide en cas de différence avec tout autre document transmis.
 - Les résultats ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai. - (PNA) indique un Paramètre Non Accrédité.
 - Les résultats sont basés sur les échantillons tels que reçus.

Page 2 de 2