

DÉTERMINER L'APPORT D'AZOTE PAR MINÉRALISATION DES PAILLIS DANS LA CULTURE DU BLEUET EN CORYMBE AFIN QUE LA FERTILISATION AZOTÉE MINÉRALE SOIT MIEUX ADAPTÉE AUX BESOINS DE LA CULTURE

19-005-3.1-F-PLEI

DURÉE DU PROJET : 1^{ER} AVRIL 2019/1^{ER} FÉVRIER 2022

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Violaine Joly-Séguin, agr., M.Sc. et Gabriel Deslauriers, agr., M.Sc. –
Groupe PleineTerre inc
Christine Landry, agr., Ph.D., Julie Mainguy, agr., bacc. et Stéphanie Houde, agr.,
M.Sc. – IRDA
Christian Lacroix, agr. – MAPAQ,

juin 2022

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

TABLES DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
OBJECTIFS	6
MÉTHODOLOGIE	7
Sites expérimentaux.....	7
Traitements	8
Dispositif.....	9
Prises de mesure et échantillonnages	9
RÉSULTATS ET DISCUSSION	15
1. Caractéristiques biochimiques des paillis	15
2. Développement, nutrition et productivité des plants.	16
2.1 Rendements.....	16
2.2 Calibres	19
2.3 Analyses foliaires	22
2.4 Aoûtement et nouvelles pousses	24
3. Formes et disponibilité en azote du sol.....	25
3.1 Contenu en ammonium du sol.....	26
3.1.1 Pleine saison	26
3.1.2 Fertilisation résiduelle - printemps suivant	29
3.2 Contenu en nitrate du sol.....	31
3.2.1 Pleine saison	31
3.2.2 Fertilisation résiduelle - printemps suivant	34
3.2.3 Rapport ammonium vs nitrate	35
3.3 Flux saisonnier in situ en ions ammonium et nitrate.....	36
4. Recommandations sur la fertilisation azotée	39
CONCLUSION	41
DIFFUSION DES RÉSULTATS	42
APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE	42
PERSONNES-RESSOURCES POUR INFORMATION	42
REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS	42
RÉFÉRENCES	43
ANNEXE(S)	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des sites sélectionnés.	7
Tableau 2: Calendrier des opérations en 2019.	10
Tableau 3: Calendrier des opérations en 2020.	10
Tableau 4: Calendrier des opérations en 2021.	10
Tableau 5: Caractérisation des sols des sites d'essais.	11
Tableau 6: Résultats d'analyses (base sèche) des paillis en début et en fin de projet.	16
Tableau 7: Recommandations en azote pour les plants de bleuets en corymbe de divers états des États-Unis et provinces du Canada.	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Bleuetières des sites de Montérégie (gauche) et de Chaudière-Appalaches (droite).	7
Figure 2. Schématisation de la zone d'application d'engrais (anneau vert).	8
Figure 3 : Paillis « frais » (gauche) et « vieilli » (droite), site Montérégie, mai 2019.	9
Figure 4 : Paillis « frais » (gauche) et « vieilli » (droite), site Chaudière-Appalaches, mai 2019.	9
Figure 5. Plan d'échantillonnage des sols et emplacement des membranes d'échange ionique (MEI).	12
Figure 6 : Installation des membranes d'échange ionique.	14
Figure 8. Rendements cumulatifs vendables annuels et somme des 2 années.	18
Figure 9. Variation du rendement vendable en fonction de la dose apportée de N minéral aux plants par saison.	19
Figure 10 : Calibre annuel et moyen (2019-2020) des fruits vendables en Montérégie.	20
Figure 11 : Calibre annuel et moyen du cycle de production (2019-2021) des fruits vendables.	21
Figure 12 : Calibre annuel des fruits vendables de la récolte de 2021 en Chaudière-Appalaches selon la dose saisonnière d'apport d'azote par plant.	21
Figure 13 : Teneurs en N foliaire six semaines après floraison selon la dose saisonnière d'azote par plant, site de Chaudière-Appalaches.	23
Figure 14 : Teneurs en N foliaire six semaines après floraison selon la dose saisonnière d'azote par plant, site de Montérégie.	23
Figure 15 : Aoûtement du feuillage et nombre de pousses à croissance tardive.	25
Figure 16 : Contenu en N-NH ₄ du sol (0-20 cm) au stade floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches.	27
Figure 17 : Contenu en N-NH ₄ du sol (0-20 cm) quatre semaines après floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches.	27
Figure 18 : Contenu en N-NH ₄ du sol (0-20 cm) au stade floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Montérégie en 2021.	28
Figure 19 : Contenu en N-NH ₄ du sol (0-20 cm) quatre semaines après floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Montérégie en 2021.	28

Figure 20 : Contenu en N-NH₄ résiduel du sol (0-20 cm) au printemps suivant la fonte des neiges, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches en 2020 et 2021 30

Figure 21 : Contenu en N-NH₄ résiduel du sol (0-20 cm) au printemps suivant la fonte des neiges, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Montérégie en 2020 et 2021 31

Figure 22 : Contenu en N-NO₃ du sol (0-20 cm) au stade floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches, de 2019-2021. 33

Figure 23 : Contenu en N-NO₃ du sol (0-20 cm) quatre semaines après floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches, de 2019 et 2021. 33

Figure 24 : Contenu en N-NO₃ résiduel du sol (0-20 cm) au printemps, selon la dose saisonnière d'azote par plant, au site de Chaudière-Appalaches en 2020 et 2021. 34

Figure 25 : Contenu en N-NO₃ du sol (0-20 cm) 8 semaines après floraison (8 août), selon la dose saisonnière d'azote par plant, au site de Chaudière-Appalaches en 2019. 35

Figure 27 : Flux cumulatifs d'ions ammonium et nitrate, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, aux sites de Montérégie et Chaudière-Appalaches, pour les saisons 2019 et 2021. 38

DÉTERMINER L'APPORT D'AZOTE PAR MINÉRALISATION DES PAILLIS DANS LA CULTURE DU BLEUET EN CORYMBE AFIN QUE LA FERTILISATION AZOTÉE MINÉRALE SOIT MIEUX ADAPTÉE AUX BESOINS DE LA CULTURE

**NUMÉRO DU PROJET :
19-005-3.1-F-PLEI**

INTRODUCTION

En 2008, le Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ) publiait le Guide de la culture du bleuët en corymbe (Laureau et Urbain, 2008). Selon ce guide, une fois le sol bien amendé avant la plantation, les plants de bleuëts nécessiteront seulement des apports annuels d'azote. Il est aussi indiqué qu'il serait préférable que ces apports soient sous forme ammoniacale, car en sol acide, l'azote serait présent naturellement sous cette forme que le bleuët a la capacité d'absorber directement. Cependant, une étude récente menée au Québec (Boivin et Landry, 2011) démontre, les deux années du projet, que le nitrate joue un rôle central dans la dynamique du N du sol bien que le pH soit faible et que le N minéral soit apporté uniquement sous forme de sulfate d'ammonium (21-0-0). Il ressortait que les ions ammonium des engrais étaient rapidement transformés en ions nitrate et donc, que l'impact de la fertilisation se déplace sur ceux-ci. Même dans les sols non fertilisés, les ions N-NO₃ dominaient, suggérant une production de N-NO₃ par minéralisation. Conséquemment, il est raisonnable de penser que l'apport de matière organique sous forme de paillis, que ce soit par la quantité ou le type, est susceptible de modifier la production de N disponible aux plants, influençant du même coup sur les quantités nécessaires à combler par fertilisation. À cet effet, Lareau et Urbain (2008) mentionnent qu'il est possible d'obtenir une aussi bonne vigueur des plants à des doses plus faibles d'azote que les recommandations du guide (3 applications de 45 g/plant de 21-0-0, soit un total de 28,4 g N/plant). La contribution de la minéralisation du N organique des paillis pourrait expliquer cette différence entre les besoins et les recommandations de fertilisation azotée, de même que le fait que plusieurs des recommandations utilisées pour le bleuët en corymbe au Québec proviennent majoritairement d'études faites hors Québec.

Il devient ainsi pertinent de mieux cerner l'effet de la présence et du type de paillis sur les besoins en azote du bleuëtier. En effet, plusieurs entreprises mettent du paillis à la base des plants dans un but de lutte aux mauvaises herbes. Cependant, comme tout amendement organique, le type de paillis, principalement son niveau de maturation et ses teneurs en carbone et azote, aura un impact décisif sur son taux de décomposition et de production ou d'immobilisation du N minéral. Des recherches démontrent que selon le type de paillis, certains mobilisent l'azote tandis que d'autres le libèrent (Clark et al., 1989). Théoriquement, les paillis frais requerraient une augmentation de la fertilisation azotée, car les bactéries du sol mobilisent l'azote pour décomposer cette matière qui a un C/N élevé (>25), tandis que les matières vieilles seraient possiblement plutôt productrices d'azote. Il apparaît donc nécessaire que des études sur ce sujet soient réalisées sous nos conditions, puisque l'apport de paillis est une pratique répandue et que la question quant au choix du paillis et à l'ajustement de la fertilisation azotée demeure non résolue. Ces connaissances permettront

d'adapter les techniques afin d'optimiser la fertilisation minérale des bleuets en corymbe tout en contribuant à diminuer les pertes azotées par volatilisation ou par lessivage.

OBJECTIFS

Par ses objectifs, ce projet s'inscrit dans la thématique de *Fertilisation raisonnée des cultures, santé et la conservation des sols agricoles* du Volet 3 – Appui au développement et au transfert des connaissances en agroenvironnement - Sous volet 3.1 du Prime-Vert visant le développement expérimental, l'adaptation technologique et le transfert technologique de nouvelles connaissances en agroenvironnement. Il cadre plus spécifiquement dans la priorité *Caractériser la minéralisation de l'azote du sol, des intrants organiques et des cultures de couvertures*.

Les objectifs principaux de ce projet sont de :

- 1- Caractériser la composition en azote des paillis de copeaux de bois.
- 2- Valider les besoins en azote de la culture du bleuet en corymbe en fonction de la présence ou non et du type de paillis.
- 3- Déterminer s'il y a libération ou immobilisation d'azote en présence des paillis de copeaux de bois afin que la fertilisation azotée soit mieux adaptée aux besoins de la culture du bleuet en corymbe.

MÉTHODOLOGIE

Sites expérimentaux

L'expérience comportait deux sites expérimentaux (bleuetières), l'un en Montérégie et l'autre en Chaudière-Appalaches. Les deux sites étaient dans la même situation vis-à-vis de l'apport de paillis, soit qu'une nouvelle couche de paillis était requise à ce moment de leur cycle de production (apport cyclique aux 3 ans), ce qui a justifié, entre autres, leur choix pour le projet. Les dispositifs ont été établis à chaque site en mai 2019, pour une durée de trois ans. Cette durée était essentielle puisque la minéralisation des paillis se réalise sur plusieurs années et est d'autant plus lente que le produit est résistant à la dégradation. Les traitements de paillis ont donc un arrière-effet potentiel important à considérer. Les principales caractéristiques des deux sites sont présentées au Tableau 1. Les deux sites présentaient comme différences majeures l'âge de la plantation (Montérégie : 24 ans, Chaudière-Appalaches : 12 ans) (Tableau 1), la taille des plants (Figure 1), ainsi que le groupe de textures des sols. Ces aspects sont susceptibles de mener à des conclusions différentes, puisque ceux-ci influencent les besoins nutritionnels, la taille des systèmes racinaires et les processus de minéralisation et de lessivage du nitrate.

Tableau 1 : Description des sites sélectionnés.

	Site	
	Montérégie	Chaudière-Appalaches
Municipalité	Saint-Chrysostome	Saint-Gervais-de-Bellechasse
Date de plantation	1995	2007
Densité de plantation	3300 plants/ha	4100 plants/ha
Variété	Blueray	Patriot
Système d'irrigation	Goutte-à-goutte	Goutte-à-goutte
Texture de sol	Loam sableux graveleux (groupe de textures G3)	Loam sablo-argileux (groupe de textures G1)
Matière organique	3,6 %	6,8 %
pH_{eau} du sol	4,5	4,8



Figure 1. Bleuetières des sites de Montérégie (gauche) et de Chaudière-Appalaches (droite).

Traitements

Les traitements testés aux deux sites étaient les mêmes. Ceux-ci faisaient varier le type et la présence ou non de paillis, ainsi que les doses de N minéral apportées par fertilisation sous forme de 21-0-0.

Traitements de paillis : aucun paillis, paillis frais et paillis vieilli.

Traitements de fertilisation N : applications saisonnières de 0, 15, 28 et 43 g N/plant en trois fractionnements égaux.

La fertilisation a été déterminée en g N/plant. Les doses étaient appliquées en trois apports en saison et répétés annuellement. L'engrais était appliqué à la main autour de chacun des plants en créant un anneau situé à environ 25 cm du tronc des plants (Figure 2). La dose de 28 g N/plant (3 x 45 g de 21-0-0) correspond aux recommandations actuelles du CRAAQ pour des plants matures (8 ans et plus) (Lareau et Urbain 2008). Les doses de P et K étaient les mêmes pour tous les traitements et ont été appliquées par le producteur selon sa régie habituelle. Ainsi, seule la dose de N variait. En ce qui a trait au paillis, deux types ont été sélectionnés, soit un paillis dit frais d'environ 1 an d'âge et un paillis dit vieilli ayant été laissé en tas depuis 3 ans (Figures 3 et 4). Les sources de paillis pour les deux sites n'étaient pas les mêmes mais une attention a été portée afin que chaque type de paillis soit constitué du même type de résidus végétaux (copeaux de bois mixtes) et soit du même âge. L'application s'est faite manuellement lors de l'implantation des dispositifs pour obtenir une épaisseur de 15 cm, alors que les plants étaient au stade débourrement en début de saison (Tableau 2).



Figure 2. Schématisation de la zone d'application d'engrais (anneau vert).



Figure 3 : Paillis « frais » (gauche) et « vieilli » (droite), site Montérégie, mai 2019.



Figure 4 : Paillis « frais » (gauche) et « vieilli » (droite), site Chaudière-Appalaches, mai 2019.

Dispositif

Le dispositif utilisé aux deux sites était le même. Il s'agissait d'un plan en tiroirs subdivisés de trois répétitions avec les traitements de paillis en parcelles principales et les niveaux de fertilisants N en sous-parcelles (voir les dispositifs à l'annexe 1). Chaque unité expérimentale (sous-parcelle) était constituée de huit plants.

Prises de mesure et échantillonnages

Plusieurs mesures ont été prises tout au long des saisons. Celles-ci comprenaient divers suivis au niveau du sol et des plants, qui sont résumés aux Tableaux 2, 3 et 4.

Tableau 2: Calendrier des opérations en 2019.

Stades	Sols ¹	Plants	Application des paillis	Application des engrais	MEI ²	Récoltes ³	
Sol drainé après la fonte des neiges	Caractérisation des sites						
Débourrement (fin avril/début mai)							
Pleine floraison (fin mai)	N-NO ₃ + N-NH ₄	Éléments majeurs et mineurs	Installation	1 ^{ère}	Installation		
2 sem. post floraison				2 ^e	Lecture 1		
4 sem. post floraison	N-NO ₃ + N-NH ₄				3 ^e	Lecture 2	
6 sem. post floraison						Lecture 3	Récolte 1
8 sem. post floraison	N-NO ₃ + N-NH ₄					Lecture 4	Récolte 2
10 sem. post floraison						Lecture 5	Récolte 3

¹ Stades : Échantillons prélevés aux stades phénologiques suivants : pleine floraison, fruit vert, fruit mûr.

² MEI : Membranes d'échange ionique.

³ Seul le calibre a été déterminé dans chaque sous-parcelle.

Tableau 3: Calendrier des opérations en 2020.

Stades	Sols ¹	Plants	Application des paillis	Application des engrais	MEI ²	Récoltes ³	
Sol drainé après la fonte des neiges	N-NO ₃ + N-NH ₄						
Débourrement (fin avril/début mai)							
Pleine floraison (fin mai)	N-NO ₃ + N-NH ₄	Éléments majeurs et mineurs	s/o	s/o	1 ^{ère}		
2 sem. post floraison					2 ^e		
4 sem. post floraison	N-NO ₃ + N-NH ₄				3 ^e	s/o	
6 sem. post floraison							Récolte 1
8 sem. post floraison							Récolte 2
10 sem. post floraison							Récolte 3

¹ Stades : Échantillons prélevés aux stades phénologiques suivants : fonte des neiges, pleine floraison, fruit vert.

² MEI : Membranes d'échange ionique. Non mesurée en 2020.

³ Les rendements ont été établis dans les parcelles 0 et 28 g N/plant.

Tableau 4: Calendrier des opérations en 2021.

Stades	Sols ¹	Plants	Application des paillis	Application des engrais	MEI ²	Récoltes ³	
Sol drainé après la fonte des neiges	N-NO ₃ + N-NH ₄						
Débourrement (fin avril/début mai)							
Pleine floraison (fin mai)	N-NO ₃ + N-NH ₄	Éléments majeurs et mineurs	s/o	s/o	1 ^{ère}		
2 sem. post floraison					2 ^e	Installation	
4 sem. post floraison	N-NO ₃ + N-NH ₄				3 ^e	Lecture 1	
6 sem. post floraison						Lecture 2	
8 sem. post floraison						Lecture 3	Récolte 1
10 sem. post floraison						Lecture 4	Récolte 2
			Lecture 5	Récolte 3			

¹ Stades : Échantillons prélevés aux stades phénologiques suivants : fonte des neiges, pleine floraison, fruit vert.

² MEI : Membranes d'échange ionique.

³ Les rendements ont été mesurés dans tous les traitements au site de Chaudière-Appalaches. Un gel tardif au printemps a empêché leur mesure en Montérégie.

Analyses chimiques et physiques de sol : Les analyses de sol ont été réalisées sur des échantillons composites de la strate de sol 0-20 cm. Vingt sous-échantillons ont été prélevés pour la caractérisation des blocs à l'implantation des dispositifs (Tableau 5) tandis que six ont été prélevés dans les sous-parcelles par la suite. Les sous-échantillons par bloc étaient prélevés de part et d'autre du rang, à 25 cm du tronc des plants sur toute la longueur du bloc. Pour les sous-parcelles, un plan d'échantillonnage a été établi défini afin d'éviter de prélever deux fois au même endroit dans la saison (Figure 5). Au champ, les sols ont été placés dans une glacière à 4 °C jusqu'à leur tamisage à 2 mm et leur séchage à l'air à 21 °C. La granulométrie a été déterminée par la méthode de Gee et Bauder (1986). Le pH_{eau} a été mesuré dans un rapport sol/eau de 1:1 (Conseil des productions végétales du Québec 1988). La matière organique a été obtenue par perte au feu. Le N-NO₃ et N-NH₄ ont été extraits au KCl 2M (Isaac et Johnson, 1976) et dosés par colorimétrie (AutoAnalyzer Technicon). Le P et les éléments mineurs ont été extraits dans une solution Mehlich-3 (Tran et Simard, 1993) et dosés à l'ICP optique.

Tableau 5: Caractérisation des sols des sites d'essais.

Paramètres	Site Montérégie	Site Chaudière-Appalaches
pH _{eau}	4,5	4,8
Matière organique (%)	3,6	6,8
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹ b.s.)	2,6	4,3
CEC (mEq/100g)	16,6	20,0
Texture	Loam sableux	Loam sablo-argileux
Éléments majeurs Mehlich-3 (kg ha⁻¹ b.s.)		
P	289	860
K	134	654
Ca	436	1139
Mg	68	156
Al (mg kg ⁻¹)	869	1574
ISP ₁ (%)	14,4	24,7
Éléments mineurs Mehlich-3 (mg kg⁻¹ b.s.)		
B	0,82	0,20
Cu	0,63	6,2
Fe	295	392
Mn	4,17	60
Zn	1,71	19,0
S	18,8	33,8

ISP₁ : Indice de saturation du sol en P (P / Al)_{Mehlich-3}.

b.s. : Base sèche.

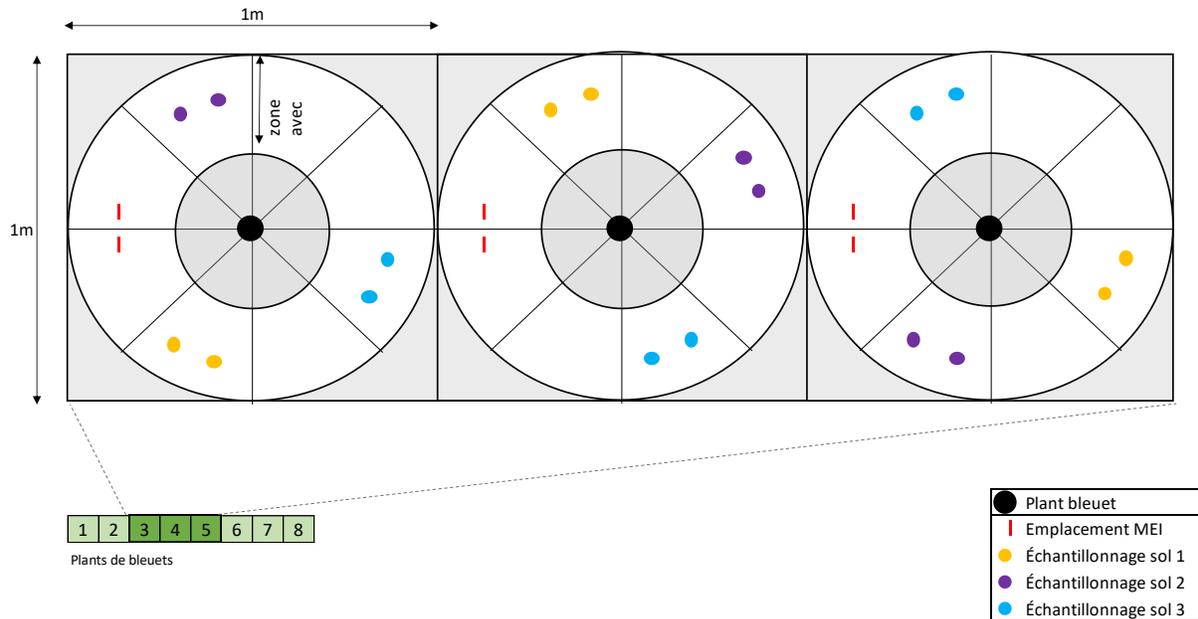


Figure 5. Plan d'échantillonnage des sols et emplacement des membranes d'échange ionique (MEI).

Analyses chimiques des végétaux et des paillis : Le statut nutritionnel des plants a été suivi au moyen d'échantillonnages foliaires. Ainsi, six semaines après la floraison, à chaque année, 80 feuilles ont été prélevées sur les 3 plants centraux dans chacune des sous-parcelle et conservées dans une glacière à 4 °C jusqu'à leur réception au laboratoire. Les feuilles étaient prélevées sur la partie centrale des pousses annuelles. Elles ont ensuite été séchées à 65 °C et broyées à 100 mesh pour former un échantillon composite. Le N_{total} a été déterminé par combustion LECO, tandis que le P_{total} et les éléments majeurs et mineurs ont été déterminés selon la méthode de digestion par calcination. Les résultats obtenus ont été comparés au seuil acceptable reconnu de 1,8 % à 2,1% (Lareau et Urbain 2008) pour le N.

Les paillis ont été caractérisés d'un point de vue biochimique juste avant leur application (mai 2019), puis à la fin du projet, (septembre 2021) pour évaluer leur décomposition. En début de projet, environ 10 sous-échantillons (pelletés de paillis) ont été prélevées à différents endroits du tas de paillis et mis dans une chaudière. L'échantillon composite a été brassé manuellement et environ 750 g de chaque type de paillis (frais et vieilli) ont été soumis à l'analyse. En fin de projet, les échantillons de paillis à analyser, tant frais que vieilli, ont été prélevés dans les parcelles des traitements 0N et les parcelles ayant reçu la dose recommandée du CRAAQ (28,4 g N/plant). Ainsi, 4 échantillons composites (12 sous-échantillons chacun) ont été analysés pour chaque site : 0N – paillis frais; 0N – paillis vieilli; N – paillis frais et N – paillis vieilli. Le pH_{eau} , la matière sèche à 105 °C (%) et la MO ont été analysés (Recommended Methods of Manure Analysis, Peters et coll. 2003). Le carbone organique total (C_{total}) a été calculé avec la méthode des cendres selon la formule '100-cendres' pour obtenir la quantité de MO, elle-même ensuite divisée par le facteur 2,0 pour obtenir le C (Giroux et Audesse 2004). Les ions $N-NH_4$ ($N_{minéral}$) ont été extraits au KCl 2M (Isaac et Johnson 1976) et analysés par colorimétrie automatisée SEAL (Technicon). Le N_{total} a été extrait selon la méthode NTK et dosé par colorimétrie automatisée SEAL (CPVQ 1988). Le carbone labile (C_{labile}) a été évalué par le C organique total soluble à l'eau suivant sa mesure sur un extrait centrifugé auquel du HCl a été ajouté pour libérer le C inorganique

(Garcia et coll. 1990). Le P labile (P_{labile}) a été évalué par le P soluble à l'eau. Ce dernier a été déterminé sur un filtrat obtenu par centrifugation, puis analysé par colorimétrie automatisée SEAL. Le K labile (K_{labile}) a été déterminé par spectrométrie d'émission au plasma sur la solution obtenue pour le P labile. Le P_{total} a été mesuré par digestion à l'acide sulfurique (voie humide) (Isaac et Johnson 1976), suivie d'une détermination par spectrométrie d'émission au plasma, tout comme les contenus en potassium (K), calcium (Ca) et magnésium (Mg). Le P minéral résistant a été extrait au HCl 2,5N (P_{HCl}) (Salomons et Gerriste 1981), puis déterminé par colorimétrie automatisée SEAL. L'indice de stabilité biologique (ISB) a été mesuré selon la méthode décrite dans Landry et coll. (2011) adaptée de L.E. Parent de la méthode originale AFNOR (XP U44-162) (2005) utilisant un digesteur de fibre (ANKOM 200) de la compagnie ANKOM Technology.

Suivi *in situ* des ions azotés : Les flux d'ions N-NH₄ et N-NO₃ ont été suivis en 2019 et 2021 dans les traitements 0 et 43 g N/plant (3 x 68 g de 21-0-0/saison). Ce suivi a été effectué à partir de la floraison à l'aide de membranes d'échange ionique (MEI) (Tableaux 2 et 4). Les MEI (anionique AR204-SZRA et cationique CR67-HMR, Ionics Inc., Watertown, MA) sont faites de vinyle et contiennent des groupements chargés saturés d'un contre-ion. Celui-ci sera relâché dans le sol en échange des ions ciblés pour lesquels les groupements possèdent une affinité beaucoup plus grande, assurant leur sorption et leur retenue jusqu'au recouvrement des MEI du champ et à leur extraction au laboratoire. Trois paires de MEI anioniques (N-NO₃) et cationiques (N-NH₄) ont été insérées par sous-parcelle de façon à couvrir verticalement le milieu de la strate 0-20 cm de sol (Figure 6). Les MEI ont été laissées au champ pour une période de deux semaines et par la suite échangées pour des nouvelles, et ce, pour 5 périodes consécutives de 14 jours. Elles se comportent à l'image des racines et captent de façon cumulative tous les ions NO₃ et NH₄ en solution du sol et se rendant jusqu'à elles. Leur emplacement peut être visualisé sur le schéma présenté à la figure 5.

Avant leur emploi au champ, les MEI anioniques et cationiques étaient nettoyées par agitation dans une solution de HCl 0,5N en séquences de 30 minutes. Elles ont ensuite été rincées trois fois à l'eau déminéralisée, avec un brassage de 30 secondes entre chaque rinçage pour enlever toute trace d'acide. Puis elles ont été saturées par agitation dans une solution de NaHCO₃ 0,5M, changée aux heures pour une période de 5 heures. Les MEI ont ensuite été à nouveau rincées à l'eau déminéralisée trois fois, avec un brassage de 30 secondes entre chaque rinçage, puis conservées dans l'eau à 4°C jusqu'à leur utilisation. Lors de leur récupération au champ, les 3 paires de MEI ont été déterrées, puis nettoyées à l'eau déminéralisée et placées ensemble dans un tube d'extraction contenant 40 ml d'une solution de KCl 2M. De retour au laboratoire, les tubes ont été agités 30 minutes, puis le N-NH₄ et le N-NO₃ de cette solution ont été dosés au Technicon AA3. Pour chacun des éléments, les données représentent ainsi la valeur moyenne des trois MEI de même charge utilisées par sous-parcelle. Les flux sont exprimés par unité de surface de MEI et par jour, c'est-à-dire que le contenu total en ions désorbés (NO₃⁻ et NH₄⁺) est divisé par la surface de MEI (recto-verso) et le nombre de jours de la période de suivi. Les résultats sont donc exprimés en intensités ($\mu\text{g cm}^{-2} \text{période}^{-1}$). Étant donné que le suivi est en continu, il a donc été possible de déterminer la dynamique (temps et intensité) des ions NO₃⁻ et NH₄⁺ sur une bonne partie de la saison pour chacune des combinaisons de traitements.



Figure 6 : Installation des membranes d'échange ionique aux sites de la Montérégie (gauche) et de Chaudière-Appalaches (droite).

Mesures végétales et récoltes : Dans le cas de la mesure du rendement, pour toutes les années, les récoltes ont été réalisées sur les trois plants centraux des sous-parcelles (voir annexe 1). Cependant, la méthode de mesure a été modifiée en cours de projet. En effet, la régie de l'année précédente ayant un fort impact sur le rendement de l'année suivante, il a été jugé que les rendements de la 2^e et 3^e année de projet seraient les plus pertinents. Ainsi, en 2019, seul le calibre des fruits a été évalué. Pour ce faire, 1 litre de fruits/sous-parcelle a été récolté sur les 3 plants centraux dans toutes les sous-parcelles du dispositif expérimental. Le contenu a été pesé et dénombré afin d'obtenir le poids moyen par fruit. En 2020, les rendements (masse) ont été mesurés en pesant l'entièreté des bleuets vendables récoltés de chacune des sous-parcelles des traitements 0 et 28,4 g N/plant de tous les types de paillis. Les calibres ont aussi été mesurés dans ces mêmes sous-parcelles, selon la méthode décrite pour 2020. En 2021, les rendements (masse) n'ont été mesurés qu'en Chaudière-Appalaches, et ce, dans tous les traitements en pesant l'entièreté des bleuets récoltés. Les calibres ont également été mesurés dans toutes les sous-parcelles selon la méthode utilisée en 2020 et 2021. En Montérégie, le gel tardif de 2021 a affecté la production de bleuets, rendant impossible la mesure des rendements. Afin d'alléger le texte, et parce que le rendement sur toute la saison est le facteur le plus important, seuls les rendements totaux vendables (somme de toutes les récoltes d'une même saison) sont présentés, plutôt que le rendement de chacune de ces récoltes. En toute fin du projet (octobre 2021), des observations sur l'aouïtement des plants ont été ajoutées pour toutes les sous-parcelles du site de Chaudière-Appalaches afin de déterminer si la fertilisation et/ou les paillis affectaient ce phénomène. Cette évaluation a été faite visuellement en caractérisant la couleur des feuilles et en comptant le nombre de pousses tardives par plant.

Analyses statistiques : Les analyses ont été effectuées dans un premier temps en mesures répétées. Comme cela n'apportait pas d'informations supplémentaires en comparaison des analyses par année et par site, séparément, ces dernières ont été retenues. Les analyses

ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED de SAS (Littell et coll., 2006). Un modèle mixte normal a été ajusté pour chaque variable de réponse en considérant le dispositif en tiroirs. Les effets fixes considérés étaient les types de paillis, les doses et l'interaction entre les paillis et les doses. De même, l'effet aléatoire des blocs a été inclus dans les modèles, ainsi que l'interaction des blocs avec l'effet des parcelles principales. En présence d'un effet significatif, des tests de comparaison des moyennes ont permis d'évaluer les différences entre les traitements. Les hypothèses d'homogénéité des variances et de normalité de la distribution des erreurs ont été vérifiées au moyen de graphiques de résidus. Quelques rares données extrêmes ont été identifiées et retirées du jeu de données. Le seuil de signification utilisé a été de $P < 0,10$, avec la considération d'une tendance entre $0,10 < P < 0,15$ (Amrhein et coll. 2019).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Caractéristiques biochimiques des paillis

Au moment de leur application, les paillis frais et vieillis des sites de la Montérégie et de Chaudière-Appalaches étaient très similaires (Tableau 6). Ainsi, exception faite du taux d'humidité 1,7 fois plus élevé des paillis vieillis en comparaison des paillis frais, les 4 paillis présentaient des teneurs en N, P et K totaux similaires. La teneur moyenne en N_{total} était de 5,6 kg N_{total}/T et était à 99 % sous forme organique. Les contenus en P_{total} étaient très bas (moy. = 0,79 kg/T), tandis que ceux en K étaient intermédiaires (3,2 kg/T). Ceci leur a conféré des ratios moyens N/P et N/K de 8,8 et 1,8, respectivement. Le ratio C/N était très élevé (moy. = 83), ce qui pourrait indiquer une forte tendance à l'immobilisation du N (CRAAQ 2010). Un potentiel d'immobilisation est en effet attendu lorsque le C/N > 25 (CRAAQ, 2010). Cependant, le ratio C/N ne renseigne pas sur la résistance à la minéralisation des produits. Cette information est plutôt livrée par l'indice de stabilité biologique (ISB) qui indique la stabilité de la fraction carbonée. Plus l'indice est faible, plus le produit se dégrade rapidement. Une valeur qui se rapproche de 100 % indique donc que le matériel est plus résistant à la dégradation. Ainsi, dans le cas des paillis frais et vieillis, les ISB étaient très différents. Ceux des paillis vieillis ont été le double de ceux des paillis frais. De plus, le paillis frais apporte de 2 à 3 fois plus de C labile, source d'énergie pour les microorganismes du sol. Globalement, il est donc attendu que le paillis frais sera davantage immobilisant en regard des apports de N, puisqu'il sera plus réactif (facilement dégradé, attaqué par les microorganismes du sol). Cet effet devrait être moindre avec le paillis vieilli, puisque celui-ci est plus stable. En 2021, trois ans après leur application, les paillis frais et vieillis de chacun des sites se ressemblaient davantage dans les sols des sous-parcelles témoin, puisqu'en plus de présenter des contenus en éléments équivalents, les ISB étaient devenus très similaires. Aux deux sites, le principal effet de l'apport de la dose de 28 g N/plant a été un enrichissement des paillis frais et vieillis en N_{total} , de 24 à 41% selon les sites, et ce, sans effet apparent du type de paillis. Ainsi, les paillis des parcelles fertilisées ont eu un C/N plus faible. L'enrichissement en N_{total} des paillis avec fertilisation pourrait résulter de la retenue d'une partie du N des engrais 21-0-0. Cette hypothèse est appuyée par les mesures d'ammonium disponible dans les sols. L'effet des années sur les caractéristiques des paillis a cependant été plus marqué que l'effet de l'apport d'azote : aux deux sites, dans les sous-parcelles sans azote, le contenu en N_{total} des deux types de paillis ont augmenté de 1,6 à 2,6 fois, les contenus en C sont demeurés stables, mais surtout, les

ISB ont fortement augmenté (2,4 à 3,7 fois). Ainsi, en 3 ans, le temps passé au sol par les paillis a eu plus d'impact sur leur teneur en N_{total} et leur ISB que l'apport annuel de 28 g N/plant (3 x 45 g 21-0-0/saison), probablement à cause de la concentration par perte de biomasse.

Tableau 6: Résultats d'analyses (base sèche) des paillis en début et en fin de projet.

Sites	Type de paillis	Traitement fertilisation (g N/plant)	M.S. (%)	pH	C/N	N total (kg/T)	N min (%)	P total (kg/T)	K total (kg/T)	C eau (%)	ISB (%)
Montérégie	Frais, tel qu'appliqué		58	6,2	80	5,9	0,04	0,84	2,73	1,46	13
	Vieilli, tel qu'appliqué		29	7,5	-	-	0,02	1,10	3,14	0,5	32
	Frais, 3 ^e année	0	53	6,1	33	13,8	0,06	1,01	1,42	0,99	47
		28	40	5,8	26	17,1	0,45	1,00	1,47	0,84	44
	Vieilli, 3 ^e année	0	63	5,6	29	15,7	0,05	1,07	1,2	0,75	52
		28	43	5,1	22	20,4	0,32	1,08	1,28	0,34	52
Chaudière-Appalaches	Frais, tel qu'appliqué		57	6,1	88	5,0	0,07	0,63	3,58	1,32	17
	Vieilli, tel qu'appliqué		38	7,0	80	6,0	0,02	0,59	3,33	0,59	28
	Frais, 3 ^e année	0	44	5,1	48	8,5	0,08	1,01	3,38	0,60	39
		28	48	4,4	36	12,1	0,13	0,91	1,98	0,73	43
	Vieillis, 3 ^e année	0	38	6,3	25	15,4	0,15	1,42	3,38	0,33	37
		28	36	4,7	21	19,8	0,25	1,21	2,60	0,21	49

M.S. : Matière sèche; ISB : Indice de stabilité biologique.

2. Développement, nutrition et productivité des plants.

2.1 Rendements

Les rendements mesurés aux deux sites (Montérégie 2020, Chaudière-Appalaches 2020 et 2021) ont indiqué qu'il n'y avait eu aucun gain de rendement à fertiliser en azote, incluant à la dose recommandée (28 g N/plant) en comparaison du 0 N, et ce, peu importe le type de paillis (Figures 7 et 8). Considérant que les apports de N n'ont entraîné aucun gain de rendement statistiquement significatif, la fertilisation azotée n'a pas été rentabilisée quant à la masse vendable en fruits (g/plant). En effet, il coûte actuellement 2,30 \$ par kg de N. Ainsi, une fertilisation azotée de 28 g/plant, selon la densité de plantation sur les deux sites suivis dans ce projet, a représenté entre 210 et 265 \$/ha, et ce, uniquement pour l'achat des engrais. Outre l'aspect économique, ce résultat est important considérant que l'apport de 21-0-0 a augmenté significativement les teneurs en azote du sol dès la plus faible dose, dont celles sous forme de nitrate qui sont hautement lessivables (voir section 3.2), et ce, sans avoir entraîné de meilleurs calibres de bleuets (voir section suivante 2.2).

Quant à l'effet du paillis sur les rendements, les résultats des deux sites allaient dans le même sens. En Montérégie, la différence a été non statistiquement significative. Toutefois, les plants avec paillis frais et vieilli ont eu respectivement des masses cumulatives en fruits vendables (saison) de 21 et 32 % plus élevées que les plants sans paillis (Figure 7). Au site de Chaudière-Appalaches toutefois, un effet très significatif du paillis vieilli est mesuré lors de

la 3^e année (2021) (Figure 8). Les plants avec paillis vieilli ont en effet produit 10 et 28 % plus de rendement vendable en fruits que ceux respectivement sans paillis et avec paillis frais. L'analyse des rendements combinés, soit la somme des années 2020 et 2021, pour les traitements de 0 et 28 g N/plant suggérait aussi que les plants avec paillis vieilli présentaient 17 % plus de rendement vendable cumulatif que ceux sans paillis ou avec paillis frais, mais la différence a été non significative. Il convient de mentionner que dans tous les cas, le paillis frais n'a permis aucun gain de rendement. Différents facteurs pourraient expliquer que l'effet bénéfique du paillis soit devenu significatif en 2021. D'une part, il est possible que l'effet de la dégradation du paillis ait demandé un certain temps pour se réaliser. D'autre part, un facteur propre à la saison 2021, par exemple la météo, pourrait aussi avoir permis au paillis vieilli de faire une différence.

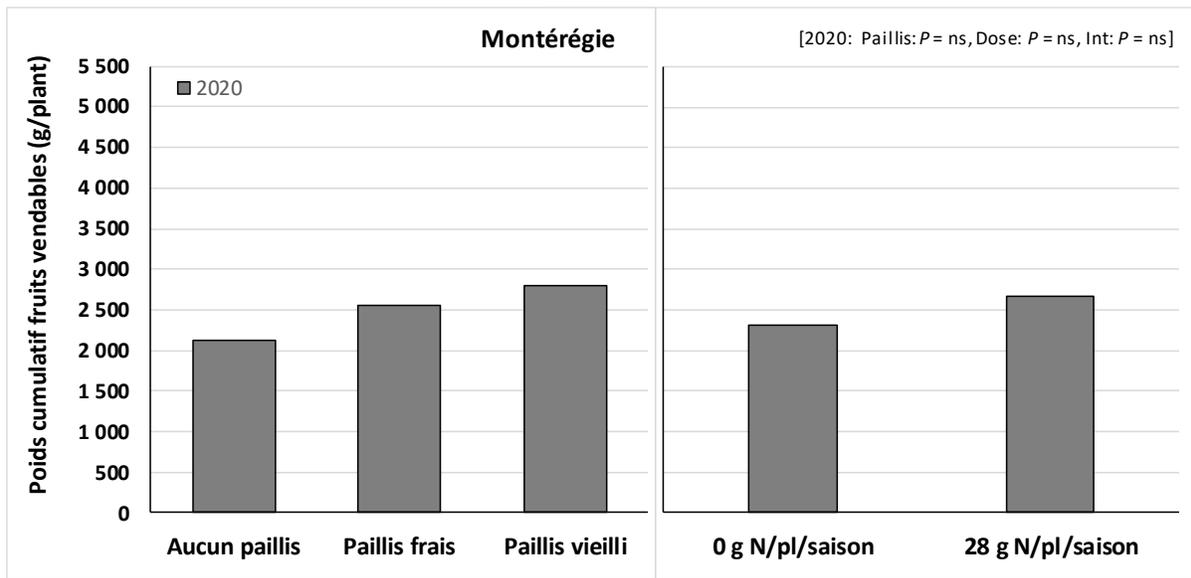


Figure 7. Rendements cumulatifs vendables selon le type de paillis et la dose saisonnière d'azote par plant (g N/pl/saison), site de Montérégie, 2020. ns : non-significatif; Int : Interaction.

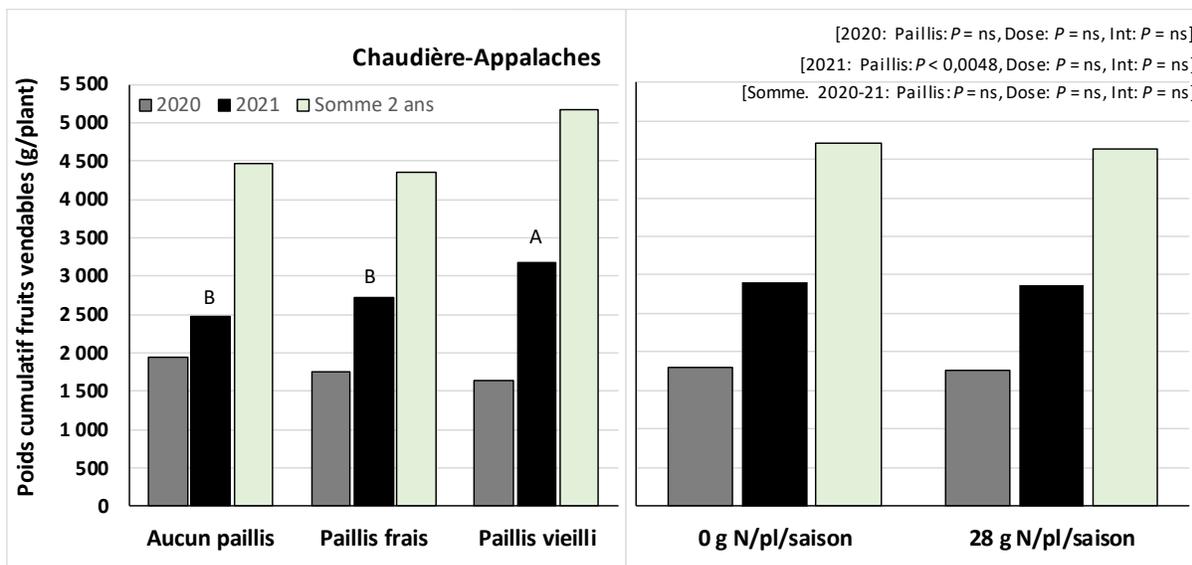


Figure 8. Rendements cumulatifs vendables annuels et somme des 2 années, selon le type de paillis et la dose saisonnière d'azote par plant (g N/pl/saison), site de Chaudière-Appalaches, 2020 et 2021. Les lettres majuscules indiquent les différences significatives au seuil de $P < 0,10$ pour l'effet principal du paillis à l'année en question. ns : non-significatif; Int : Interaction.

À titre indicatif, puisque la récolte de 2021 au site de Chaudière-Appalaches a été réalisée pour toutes les doses de N, la variation de rendement (rendement des plants fertilisés / rendement des plants non-fertilisés) a été calculée par type de paillis (Figure 9). Ce calcul suggère qu'il y a peu de gain à fertiliser au-delà d'une dose de 15 g N/plant/saison (3 x 23 g 21-0-0/saison) et que la présence de paillis a diminué la dose optimale de N, surtout avec le paillis vieilli où il apparaît que les plants ont mieux performé en l'absence de fertilisation azotée minérale. Dans une étude menée en Oregon sur des bleuetières en implantation, Pilar Banados et al. (2012) ont testé des doses de 0, 50, 100 et 150 kg N/ha. Ils ont également observé peu de gain à fertiliser, alors que la dose optimale était de 18 g N/plant, soit 50 kg N/ha (2777 plants/ha). Celle-ci a donné la meilleure croissance des arbres et le meilleur rendement en fruits. Au Québec, Duval (1993) a observé qu'il n'y avait pas de gain de rendement si la fertilisation était supérieure à 34 kg N/ha, tandis que Lareau (1989) indique, pour une recherche menée à St-Jean-sur-le Richelieu, que l'apport de différents taux d'azote sous forme de sulfate d'ammoniaque n'a eu aucun effet sur le rendement des cultivars Northland, Berkeley et Rubel. Il serait ainsi très pertinent de mesurer les rendements pour l'ensemble des doses testées dans ce projet durant plus d'une saison et sur plus de 3 arbres par sous-parcelles. Cela permettrait d'observer si, à moyen-terme ou avec plus de données, l'interaction de la dose avec le paillis deviendrait significative. Plus de données permettraient en effet d'améliorer la puissance de l'analyse en diminuant la variabilité.

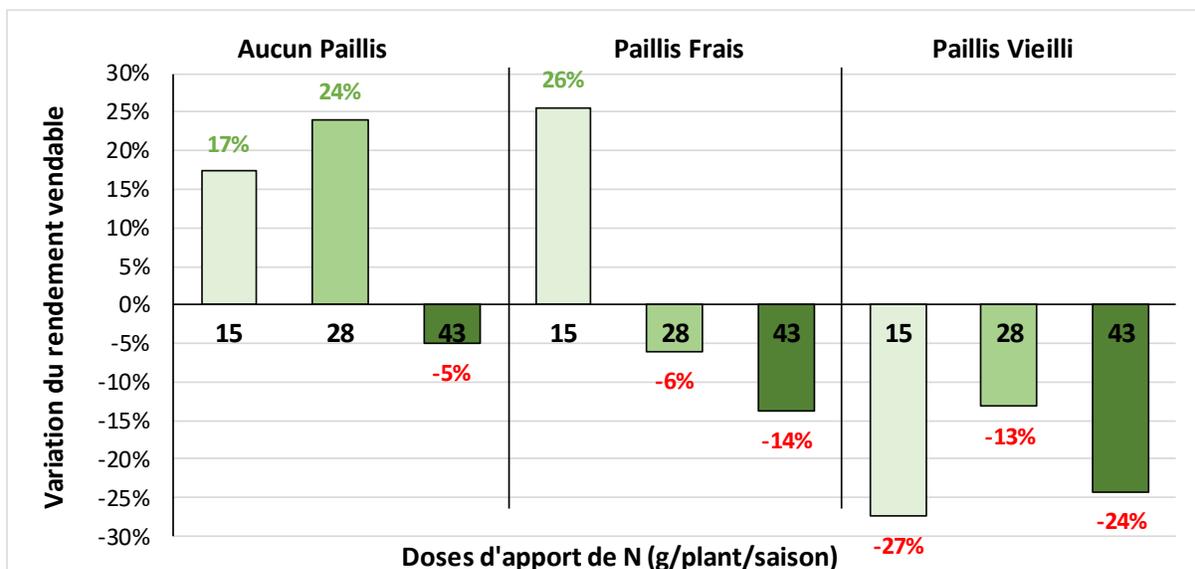


Figure 9. Variation du rendement vendable en fonction de la dose apportée de N minéral aux plants par saison, en comparaison du témoin non fertilisé en azote, pour chaque type de paillis, en 2021 au site de Chaudière-Appalaches.

2.2 Calibres

Le calibre est un paramètre très important du rendement en fruits. Celui-ci touche directement la productivité, car il est plus rentable de cueillir de plus gros fruits (plus rapide et donc diminution des coûts de main-d'œuvre). Les résultats obtenus aux deux sites d'essais ont été similaires et ont démontré nettement que l'apport de la dose recommandée d'azote (28 g N/plant/saison) ne permet pas d'atteindre un meilleur calibre moyen en fruits vendables, en présence ou en absence de paillis. L'apport d'azote a plutôt globalement eu comme effet de diminuer les calibres, principalement en absence de paillis.

En Montérégie, malgré la taille importante des arbustes, la fertilisation à la dose recommandée par le CRAAQ (28,4 g N/plant) a fortement diminué ($P < 0,01$) les calibres récoltés en 2019 (- 10 %) et en 2020 (- 13 %) (2021 : aucune récolte), en comparaison des plants non fertilisés en N, et ce dans tous les traitements avec ou sans paillis (interaction paillis x dose; $P = ns$) (Figure 10). En 2020, les traitements avec paillis ont donné des fruits 11 % plus gros que les traitements sans paillis. Dans l'ensemble, sur la moyenne des deux années de production (Figure 10), une interaction ($P = 0,109$) entre la dose et le paillis démontre que l'apport de N a réduit le calibre des fruits de manière plus importante en absence de paillis. L'apport de 28 g N/plant/saison a donc diminué le calibre moyen sur 2 ans de 18 % en absence de paillis et de 9 % en présence de paillis, frais ou vieilli.

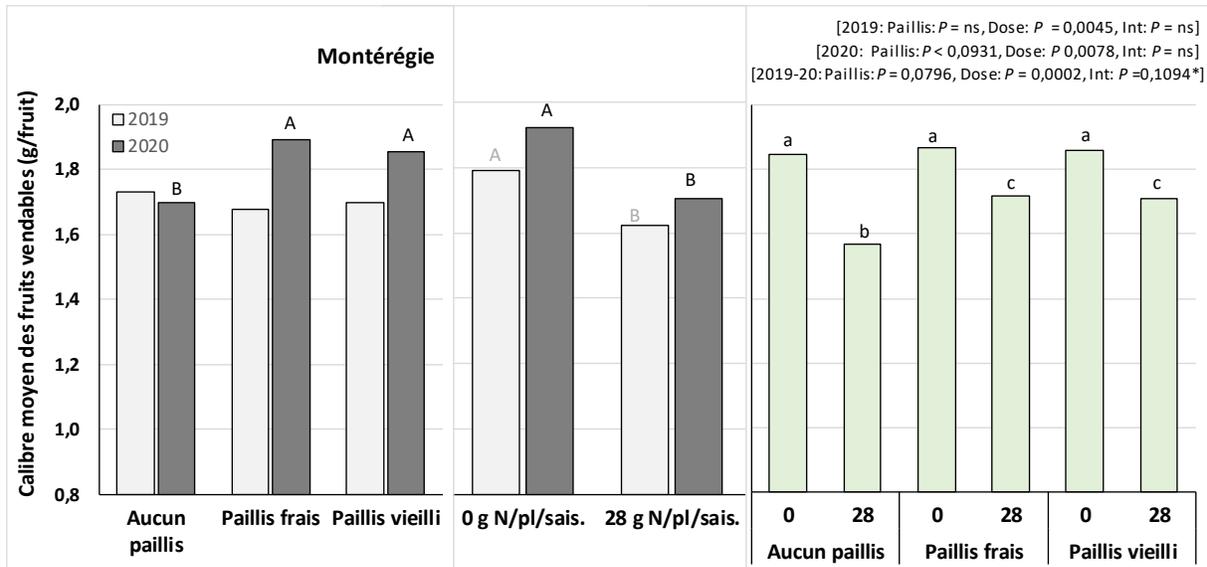


Figure 10 : Calibre annuel et moyen (2019-2020) des fruits vendables en Montérégie (2019 à 2020) selon le type de paillis et la dose saisonnière d'apport d'azote par plant. Les lettres majuscules indiquent l'effet principal de paillis ou de dose. Les lettres minuscules indiquent l'interaction paillis x dose. Pour une même année, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. * Pour la moyenne 2019-2020, l'interaction paillis x dose est présentée étant donné la valeur de P très proche du seuil significatif de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

En Chaudière-Appalaches, le paillis a eu un effet significatif sur les calibres lors de la première saison, tandis que c'est plutôt à la troisième saison que la dose de N a eu un effet (Figure 11). Ainsi, en 2019, les fruits étaient 35 % plus gros en présence de paillis frais ou vieilli, en comparaison des plants sans paillis. Lors de la 2^e et 3^e saison, le calibre tendait à être plus élevé avec paillis, mais la différence n'a pas été significative. La situation a été inversée pour la fertilisation : Il n'y a pas eu d'effet significatif en début de projet, mais en 2021, la dose de 28 g N/plant/saison a produit des fruits de plus petit calibre (-12%), en comparaison des traitements non-fertilisés en N. En 2021, puisque la récolte a été effectuée dans toutes les sous-parcelles, les calibres ont été comparés pour toutes les doses de N (Figure 12). Cette comparaison indique que l'apport de plus de 15 g N/plant/saison a fait diminuer la taille des fruits. Sur l'ensemble des trois années du cycle de production (moyennes de 2019, 2020 et 2021) (Figure 11), les effets du paillis et de la fertilisation ne sont plus significatifs, mais la tendance à de plus gros calibres (12 %) dans les traitements avec paillis est toujours perceptible. Cependant, les calibres ont été très similaires (± 3 %) selon la fertilisation. Il faut toutefois noter que les résultats pourraient être différents avec un échantillonnage plus important et une pondération en fonction du volume de récolte annuel.

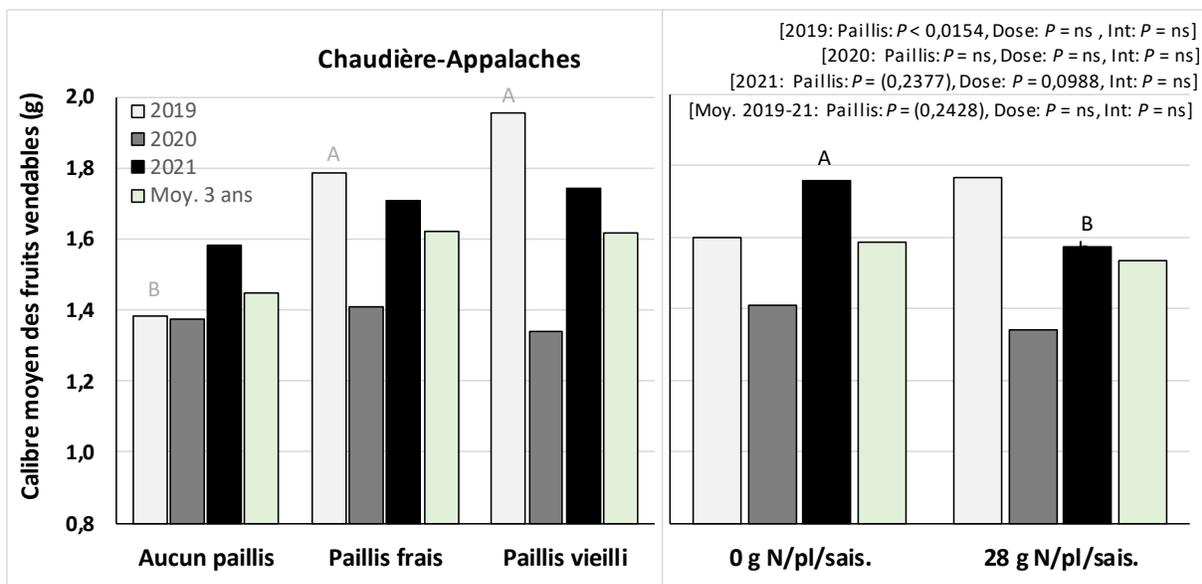


Figure 11 : Calibre annuel et moyen du cycle de production (2019-2021) des fruits vendables, selon le type de paillis et la dose saisonnière d'azote par plant, site de Chaudière-Appalaches. Les lettres majuscules indiquent l'effet principal soit de paillis ou de dose. Pour une même année, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

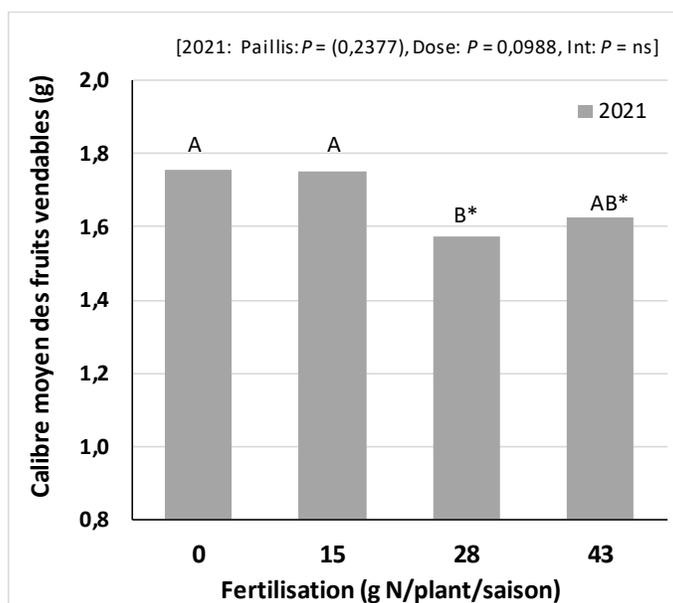


Figure 12 : Calibre annuel des fruits vendables de la récolte de 2021 en Chaudière-Appalaches selon la dose saisonnière d'apport d'azote par plant. Les lettres majuscules indiquent l'effet principal de dose. Les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. * Tendance d'effet de dose : 0 vs. 43 à $P = 0,1298$ et 23 vs. 43 à $P = 0,1469$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

En résumé, sur l'ensemble du cycle de production, aux deux sites, la présence de paillis a amélioré le calibre, tandis que la fertilisation n'a procuré aucun gain sur ce paramètre du rendement. Elle a même pu diminuer significativement le calibre, avec une probabilité plus grande en absence de paillis. Plusieurs facteurs pourraient expliquer cet avantage du paillis.

Il se peut que le paillis ait permis de maintenir une humidité au sol et ait ainsi diminué les stress hydriques. Le paillis a également pu amoindrir la pression des mauvaises herbes ou fournir une protection physique du sol relativement à la température et l'humidité. Ces hypothèses seraient à confirmer avec d'autres études. Par ailleurs, il est peu probable que l'effet bénéfique sur le calibre vienne de la production de N disponible par minéralisation du paillis, puisque la fertilisation n'a amélioré ni le rendement ni le calibre dans cette étude. Enfin, il est pertinent de se demander quel serait le constat à moyen ou long terme si l'usage de ces divers types de paillis était répété sur plusieurs cycles de production. Comme expliqué précédemment, pour une fertilisation de 28 g N/plant avec une densité de plantation variant de 3300 à 4100 plants/ha, il en a coûté entre 210 et 265 \$/ha juste pour l'achat de l'engrais azoté. Considérant que les apports de N n'ont engendré aucune augmentation significative des rendements ou des calibres, cette dépense n'a pas été rentabilisée.

2.3 Analyses foliaires

Selon le Guide Lareau et Urbain (2008), les teneurs acceptables en N foliaire chez le bleuet en corymbe se situent entre 1,8 % et 2,1 %. Dans le Guide de production des états américains du nord-est (Pritts et al. 1992), les valeurs suggérées vont de 1,7 à 2,3 %. Dans le cadre de cette étude, celles-ci se situaient entre 1,67 à 2,13 % et 1,23 à 1,77 % pour les sites de Chaudières-Appalaches et Montérégie, respectivement. Les valeurs trouvées sont donc proches de celles recommandées au site de Chaudière-Appalaches, mais toutes très en dessous au site de Montérégie, où les arbres sont de grande taille.

En Chaudière-Appalaches, les doses de N et le type de paillis ont eu un effet significatif, sans interaction (Figure 13). Ainsi, durant chacune des trois années de suivi, le N foliaire a augmenté avec l'apport de N. Tous les plants sans fertilisation azotée présentaient une teneur foliaire sous la valeur minimale critique (VMC) (Figure 13, VMC : trait pointillé rouge). La teneur devient cependant adéquate dès l'apport de 15 g N/plant (3 x 23 g de 21-0-0). Dans le cas du paillis, l'effet sur la VMC est devenu plus significatif avec le temps ($P = 0,127$, $0,105$ et $0,066$ pour respectivement 2019, 2020 et 2021). Globalement sur 3 ans, le N foliaire tendait à être plus élevé pour les plants sans paillis. Cependant, aucun des deux paillis n'a abaissé les valeurs sous la VMC (détail Figure 13). Cela dit, le paillis frais a donné, lors de la 2^e et de la 3^e saison, les valeurs les plus près de la VMC, ce qui pourrait constituer un indice supplémentaire d'effet immobilisant du N disponible aux plants (voir sections rendement et azote disponible du sol).

Au site de Montérégie, la dose de N apportée a eu un effet significatif sur le N foliaire, principalement durant la 1^{ère} saison ($P < 0,001$, Figure 14). En 2019, les doses donnant le meilleur N foliaire étaient de 15, 28 et 43 g N/plant/saison pour les traitements de paillis vieilli, sans paillis et paillis frais, respectivement. Tel qu'au site de Chaudière-Appalaches, ceci suggère pour 2019 un effet immobilisant du paillis frais puisque celui-ci a demandé plus d'engrais pour atteindre un meilleur N foliaire. Il n'y a pas eu d'effet du type de paillis par la suite et peu d'effet de l'engrais N.

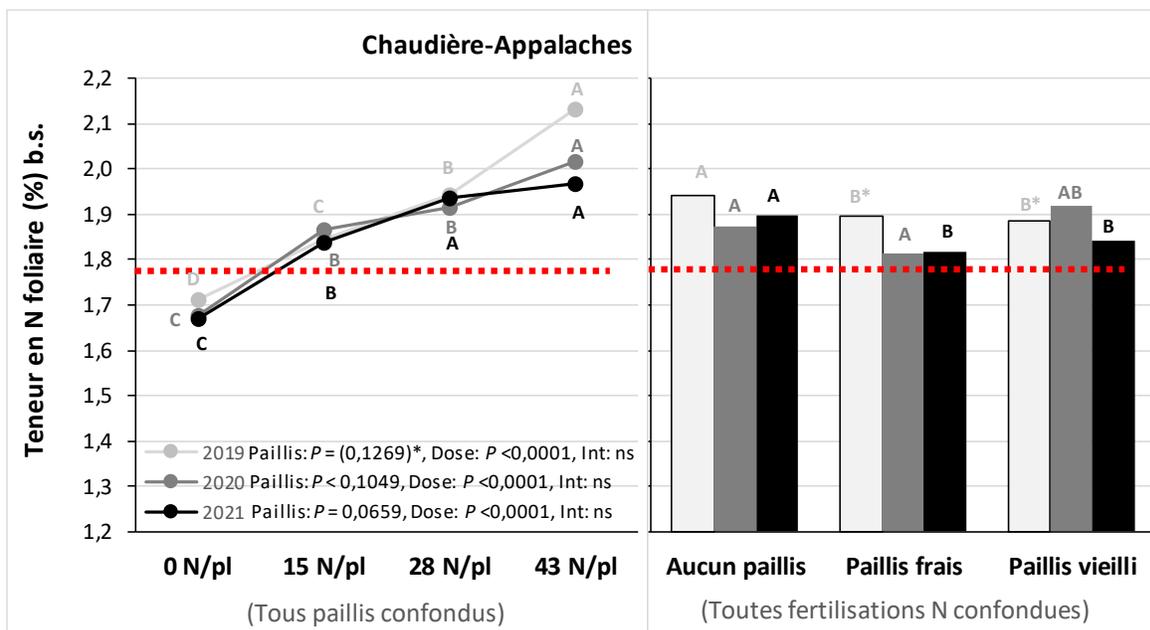


Figure 13 : Teneurs en N foliaire six semaines après floraison selon la dose saisonnière d'azote par plant, site de Chaudière-Appalaches en 2019, 2020 et 2021. Les lettres majuscules indiquent l'effet principal, de paillis ou de dose. Pour une même année, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$, excepté l'effet paillis en 2019 à $P = 0,1269$. b.s. : base sèche; ns : non-significatif; Int : Interaction.

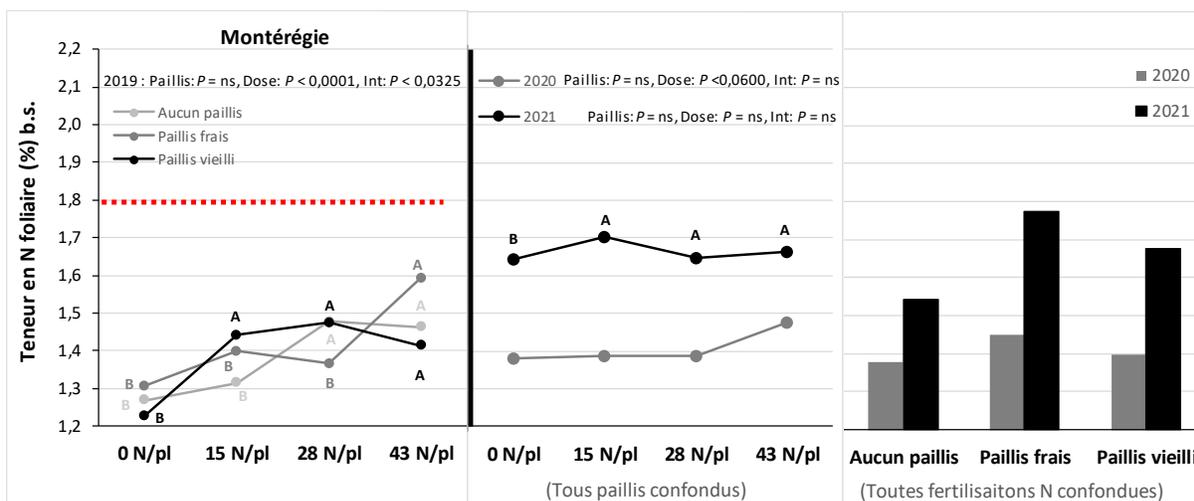


Figure 14 : Teneurs en N foliaire six semaines après floraison selon la dose saisonnière d'azote par plant, site de Montérégie en 2019, 2020 et 2021. Les lettres majuscules indiquent l'effet principal, soit de paillis ou de dose. Pour une même année, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction. Pour 2020 et 2021, en absence d'interaction Dose x Paillis, les effets de la fertilisation N et du type de paillis sont présentés sur des figures distinctes.

Étant donné l'inexistence de valeurs calibrées pour le Québec des teneurs foliaires en N pour le bleuets en corymbe, les connaissances acquises dans ce projet, vu le nombre d'années et régions couvertes, sont particulièrement intéressantes. Afin de maintenir un niveau nutritionnel au-dessus de la VMC, les résultats démontrent qu'il serait préférable d'appliquer de l'azote, mais cette proposition diverge des conclusions et des

recommandations à adopter en fonction des rendements en fruits et de leurs calibres. En effet, tel que rapporté à la section 2.1, l'apport de fertilisants azotés n'a permis de hausser ni les rendements ni les calibres. De plus, aucune carence azotée visuelle n'a été observée sur les plants. Lareau (1989) rapporte également (St-Jean-sur-le Richelieu, cultivars Northland, Berkeley et Rubel) que bien que les différents taux de 21-0-0 aient provoqué des différences dans les teneurs du sol en NO_3^- et NH_4^+ et en N dans le feuillage, aucune différence n'a été mesurée sur les rendements en fruits. Strik et al (2019), dans une étude sur 10 ans de la fertilisation du bleuets en corymbe en Nouvelle-Écosse, rapportent aussi n'avoir trouvé aucun lien entre les analyses foliaires, les rendements et la disponibilité du N dans les sols. Ils ont également observé que la teneur foliaire en N des plants plus vieux était plus basse que celle des plants plus jeunes. Les conclusions de ces études concordent avec les présentes observations. Il est donc à propos de se demander si les VMC du Guide actuel (Lareau et Urbain, 2008) sont adéquates pour le Québec.

2.4 Aoûtement et nouvelles pousses

L'aoûtement est le changement physiologique dans lequel le métabolisme du plant ralentit pour éventuellement entrer en dormance. Ce phénomène permet le durcissement des fibres des nouvelles pousses pour l'hiver. Sans le durcissement complet, les nouvelles pousses sont beaucoup moins tolérantes au froid. Un bon aoûtement qui se produit tôt à l'automne, dès le mois de septembre, permet d'optimiser la reprise l'année suivante. C'est la couleur du feuillage (rougissement) qui indique l'avancement du phénomène. Cette mesure a pu être évaluée visuellement en octobre 2021 sur le site de Chaudière-Appalaches. Les résultats ont montré que le type de paillis n'a pas eu d'influence sur l'aoûtement, tandis que la fertilisation azotée a eu un impact marqué dès la 1^{ère} dose de N (15 g N/plant/saison), et ce, sans effet du paillis (Figure 15). Ainsi, le feuillage dans les traitements sans azote était plus rouge, comparativement aux plants fertilisés en N qui ne montraient pas de différence entre eux.

Le nombre de pousses tardives, i.e. de nouvelles pousses observées au mois d'octobre, a également été compté lors de l'évaluation de l'aoûtement. Ces dernières sont moins résistantes aux gels hivernaux, ce qui entraîne leur mort et ultimement une perte de production l'année suivante. L'apparition de ces pousses n'est donc pas souhaitable. Au site de Chaudière-Appalaches, les résultats démontrent que la fertilisation azotée a eu un fort effet également sur ce paramètre, et ce, dès l'application de la plus petite dose (15 g N/plant/saison), pour tous les types de paillis, qui eux, sont sans effet sur ce paramètre (Figure 15). Chaque augmentation de la dose de N a entraîné une augmentation moyenne de 12 pousses tardives/ 3 plants.

Les plants non fertilisés apparaissent donc en meilleure posture pour survivre à l'hiver, où les risques que la saison froide affecte la productivité de la saison à venir sont moindres. Ce constat, combiné à ceux des analyses des rendements et des calibres, plaide à nouveau pour une limitation, voir une absence, d'apports d'engrais azotés dans le bleuets en corymbe.

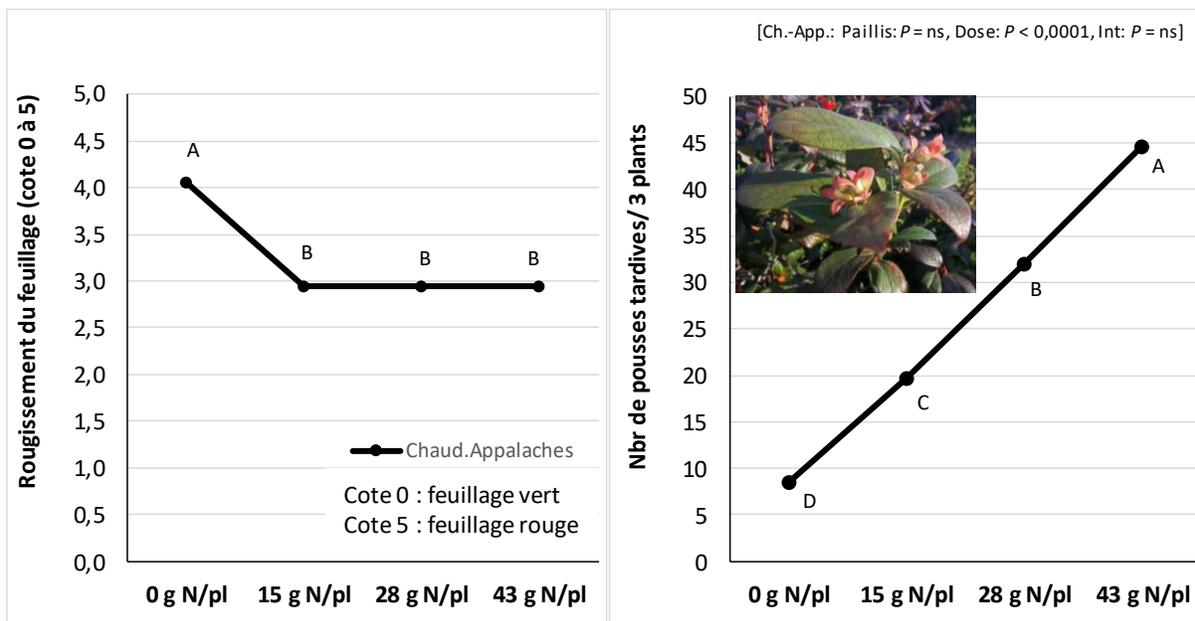


Figure 15 : Aoûttement du feuillage et nombre de pousses à croissance tardive, selon la dose saisonnière d'azote par plant, au site de Chaudière-Appalaches (9 octobre) en 2021. Les lettres majuscules indiquent l'effet de dose. Les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0.10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

3. Formes et disponibilité en azote du sol

Les contenus en azote minéral ($N-NO_3$ et $N-NH_4$) de la strate utile de sol (0-20 cm) en saison obtenus par extraction chimique (KCl) ponctuelles diffèrent grandement en quantité entre les deux sites. En effet, en Montérégie, les valeurs sont beaucoup plus basses qu'au site de Chaudière-Appalaches, tant pour le $N-NH_4$ (Montérégie : moy. 35 ppm, max. ≈ 147 ppm; Chaudière-Appalaches : moy. 62 ppm, max. ≈ 323 ppm) que le $N-NO_3$ (Montérégie : moy. 2,8 ppm, max. ~ 15 ppm; Chaudière-Appalaches : moy. 25 ppm, max. ≈ 81 ppm). Dans le cas du $N-NH_4$, la couverture végétale composée de mousses à la base des plants a pu retarder l'accès des granules de $N-NH_4$ au sol et en consommer une partie pour sa propre croissance. Dans le cas du $N-NO_3$, la différence est due aux fortes pertes, probablement par lessivage vu la nature très drainante du site. Cette hypothèse est soutenue par le suivi *in situ* des ions NO_3^- par les MEI (Figure 27) qui démontre bien qu'il y a eu des flux de nitrate dans ces sols, bien que les valeurs obtenues par les extractions chimiques ponctuelles soient près de zéro. Ainsi, seuls les contenus en ammonium sont discutés pour le site de Montérégie, car il est peu pertinent de tirer des conclusions sur l'effet des traitements, basées sur la variable nitrate.

3.1 Contenu en ammonium du sol

3.1.1 Pleine saison

Au site de Chaudière-Appalaches, la fertilisation et le type de paillis ont fortement influencé les contenus en N-NH₄ du sol à chaque année. Au stade floraison, l'effet des paillis sur le N-NH₄ devient significatif avec les années (Figure 16). Ainsi, en 2019, seule la fertilisation module les teneurs en N-NH₄ du sol et les teneurs augmentent significativement avec la dose de N (Figure 16). À partir de l'année suivante, la présence des paillis modifie l'effet de l'engrais. Ainsi, les sols fertilisés sans paillis contiennent de très fortes teneurs en N-NH₄ (moy. 178 ppm, max. 322 ppm), alors que ceux fertilisés avec paillis en sont presque dépourvus (moy. 16 ppm, max. 52 ppm). Avec le paillis, la disponibilité en N-NH₄ des traitements avec engrais est équivalente à celle des traitements sans engrais. Enfin, après 3 ans, les sols sans paillis contiennent toujours beaucoup plus de N-NH₄ (moy. 138 ppm, max. 204 ppm) que les sols paillés (moy. 33 ppm, max. 74 ppm), dans lesquels seule la plus forte dose de N (43 g/plant/saison) hausse les teneurs en N-NH₄ en comparaison du sol témoin sans azote (Figure 16). Enfin, quelle que soit l'année, il n'y a pas de différence entre les paillis frais et vieillis. Les résultats 4 semaines après la floraison sont très semblables à ceux du stade précédent, à la différence que le paillis a un effet dès la 1^{ère} saison sur la disponibilité en N-NH₄ du sol, les deux années où ce stade a été étudié (2020 non mesuré) (Figure 17). Les contenus en N-NH₄ des sols sans paillis étaient encore les plus élevés. Dans les sols paillés, les contenus en N-NH₄ sont moins déficitaires qu'au stade précédent et les doses de N plus élevées (28 et 43 g/plant/saison) ont haussé les teneurs en N-NH₄, en comparaison du sol du témoin 0N. Les résultats de 2021 du site de Montérégie (Figure 19) corroborent ceux du site de Chaudière-Appalaches. Tant à la floraison (Figure 18) que 4 semaines après celle-ci (Figure 19), les sols sans paillis contenaient davantage de N-NH₄ que ceux avec paillis, qui présentaient entre eux des valeurs non différentes. Par ailleurs, aux deux stades, la fertilisation azotée a haussé les contenus en N-NH₄ du sol, indépendamment des traitements de paillis (*P* de l'effet de la dose toujours < 0,01; Figures 18 et 19).

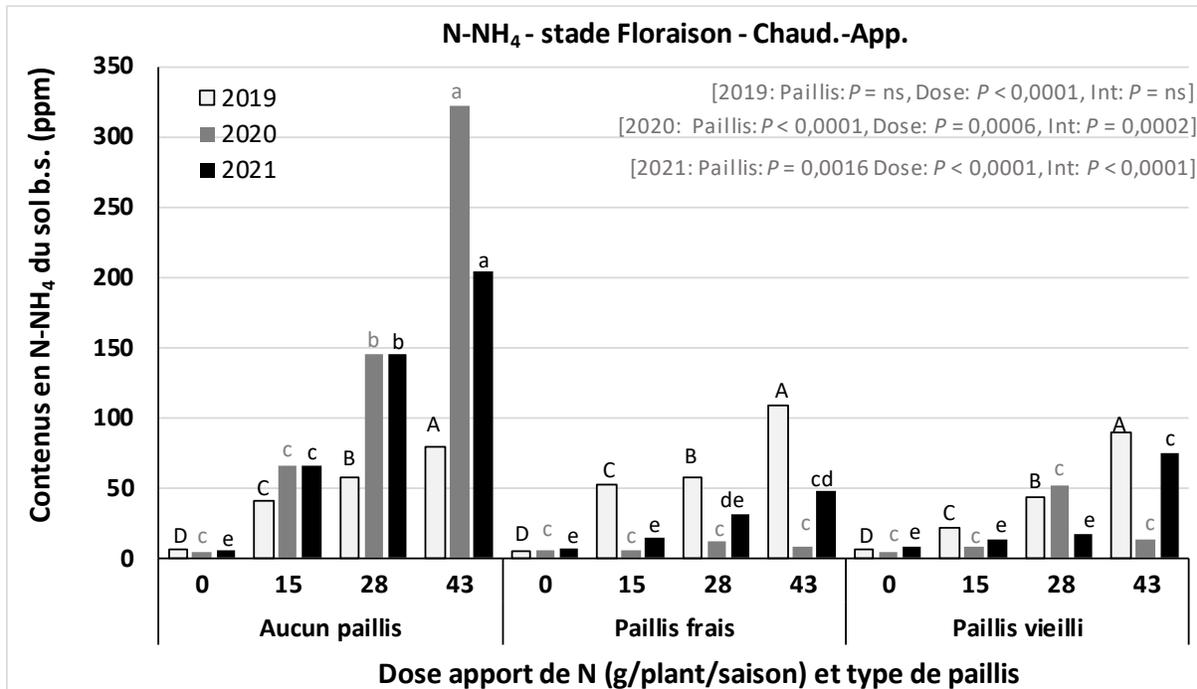


Figure 16 : Contenu en N-NH₄ du sol (0-20 cm) au stade floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches, de 2019 à 2021. 2019 : Les lettres majuscules indiquent l'effet principal de dose. 2020 et 2021 : Pour une même année, les lettres minuscules indiquent l'interaction Dose x Paillis. Chaque année, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

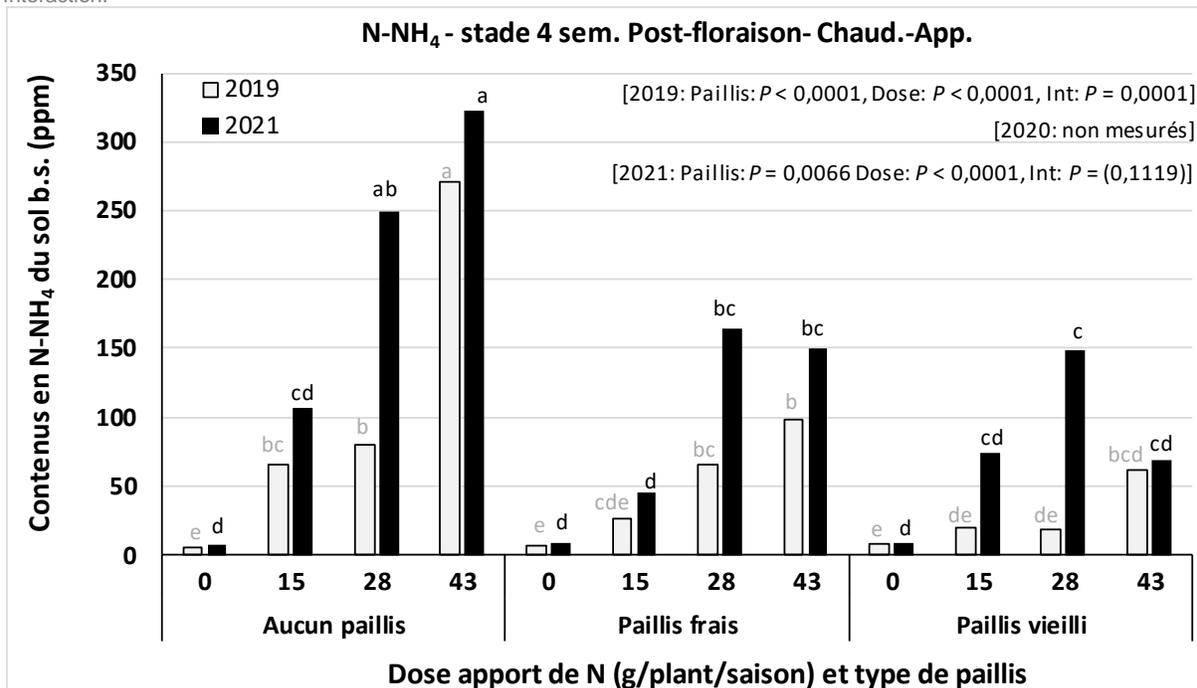


Figure 17 : Contenu en N-NH₄ du sol (0-20 cm) quatre semaines après floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches, de 2019 à 2021. Pour une même année, les lettres minuscules indiquent l'effet croisé Dose x Paillis. Chaque année, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. Pour 2021 l'interaction a été illustrée vu la très forte tendance près du seuil de $P = 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

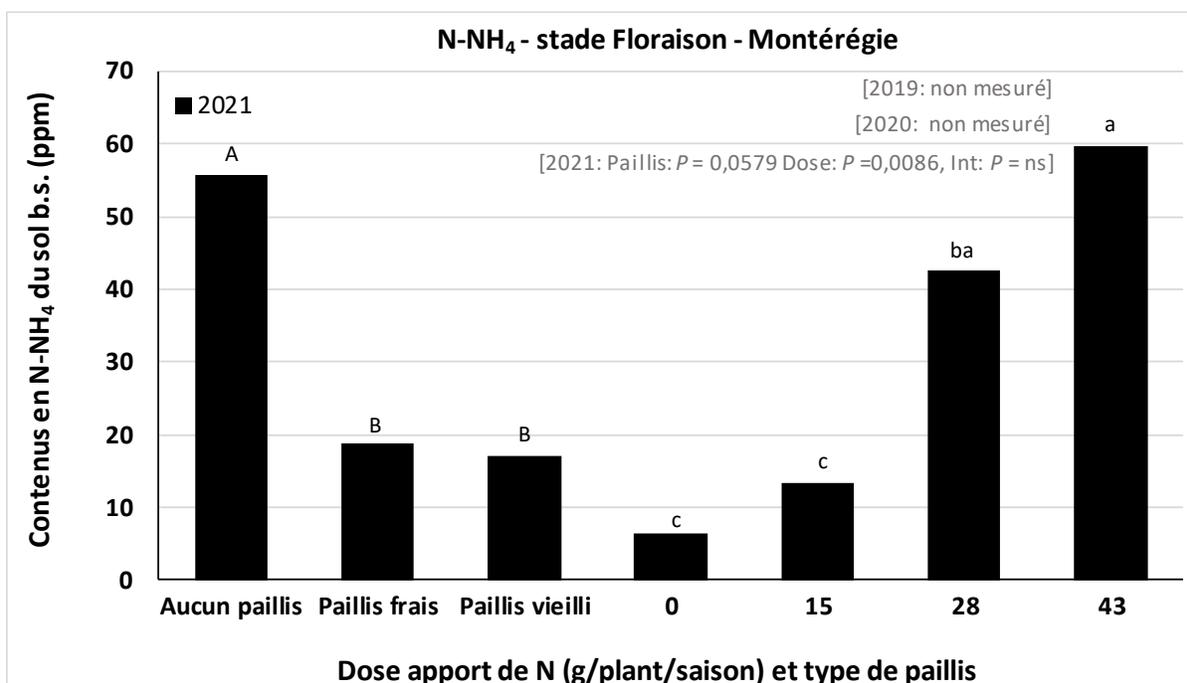


Figure 18 : Contenu en N-NH₄ du sol (0-20 cm) au stade floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Montérégie en 2021. Pour une même année, les lettres majuscules indiquent l'effet des traitements de paillis et les lettres minuscules l'effet des traitements de dose. Pour une même année et effet, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

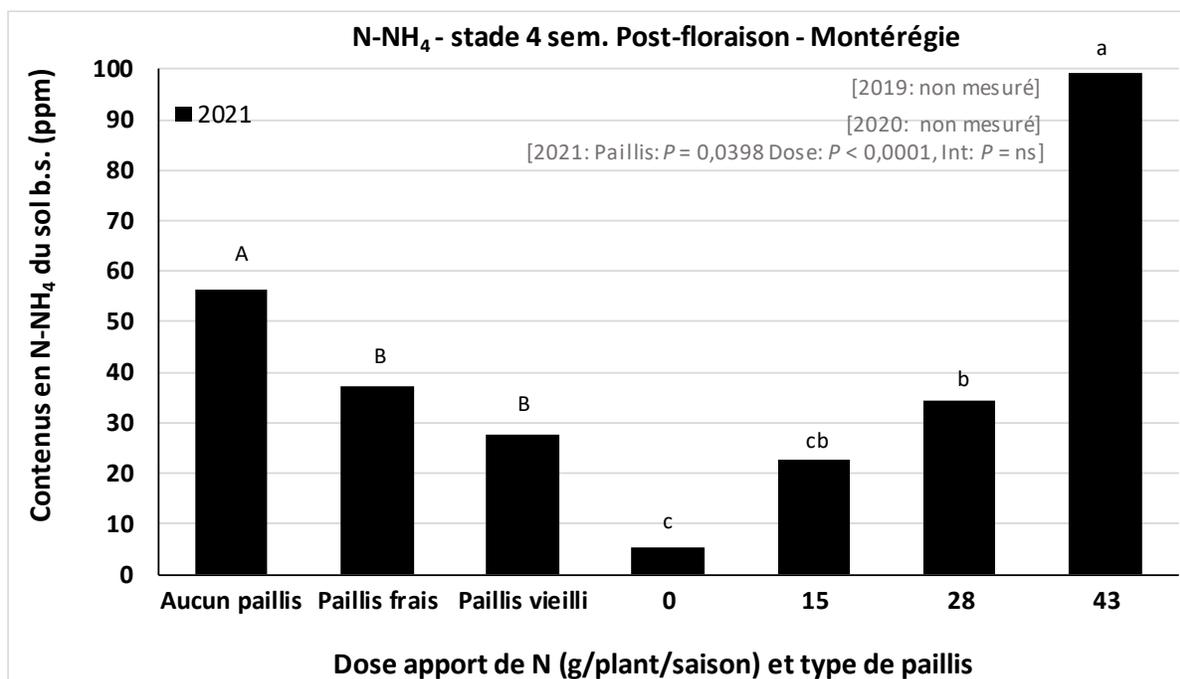


Figure 19 : Contenu en N-NH₄ du sol (0-20 cm) quatre semaines après floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Montérégie en 2021. Pour une même année, les lettres majuscules indiquent l'effet principal entre les traitements de Paillis et les lettres minuscules l'effet principal entre les traitements de Dose. Pour une même année et effet, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

Au global, il apparaît clairement que la présence des paillis n'a pas haussé pas le contenu en N-NH₄ du sol, mais l'a plutôt fait diminuer. Il se pourrait que l'adsorption des ions positif N-NH₄ sur les charges négatives de la matière organique des paillis explique en partie cette diminution. La matière organique est en effet riche en sites d'échanges chargés négativement, situés en surface des particules. Les cations y sont retenus, mais habituellement pas fortement, et ils réalimentent la solution du sol à mesure que ces derniers sont prélevés par les plantes. Dans le cas présent, de bonnes quantités d'ions NH₄⁺ semblent cependant demeurer fixés au paillis, puisque l'écart entre les sols sans paillis et avec paillis ne s'amenuise pas sur la période de l'étude. La dégradation des paillis devrait éventuellement les libérer. L'usage d'azote marqué aurait permis de suivre l'engrais apporté. À ce titre, dans une étude menée en pratique culturale réduite du maïs-grain, Chen et al. (2021) ont démontré avec du N¹⁵ que le paillis fixe une partie du NH₄⁺ et augmente aussi sa transformation en N organique. Cet effet peut ainsi être vu comme un avantage, puisque cela permet de mettre en réserve une partie du N minéral et de diminuer les pertes (volatilisation du NH₄⁺ et lessivage du NO₃⁻). Les paillis ont aussi pu faire un écran physique entre ceux-ci et le sol suivant leur application, mais cela ne peut expliquer un effet à moyen-long terme. La caractérisation des paillis en fin de projet soutient davantage l'idée d'une fixation d'une partie des ions NH₄⁺. En effet, aux deux sites, les paillis fertilisés se sont beaucoup plus enrichis en N que ceux non fertilisés (1,24 à 1,41 fois plus). De plus, l'augmentation de la teneur en N dépasse celle obtenue par la concentration de la matière suivant sa dégradation. Les paillis pourraient aussi avoir créé des conditions accélérant la nitrification par les microorganismes, par exemple par de meilleures conditions d'humidité du sol ou des apports de C labile. À ce propos, le suivi *in situ* avec les MEI indique que si des flux plus faibles de NH₄⁺ ont été captés dans les sols avec paillis, les flux de NO₃⁻ y sont en effet plus élevés, sauf en 2021 dans les sols avec paillis frais, produit qui présente plusieurs indices d'immobilisation du N au travers des paramètres testés dans cette étude. Sur la base des mesures prises, il n'est donc pas possible de déterminer avec certitude le devenir du N-NH₄ des engrais, mais quoi qu'il en soit, cela ne semble pas avoir affecté la productivité des plants puisque la fertilisation n'a apporté aucun gain de rendement ou de calibre aux deux sites, tant dans les sols sans qu'avec paillis.

3.1.2 Fertilisation résiduelle - printemps suivant

Suivant la fonte des neiges, un effet résiduel de la fertilisation de l'année précédente était visible aux deux sites. En Chaudière-Appalaches, au printemps 2020, les sols sans paillis ayant reçu 28 et 43 g N/plant/saison tendaient à contenir 3 à 5,5 fois plus de N-NH₄ que le sol témoin 0 N (aucun effet résiduel dans les sols avec paillis) (effet paillis : $P = 0,1360$, dose : $P = 0,1535$, paillis x dose : $P = ns$; Figure 20). Au printemps 2021, les sols sans paillis ayant reçu 28 et 43 g N/plant/saison contenaient cette fois significativement 3 et 7 fois plus de N-NH₄ que le sol non fertilisé en N (aucun effet résiduel dans les sols avec paillis) (effet paillis : $P = 0,0067$, dose : $P < 0,0001$, paillis x dose : $P = 0,0003$; Figure 20). Les quantités mesurées ont été grandement diminuées en comparaison des contenus mesurés à la toute fin de l'année précédente. Par exemple, le 8 août 2019, les contenus en N-NH₄ des sols fertilisés sans paillis étaient entre 47 et 267 ppm de N-NH₄ (Effets paillis : $P = 0,0007$, dose : $P = 0,0007$, paillis x dose : $P = 0,0256$; données non montrées). Le printemps suivant, en 2020, les teneurs résiduelles de ces mêmes sols avaient diminué entre 14 et 65 ppm. En Montérégie, le suivi printanier de 2021 du N résiduel a également indiqué que la fertilisation azotée de l'année précédente (2020) avait eu un effet très significatif sur celui-ci (Figure 21),

avec les plus fortes teneurs en N-NH₄ également mesurées dans les sols fertilisés avec 28 et 43 g N/plant/saison (effet dose : $P = 0,0064$). L'effet du paillis semblait pointer vers une teneur en N-NH₄ supérieure en absence de paillis, mais l'effet n'a pas été inférieur au seuil de signification ($P < 0,10$), ni à celui de la tendance ($0,10 < P < 0,15$). Il ressort donc que la fertilisation azotée doit être réfléchiée en conjuguant les risques de pertes plus élevés dans le milieu récepteur avec les doses croissantes de 21-0-0. Ceci d'autant plus que (i) une part importante des ions N-NH₄ des engrais semblent transformés en N-NO₃ à risque de lessivage (voir section 3.2) et que (ii) les teneurs accrues de N-NH₄ dans les sols fertilisés ne sont pas associées à des gains de rendement, de calibre, ni à un meilleur indice azoté foliaire. L'absence de nitrate dans les sols du site de Montérégie a bien démontré que le lessivage peut être un processus de perte important (voir section 3.2 et 3.3). La combinaison de ces résultats pointe donc vers une régie combinant une dose plus faible, voire un non-apport de N, combinée à la présence de paillis vieilli, seul traitement qui a permis d'améliorer le rendement et le calibre.

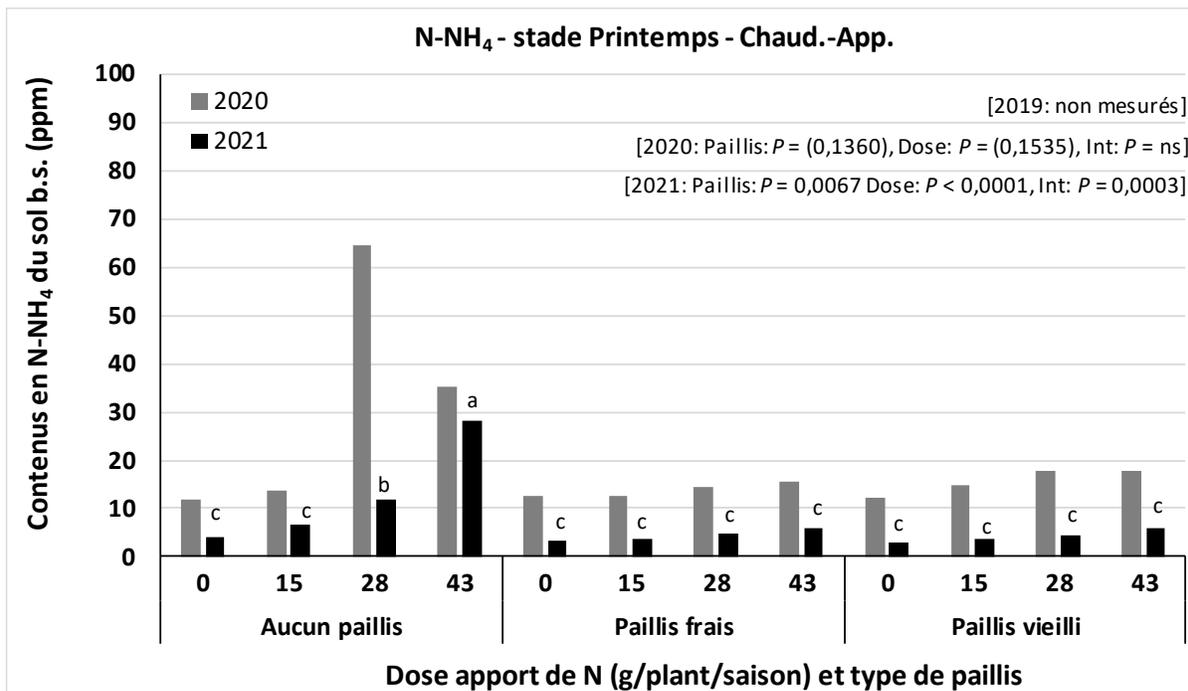


Figure 20 : Contenu en N-NH₄ résiduel du sol (0-20 cm) au printemps suivant la fonte des neiges, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches en 2020 et 2021. 2020 : Valeurs de P des effets principaux entre parenthèses car au seuil de tendance à $P 0,10 < 0,15$, données à titre indicatif. 2021: Pour une même année, les lettres minuscules indiquent l'effet croisé Dose x Paillis et les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

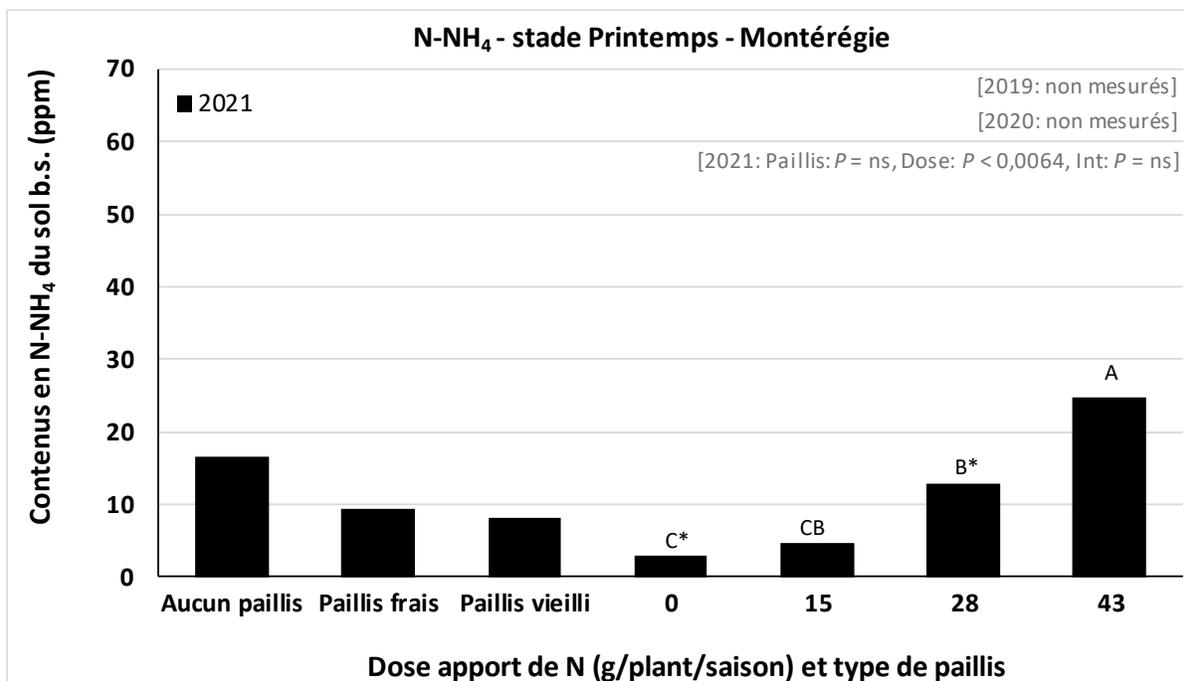


Figure 21 : Contenu en N-NH₄ résiduel du sol (0-20 cm) au printemps suivant la fonte des neiges, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Montérégie en 2020 et 2021. Pour une même année, les lettres majuscules indiquent l'effet principal entre les traitements de paillis et les lettres minuscules l'effet principal entre les traitements de dose. Pour une même année et effet, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$, sauf pour la comparaison 2021 de la dose de 0 et 28 g N/pl (a^* vs b^*), qui tend à être différente à $P = 0,1176$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

3.2 Contenu en nitrate du sol

Seuls les résultats de Chaudière-Appalaches sont discutés. En effet, les mesures ponctuelles du contenu en nitrate (extractions de sol au KCl) au site de Montérégie ont présenté des valeurs nulles pour toutes les dates et années. Considérant que des flux de N-NO₃ ont cependant été captés par les membranes d'échanges ioniques à ce site, (voir section 3.3), révélant qu'il y a eu une disponibilité en nitrate dans ce sol, ceci suggère qu'il y a eu un lessivage exhaustif du nitrate et qu'il est donc impossible de tirer des conclusions sur l'impact du paillis ou de la fertilisation sur la base des extractions ponctuelles.

3.2.1 Pleine saison

Dès le stade floraison, l'effet de la dose sur la disponibilité du nitrate a été très significatif à chaque année ($P = 0,0002$ à $0,0021$), avec le plus grand effet obtenu dès l'application de la plus petite dose (15 g N/plant/saison), laquelle a haussé entre 1,6 et 2,1 fois le contenu en N-NO₃ du sol, en comparaison du sol sans azote (Figure 22). Le paillis a également affecté la présence du N-NO₃ dès la 1^e saison et avec une intensité croissante par la suite ($P = 0,0941$, $0,0240$ et $0,0062$ pour respectivement 2019, 2020 et 2021; Figure 22). En effet, la disponibilité a été la plus faible avec le paillis frais, en comparaison des autres traitements. En 2019, les contenus en nitrate des sols avec paillis frais étaient 36 % plus faibles que ceux sans paillis ou avec paillis vieilli (paillis frais vs. sans paillis : $P = 0,0346$, paillis frais vs. vieilli : $P = 0,1438$). En 2020, les sols avec paillis frais contenaient 2 fois moins de nitrate que

les sols sans paillis ($P = 0,0087$) et tendaient à en contenir 1,4 fois moins que ceux avec paillis vieilli ($P = 0,1681$), tandis que les sols sans paillis contenaient plus de nitrate que les sols avec paillis vieilli (1,4 fois, $P = 0,0647$). En 2021, la différence entre le paillis frais et les autres régies s'est creusée, et ceux-ci contenaient 1,8 et 1,6 fois moins de nitrate que ceux respectivement sans paillis ($P = 0,0021$) ou avec paillis vieilli (1,6 fois; $P = 0,0159$). Quatre semaines après floraison (Figure 23), la fertilisation azotée haussait aussi la disponibilité du nitrate du sol. Dans tous les cas, il y a eu peu d'augmentation en $N-NO_3$ avec les doses supérieures à 15 g N/plant/saison, sauf en présence de paillis en 2021, où la dose de 28 g N/plant/saison a entraîné une disponibilité plus élevée. Aux doses de 0 et 15 g N/plant/saison, les sols avec paillis frais étaient ceux contenant le moins de nitrate. L'effet immobilisant de ce paillis est donc toujours visible.

Aux deux stades étudiés, le gain de disponibilité du nitrate du sol n'était donc pas proportionnel aux doses appliquées, puisqu'une forte partie de la hausse était obtenue dès l'apport de 15 g N/plant/saison. Par ailleurs, l'effet négatif du paillis frais sur la disponibilité du nitrate concorde avec les conclusions de la caractérisation biochimique du produit : le faible ISB (plus réactif) et le haut C/N (voir tableau 6), suggérait un potentiel immobilisant. De plus, le contenu en C_{eau} , source d'énergie pour les microorganismes du sol, était plus élevé. Cet effet concorde également avec les flux de $N-NO_3$ plus bas mesurée en 2021 dans ces sols (voir section 3.3). Il serait intéressant de continuer le suivi sur les années subséquentes, afin d'observer sur quelle durée s'étend cet effet immobilisant. De même, il serait pertinent de voir si cet effet est haussé en cas d'application répétée aux 3 ans d'une couche importante de paillis frais, ce qui semble probable vu que la différence est à son maximum lors de la 3^e année. Si la présence d'un paillis au pied des plants est souhaitée, pour lutter contre les mauvaises herbes ou améliorer la protection physique, le choix d'un paillis vieilli semble donc plus avantageux en termes de nitrate disponible à la culture, d'autant plus qu'il est le seul traitement à avoir amélioré le rendement et le calibre.

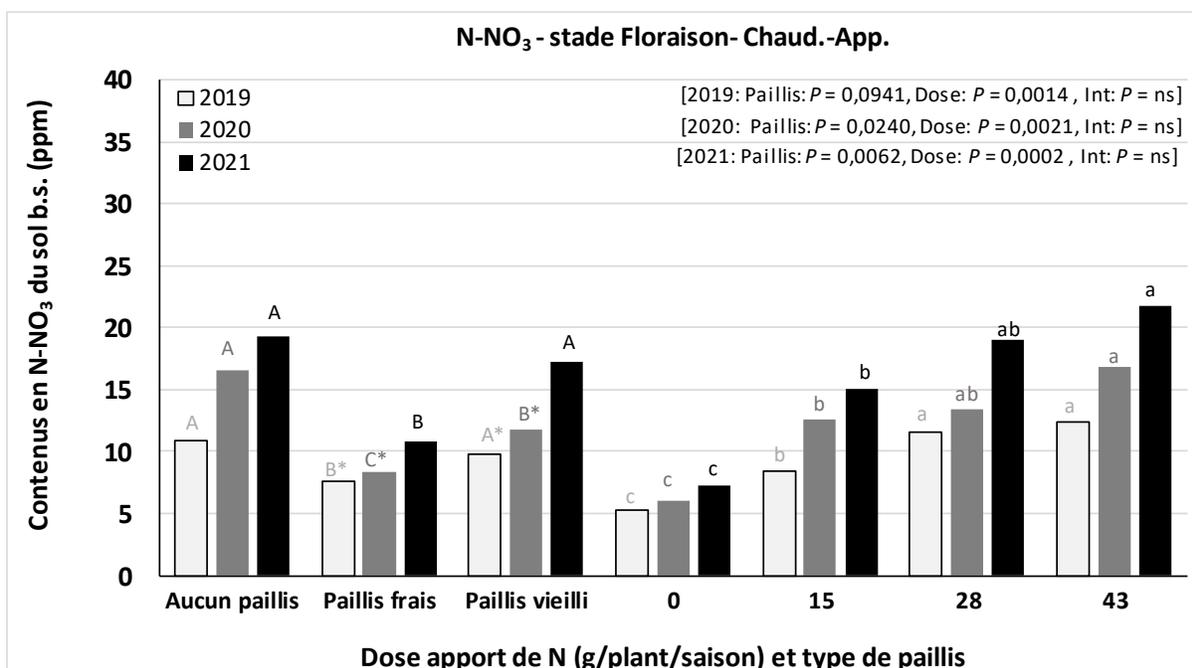


Figure 22 : Contenu en N-NO₃ du sol (0-20 cm) au stade floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches, de 2019-2021. Pour une même année, les lettres majuscules indiquent l'effet principal entre les traitements de paillis et les lettres minuscules l'effet principal entre les traitements de dose. Pour une même année et effet, les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$, sauf pour la comparaison 2019 paillis frais et vieilli (B* vs A*) qui tendait à être différente à $P = 0,1438$ et la comparaison 2020 paillis frais et vieilli (C* vs B*) dont la différence était à $P = 0,1681$. b.s. : base sèche; ns : non-significatif; Int : Interaction.

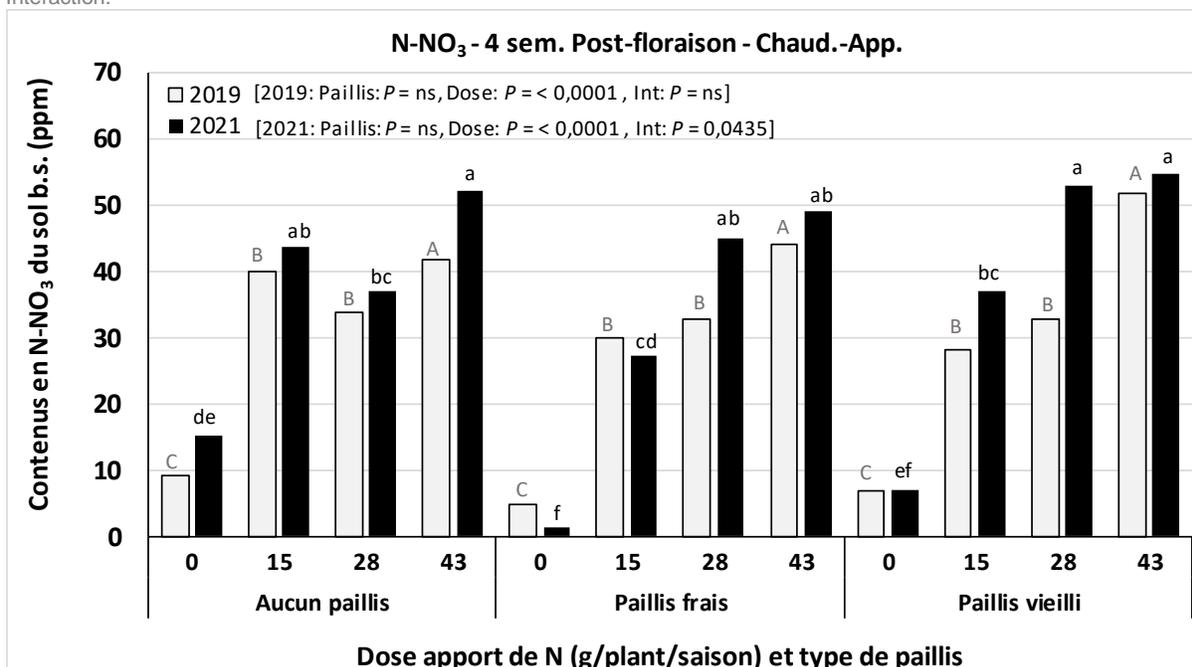


Figure 23 : Contenu en N-NO₃ du sol (0-20 cm) quatre semaines après floraison, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, au site de Chaudière-Appalaches, de 2019 et 2021. En 2019, en absence d'effet significatif de paillis et d'interaction paillis x dose, les lettres majuscules indiquent l'effet principal de dose pour un même paillis. En 2021, en présence de l'interaction paillis x dose, les lettres minuscules comparent les contenus en N-NO₃ au travers des effets de dose et de paillis. Les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$.

3.2.2 Fertilisation résiduelle - printemps suivant

Au site de Chaudière-Appalaches, un effet résiduel de la fertilisation a été observé sur le nitrate au printemps suivant (Figure 24). Les quantités retrouvées peuvent alors atteindre le tiers des teneurs les plus élevées du mois d'août de l'année précédente, soit jusqu'à près de 80 ppm, alors que 1 mois s'est écoulé depuis le dernier apport d'engrais minéral (Figure 25). Ainsi, l'apport de 21-0-0 a entraîné une hausse du N-NH₄ du sol, mais celle-ci a été suivie d'une augmentation du N-NO₃ lequel est à risque élevé de lessivage. À ce propos, les résultats du site de Montérégie, de nature drainante, démontrent bien que cela peut aller jusqu'à une quasi-absence de nitrate mesuré (moyenne saisonnière de 2 ppm) dans les sols, tout au long de la saison.

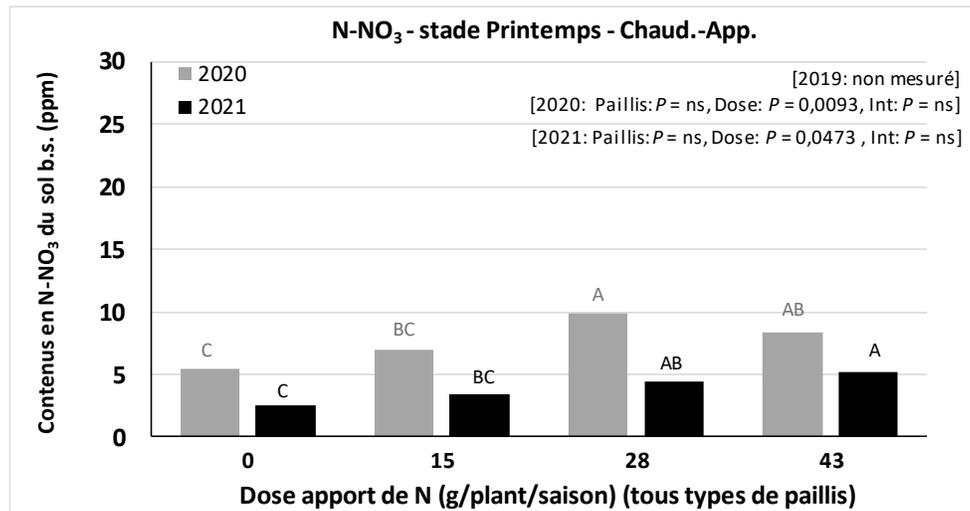


Figure 24 : Contenu en N-NO₃ résiduel du sol (0-20 cm) au printemps, selon la dose saisonnière d'azote par plant, au site de Chaudière-Appalaches en 2020 et 2021. Les lettres majuscules indiquent l'effet principal de dose à l'intérieur d'une même année. Les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. ns : non-significatif; Int : Interaction.

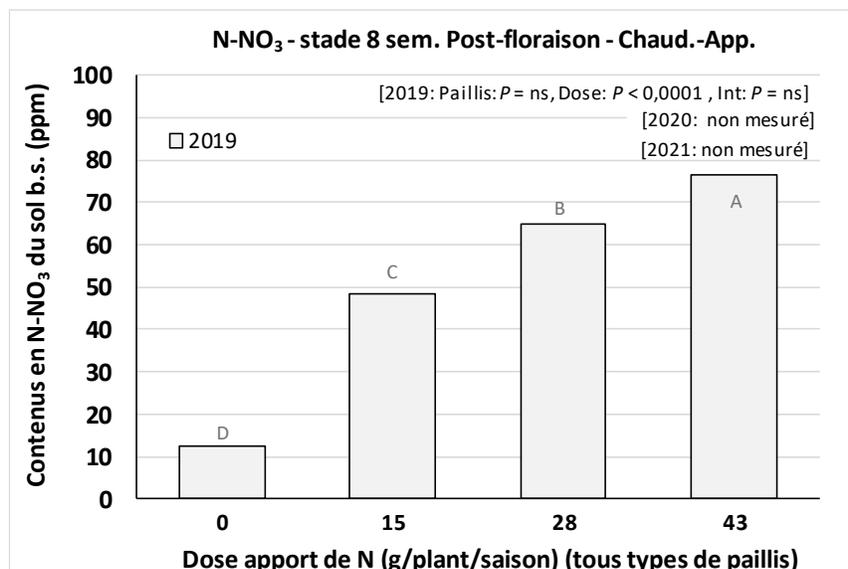


Figure 25 : Contenu en N-NO₃ du sol (0-20 cm) 8 semaines après floraison (8 août), selon la dose saisonnière d'azote par plant, au site de Chaudière-Appalaches en 2019. Les lettres majuscules indiquent l'effet principal de dose. Les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. b.s. : base sèche; ns : non-significatif; Int : Interaction.

3.2.3 Rapport ammonium vs nitrate

Les résultats des dosages ponctuels du N-NO₃ et N-NH₄ du sol au site de Chaudière-Appalaches ont démontré que la fertilisation a un effet plus marqué et que les types de paillis ont un impact plus tôt, soit dès la 1^{ère} saison, sur les contenus en N-NO₃ que sur ceux en N-NH₄. En effet, durant les 3 saisons et à tous les stades, l'apport de N minéral sous forme de NH₄ (21-0-0) s'est reflété fortement sur les contenus en N-NO₃ du sol (0-20 cm), avec un accroissement suivant les doses de N, quelle que soit la régie de paillis. Ceci appuie le constat de la présence d'une nitrification active du NH₄⁺ en NO₃⁻, malgré le faible pH des sols et la source ammoniacale acidifiante d'engrais (21-0-0). D'ailleurs, dans les sols non fertilisés, il n'y a pas une prépondérance du N-NH₄, en comparaison du N-NO₃ (Figure 26). À plusieurs moments, ce serait plutôt le nitrate qui a été davantage présent, et ce, bien qu'il s'agisse d'une bleuétière bien établie (12 ans). Des résultats similaires ont aussi été rapporté par Boivin et Landry (2011) pour une bleuétière en implantation (1-3 ans) au Québec. Les auteurs concluent qu'au cours des premières années, alors que le pH du sol continue à s'acidifier et que l'azote est apporté sous forme ammoniacale (21-0-0), le N-NO₃ occupe une place centrale dans la dynamique du N du sol. La fertilisation fait donc augmenter directement les quantités d'azote sous une forme lessivable. Sachant l'absence de gain au niveau des rendement et du calibre, cet aspect doit être considéré au moment de planifier la fertilisation, d'autant plus que toutes les doses ne donnent pas le même bénéfice en ce qui a trait à la hausse de disponibilité du N à la culture.

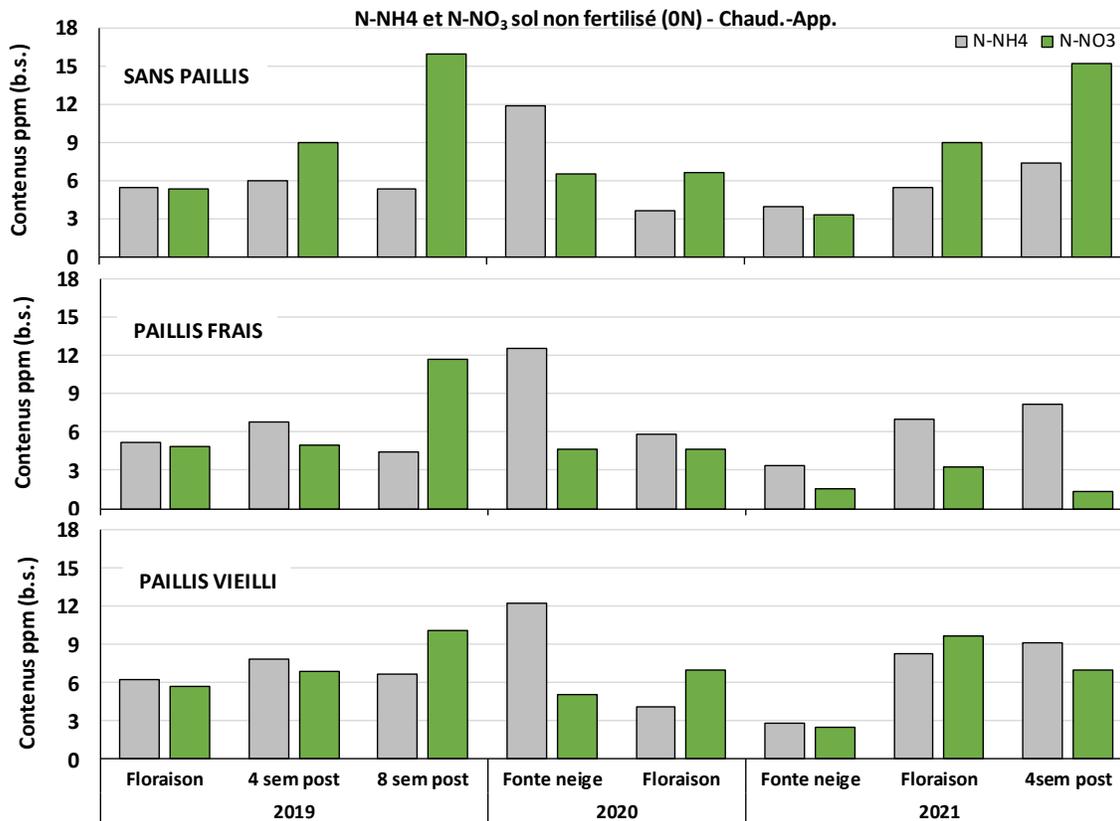


Figure 26: Contenu en N-NH₄ et N-NO₃ du sol (0-20 cm) non fertilisé pour chacun des types de paillis, au site de Chaudière-Appalaches, de 2019 à 2021.

3.3 Flux saisonnier in situ en ions ammonium et nitrate

La Figure 27 rapporte les flux cumulatifs d'ions N-NH₄ et N-NO₃ aux deux sites, pour les saisons 2019 et 2021. Elle permet de comparer les intensités d'ions disponibles dans les sols non fertilisés en azote et ceux recevant la dose de 43 g N/plant/saison, selon la présence ou non de paillis frais ou vieilli. La fertilisation azotée a eu davantage d'effet sur les flux d'ions que le type de paillis. Ainsi, aux deux sites et les deux années, la fertilisation a eu un effet très significatif tant sur les ions ammonium que nitrate, tandis que le paillis n'a eu un effet significatif qu'au site de Chaudière-Appalaches, pour l'ion N-NH₄ ou N-NO₃, selon les années. Enfin, l'interaction de la dose et du paillis n'a été significative qu'au site de Chaudière-Appalaches en 2019 pour les ions N-NH₄. Cependant, les résultats ont tout de même été présentés pour les différentes combinaisons de doses et de paillis, car bien que l'interaction ne soit pas significative, les résultats tendaient à aller dans le même sens aux divers sites et années. Cela dit, les comparaisons de moyennes portent quand même sur les effets principaux en absence d'interaction. Trois principaux constats ont été faits et sont relatés dans les paragraphes qui suivent.

Premier constat : Dans les sols sans fertilisation azotée, il y a eu une très faible présence d'ions N-NH₄ (moy. 10; de 1 à 30 µg/cm²/saison). En effet, ceux-ci étaient pratiquement absents des MEI aux deux sites et années. Ceci avait également été observé avec les extractions chimiques ponctuelles. Ainsi, le NH₄⁺ était faible naturellement dans les sols de

ces deux sites, tant en quantité qu'en intensité. En comparaison, les sols fertilisés présentaient des flux très élevés de N-NH_4 aux deux sites (moy. 367; 100 - 640 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{saïson}$). Il est donc aisé de conclure que la forte présence d'ions N-NH_4 sur les MEI en sols fertilisés a été issue des engrais 21-0-0 appliqués et que dans les sols non-fertilisés en N, les flux, bien que faibles, étaient majoritairement sous forme de N-NO_3 , malgré l'acidité des sols. Un résultat similaire a également été rapporté par Boivin et Landry (2011) dans une étude sur la fertilisation azotée d'une bleuëtière en corymbe au Québec.

Deuxième constat : La forte augmentation du contenu en N-NO_3 dans les sols fertilisés, en comparaison des sols non fertilisés, indique que les ions N-NH_4 du 21-0-0 ont été efficacement nitrifiés en N-NO_3 dans les sols fertilisés, malgré l'acidité des sols. Ces résultats concordent également ceux de Boivin et Landry (2011).

Troisième constat : Au site de Chaudière-Appalaches, la présence de paillis vieilli a augmenté d'un peu plus de 20 % les flux de N-NO_3 les deux années (toutes fertilisations confondues, interaction non significative). L'effet du paillis n'a pas été significatif en 2019 ($P = 0,2322$), mais l'est devenu en 2021 ($P = 0,0139$). Les sols avec paillis vieillis ont enregistré des flux de N-NO_3 de 24 % plus élevés que ceux des sols sans paillis ($P = 0,1045$) et 65 % plus élevés que ceux des sols avec paillis frais ($P = 0,0041$). Ceci pourrait s'expliquer par la production de nitrate par minéralisation avec le paillis vieilli, puisque les flux dépassent ceux du sans paillis. À l'opposé, le paillis frais a causé une baisse importante des flux de N-NO_3 en 2021 (-33 %, toutes fertilisations confondues, sans paillis vs. frais : $P = 0,1002$), suggérant une immobilisation du nitrate. Ce résultat corrobore ceux mesurés par extraction chimique, qui ont aussi permis l'observation d'un effet immobilisant du paillis frais, principalement au stade floraison, mais aussi au stade suivant, soit 1 mois plus tard.

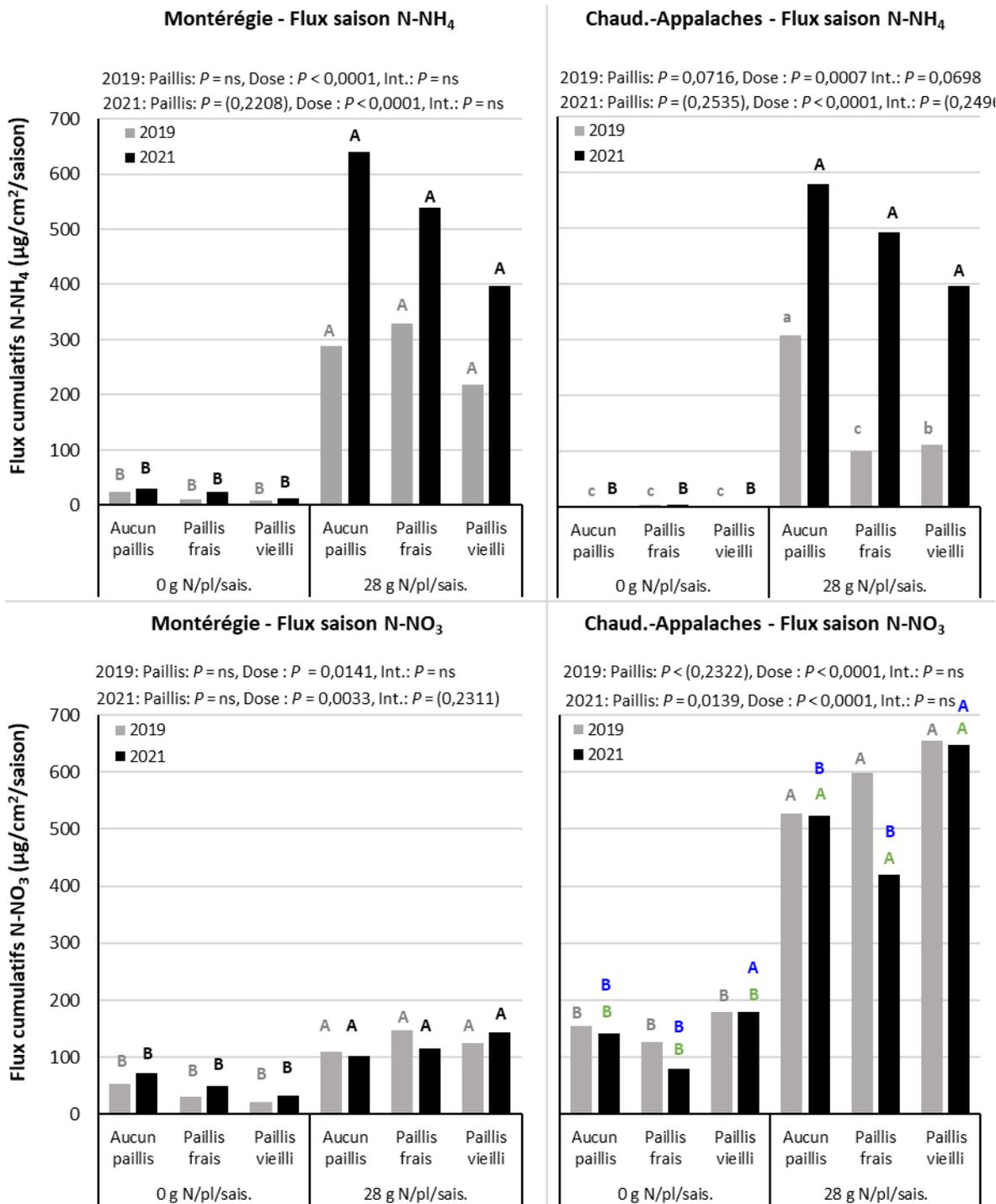


Figure 27 : Flux cumulatifs d'ions ammonium et nitrate, selon la dose saisonnière d'azote par plant et le type de paillis, aux sites de Montérégie et Chaudière-Appalaches (2019 et 2021). Montérégie : Pour une même année, les lettres majuscules indiquent l'effet principal de Dose, tout paillis confondus. Chaud.-App. N-NH₄ : 2019, les lettres minuscules comparent les flux de l'ensemble des combinaisons de traitements de doses et de paillis; 2021, les lettres majuscules indiquent l'effet principal de dose, tout paillis confondus. Chaud.-App. N-NO₃ : 2019, les lettres majuscules indiquent l'effet principal de dose, tout paillis confondus; 2021, les lettres majuscules vertes indiquent l'effet principal de dose, tous paillis confondus, et les lettres majuscules bleues, l'effet principal de paillis, toutes doses confondues. Les lettres distinctes sont différentes au seuil de $P < 0,10$. Les valeurs de P entre parenthèses sont présentées à titre informatif, mais sont non significatives. ns : non-significatif; Int : Interaction.

4. Recommandations sur la fertilisation azotée

Les besoins de fertilisation azotée du bleuets en corymbe pour des plants bien établis ont été faibles dans cette étude de 3 ans réalisée à deux sites satellites de régions contrastées, tel que révélé par l'analyse intégrée de divers paramètres végétaux (indice foliaire nutritionnel, rendement, calibre, aoûtement, pousses tardives). En effet, la fertilisation n'a entraîné aucun gain de productivité quant au poids de fruits vendables ou au calibre, à aucune année et aucun site. En fait, l'apport de 28 g N/plant/saison a plutôt mené à une baisse du calibre des fruits aux deux années de mesure en Montérégie et lors de la 3^e année en Chaudière-Appalaches. De surcroît, les rendements de 2021 en Chaudière-Appalaches ont diminué lorsque la fertilisation azotée était supérieure à 15 g N/plant/saison. Finalement, l'apport de N a retardé l'aoûtement et augmenté le nombre de pousses tardives, dès l'application de 15 g/plant/saison) en Chaudière-Appalaches, avec une tendance à plus de pousses tardives en Montérégie également.

Une revue de la littérature récente permet de constater que les apports de N recommandés varient en fonction de l'âge de plants et que les apports maximums, pour les plants les plus âgés (> 6 - 8 ans), se situent entre 18 et 48 g/plant/saison (moy. 35,5) (Tableau 7). Pour cette étude menée sous les conditions du Québec, dans deux régions contrastées en termes de température (degrés-jour) et de durée de la saison, la dose de 43 g N/plant/saison a été assurément trop élevée. L'apport de 28 g N/plant/saison, soit la dose actuellement recommandée, n'a pas non plus été optimale, puisque celle-ci n'a procuré aucun gain de rendement en comparaison du témoin et qu'elle a diminué les calibres. La recommandation d'une dose plus faible serait à préconiser. Cependant, la dose de 15 g N/plant n'a pas fait l'objet d'assez d'années de récolte pour permettre de se positionner hors de tout doute. Néanmoins, son suivi en 2021 en Chaudière-Appalaches a indiqué qu'en comparaison du 0 N, elle n'augmentait ni les rendements, ni les calibres, qu'elle retardait l'aoûtement et qu'elle haussait de 2,2 fois le nombre de pousses tardives/plant. La dose de la borne inférieure des recommandations de l'état de New York (18 g N/plant/saison) est donc celle qui s'approche le plus des présents résultats pour des arbres de +7 ans, ainsi que la recommandation du Wisconsin (14 g N/plant/saison à ajuster selon analyses foliaires) (Tableau 7). Une étude serait toutefois nécessaire pour voir si ces doses procurent un gain qui soit rentable en comparaison du non-apport de N. Ce dernier aspect est majeur, particulièrement au vu la hausse marquée du prix des engrais.

L'apport de paillis est apparu comme étant la pratique ayant le plus d'impact sur les rendements et les calibres, sans effet négatif sur l'aoûtement ou les pousses tardives. Le paillis vieilli a été le meilleur choix, car il a procuré des améliorations de productivité sans entraîner d'immobilisation de l'azote. Il a permis, en comparaison du sans paillis, d'augmenter le calibre des fruits en 2020 et les rendements en 2021. Le paillis frais a été moins intéressant, comme il n'a pas procuré de gain de rendement et n'a eu aucun effet positif sur le calibre des fruits. De plus, il a eu un effet immobilisant sur le N. Cela n'a pas nui au rendement puisque la fertilisation n'a pas augmenté la productivité, mais ce n'est pas un effet recherché en soi.

Tableau 7: Recommandations en azote pour les plants de bleuets en corymbe de divers états des États-Unis et provinces du Canada.

Provinces/États	Âge des plants (ans)	Fractionnement	Dose saisonnière de N		Source
			g N/plant	kg N/ha	
Ontario (CAN)	À l'établissement		14-18		Schooley et Huffman (2022)
	Années subséquentes	Oui (2)	Augmenter la dose de 4 à 6 g N/plant par année jusqu'à un total de 36 à 48 g N/plant		
Colombie-Britannique (CAN)	1		6*	15*	AgriService BC (2022)
	2		8.5	20	
	3		14	35	
	4	Oui (2)	23	55	
	5		28	70	
	6		31	80	
	7		40	100	
	8*		45	115-155	
Michigan (CAN)	2		7*	17	Hanson et Hancock (2016)
	4	Oui (2-3)	14	34	
	6		20	50	
	8		30	73	
Maine (É-U)	À l'établissement		3-6		University of Maine (2022)
	1		6		
	2		11		
	3	Oui (1-2)	17		
	4		23		
	5		28		
	6+		34		
New Hampshire (É-U)	À l'établissement		4-6		Sideman (2016)
	1		4-6		
	2		9		
	3	Oui (1-2)	12		
	4		18		
	5		20-24		
New York (É-U)	1-2		7-9*	17-22	Pritts et al. (2015)
	3-4	Oui (2)	9-18	22-45	
	5-6		14-27	34-67	
	7+		18-32	45-78	
Wisconsin (É-U)	À l'établissement	Oui (3)	14*	34	Laboski et Peters (2012)
	Années subséquentes		Selon les résultats de l'analyse foliaire		

* Basé sur 2470 plants/ha. **Facteurs de conversion : 1 oz = 28,3495 g ; 1 lb/ac = 1,12 kg/ha.

CONCLUSION

Cette expérience a permis d'évaluer l'effet de la présence et du type de paillis sur les besoins en azote du bleuétier en corymbe dans les conditions du Québec. En effet, beaucoup des producteurs québécois utilisent le paillis de copeaux de bois à la base des plants dans l'objectif de lutter contre les mauvaises herbes. Comme pour tout amendement organique, les caractéristiques biochimiques du paillis, et notamment son niveau de maturation et ses teneurs en carbone et azote ont un impact décisif sur son taux de décomposition, de production ou d'immobilisation du N minéral, ce qui est à même de modifier les besoins de fertilisation azotée.

D'une part, la fertilisation a fortement et rapidement haussé les teneurs en N-NH₄, mais aussi en N-NO₃, du sol. En effet, malgré le faible pH des sols et l'application d'azote sous forme de sulfate d'ammonium, le nitrate a représenté une proportion très importante du N disponible, surtout dans les sols avec paillis, et ce même dans les sols non fertilisés. Par ailleurs, la hausse du N-NH₄ du sol suivant les doses d'apport d'engrais a été de beaucoup diminuée en présence de paillis, tandis que les valeurs de N-NO₃ étaient similaires. Ceci, combiné au fait que conjointement, les paillis (frais et vieillis) se soient de beaucoup enrichis en azote au cours des essais les parcelles fertilisées, suggère qu'une partie du N-NH₄ appliqué a été retenue par les paillis. Il est probable que ces ions seront éventuellement relâchés avec la dégradation de celui-ci. D'autre part, la fertilisation azotée n'a entraîné aucun gain de calibre ou de rendement mais a retardé l'aoûtement et augmenté le nombre de pousses tardives, deux facteurs qui nuisent à la survie hivernale. À l'opposée, le type et la présence de paillis ont eu un effet positif tant sur les rendements que sur les calibres, sans effet négatif sur les autres paramètres mesurés, exception faite d'une certaine immobilisation du N par le paillis frais. Ainsi, c'est principalement le paillis vieilli qui a permis d'augmenter les calibres dès la 1^{ère} saison aux deux sites et les rendements à la dernière année de l'essai (2021) au site de Chaudière-Appalaches. Enfin, malgré l'absence de réponse à la fertilisation azotée, l'apport d'azote a permis d'augmenter significativement le N foliaire des plants de bleuets. Cependant, tel que mentionné, il n'y a pas eu de lien entre cette hausse et la productivité. De plus, au site de la Montérégie où les plants étaient plus âgés, les valeurs de N foliaire minimales critiques n'ont jamais été atteintes. Ces résultats indiquent qu'il serait pertinent d'établir des seuils foliaires de références propres aux bleuetières québécoises.

En somme, cette étude indique que la dose d'azote recommandée actuellement par le CRAAQ (2008) n'entraîne pas sur une période de 3 ans de gain de productivité pour des bleuetières bien établies (12 et 24 ans), au contraire du paillis vieilli 3 ans. Cet essai a plutôt mis l'emphase sur les risques entraînés par les apports d'azote quant à la survie à l'hiver et lessivage du nitrate résiduel.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Dans le cadre du projet, des présentations ont été faites lors de journées d'informations et aux producteurs du Club Conseil du Corymbe. D'autres présentations sont également à venir. Ce rapport et la fiche-synthèse seront déposés sur le site d'Agri-Réseau et diffusés sur différentes plateformes web, dont la page Facebook et le site web du Groupe PleineTerre.

Estimer le nombre d'entreprises touchées par les résultats du projet	200
--	-----

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Les résultats nous amènent à penser que la culture du bleuets en corymbe ne nécessite pas d'amendement azoté annuel tel que proposé par le guide de référence sur la culture du bleuets en corymbe (Lareau, M. J. et Urbain, L., 2008). Ces nouvelles recommandations auraient des effets positifs sur la diminution des GES, les pertes d'azote par lessivage et, finalement, sur la rentabilité des entreprises. Les paillis vieillis seraient à privilégier, car les rendements semblent meilleurs, mais aussi, car les résultats indiquent que celui-ci ne provoque pas la même immobilisation significative des ions nitrate qu'observée avec les paillis frais. L'utilisation de paillis permet aussi un meilleur contrôle des mauvaises herbes et le maintien de l'humidité du sol. Donc, une entreprise qui reçoit du paillis frais devrait le laisser vieillir en tas pour une durée minimale de 2 à 3 ans, avant de l'appliquer à la base des plants.

PERSONNES-RESSOURCES POUR INFORMATION

Violaine Joly-Séguin, agronome
Groupe PleineTerre inc
169-B, St-Jacques, Napierville (Qc), J0J 1L0
vjolyseguin@pleineterre.com

Christine Landry
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
2700 rue Einstein, Québec (Qc), G1P3W8
Christine.landry@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Merci aux deux entreprises ayant participé au projet, pour le temps et les superficies laissées à la disposition du projet : la Bleuetière Planète bleue et la Bleuetière Lapointe.

Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 3.1 du programme Prime-Vert – Appui au développement expérimental, à l'adaptation technologique et au transfert technologique des

connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

RÉFÉRENCES

Boivin, C. et C. Landry. 2011. Impact de l'irrigation sur la dynamique de l'azote du sol, la nutrition, le rendement et la qualité du bleuets en corymbe en implantation. Rapport final, projet CDAQ #6254, 45 pages.

Chen, H.H., Liu, Y., Lü, L.P., Yuan, L., Jia, J.C., Chen, X., Ma, J., Zhao, Z.C., Liang, C., Xie, H.T. et al. 2021. Effects of no-tillage and stover mulching on the transformation and utilization of chemical fertilizer N in Northeast China. *Soil Tillage Res.* 213, 105-131.

Clark, J.-R. et al. 1989. Establishment period fertilisation of 'Buecrop' blueberry. Second year results. *Research Series - Arkansas Agriculture Experiment Station.* 398, 5-7.

Clark, J.-R. et al. 1992. Establishment period fertilization of 'Bluecrop' blueberry: fourth year result and final report. *Research Series - Arkansas Agricultural Experiment Station.* 421, 105-108.

Clark, J.-R., et al. 1989. Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Research Series - Arkansas Agricultural Experiment Station.* 385, 7-9.

Conseil des Productions Végétales du Québec (CPVQ). 1988. Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des végétaux. AGDEX 533. Gouvernement du Québec, Québec, QC.

CRAAQ. 2010. Guide de référence en fertilisation. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (2e éd.). Commission chimie et fertilité des sols Québec, Canada.

Duval, J. 1993 Fertilisation du bleuets en production biologique. AGRO-BIO-330-11. *Ecological Agriculture Projects.* <https://www.eap.mcgill.ca/agrobio/ab330-11.htm> (page consultée en juin 2022).

Garcia, C., Hernandez, T. et Costa, F. 1990. Study on water extract of sewage sludge compost. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37(3):399-408.

Giroux, M. Audesse, P. 2004. Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. *Agrosol* 15, pp. 107-110.

Goulart, B.-L. et al. 1996. Organic matter and nitrogen level effects on mycorrhizal infection in 'Bluecrop' highbush blueberry plants. *Journal of small fruit & viticulture*, 3(4), 151-164.

Isaac, R. A., & Johnson, W. C. 1976. Determination of total nitrogen in plant tissue, using a block digester. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 59(1), 98-100.

Lareau, M. J. et Urbain, L. 2008. La culture du bleuets en corymbe. Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ).

Lareau, M.J. 1989. Growth And Productivity Of Highbush Blueberries As Affected By Soil Amendments, Nitrogen Fertilization And Irrigation. *Acta Hort.* 241, 126-131 DOI: 10.17660/ActaHortic.1989.241.19

Littel, R., G. Milliken, W. Stroup, R. Wolnger, and O. Schabenberger. 2006. SAS for Mixed Models (2nd ed.). Cary: SAS Press.

Montalba, R. et al. 2010. Effects Of Conventional And Organic Nitrogen Fertilizers On Soil Microbial Activity, Mycorrhizal, Leaf Antioxidant Content, And Fusarium Wilt In Highbush Blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.). *Scientia Horticulturae*, 125 (4), 775-778

Pilar Bañados, M., Strik, B. C., Bryla, D. R. et Righetti, T. L. 2012. Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment-I. Accumulation and Allocation of Fertilizer Nitrogen and Biomass. *HortScience*, 47(5), 648-655.

Pritts, M. et Hancock, J. 1992. Highbush Blueberry Production Guide. Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

Strik, B. C., Vance, A., Bryla, D. R. et Sullivan, D. M. 2019. Organic production systems in northern highbush blueberry: II. Impact of planting method, cultivar, fertilizer, and mulch on leaf and soil nutrient concentrations and relationships with yield from planting through maturity. *HortScience*, 54(10), 1777-1794.

Tran, T. S., Simard, R. R., & Carter, M. R. 1993. Soil sampling and methods of analysis.

ANNEXE(S)

Dispositif Chaudière-Appalaches

Plant à échantillonner *
 Hobo (chiffre entre parenthèses = numéro de hobo)



Bloc 1			
Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle
Paillis vieilli	8	43	P12
	7		
	6		
	5		
	4		
	3		
	2		
	1	28	P11
	8		
	7		
	6		
	5		
4			
3			
2	15	P10	
1			
8			
7			
6			
5			
4			
3	0	P9	
2			
1			
8			
7			
6			
5	0	P8	
4			
3			
2			
1			
8			
7	15	P7	
6			
5			
4			
3			
2			
1	28	P6	
8			
7			
6			
5			
4			
3	43	P5	
2			
1			
8			
7			
6			
5	15	P4	
4			
3			
2			
1			
8			
7	0	P3	
6			
5			
4			
3			
2			
1	43	P2	
8			
7			
6			
5			
4			
3	28	P1	
2			
1			

Rang 1

Bloc 2				
Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	
Aucun paillis	8	43	P24	
	7			
	6			
	5			
	4			
	3			
	2			
	1	28	P23	
	8			
	7			
	6			
	5			
4				
3	15	P22		
2				
1				
8				
7				
6				
5	0	P21		
4				
3				
2				
1				
8				
7	0	P20		
6				
5				
4				
3				
2				
1	15	P19		
8				
7				
6				
5				
4				
3	28	P18		
2				
1				
8				
7			43	P17
6				
5				
4				
3				
2				
1	15	P16		
8				
7				
6				
5				
4				
3	0	P15		
2				
1				
8				
7			43	P14
6				
5				
4				
3				
2				
1	28	P13		
8				
7				
6				
5				
4				
3				
2				
1				

Rang 2

Bloc 3				
Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	
Paillis frais	8	43	P36	
	7			
	6			
	5			
	4			
	3			
	2			
	1	28	P35	
	8			
	7			
	6			
	5			
4				
3	15	P34		
2				
1				
8				
7			0	P33
6				
5				
4				
3				
2				
1	0	P32		
8				
7				
6				
5				
4				
3	15	P31		
2				
1				
8				
7			28	P30
6				
5				
4				
3				
2				
1	43	P29		
8				
7				
6				
5			15	P28
4				
3				
2				
1	0	P27		
8				
7				
6				
5			43	P26
4				
3				
2				
1	28	P25		
8				
7				
6				
5				
4				
3				
2				
1				

Rang 3

Dispositif Montérégie

Bloc 1											
Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle
Aucun paillis	7	15	P4	Paillis frais	7	0	P8	Paillis vieilli	7	43	P12
	6										
	5										
	4										
	3										
	2										
	1										
	7	0	P3		6 (2)	15	P7		7	28	P11
	6										
	5										
	4										
	3										
2											
1											
7	43	P2	6	28	P6	6 (3)	15	P10			
5											
4											
3											
2											
1											
7	28	P1	6	43	P5	7	0	P9			
5											
4											
3											
2											
1											

Bloc 2											
Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle
Paillis frais	7	15	P16	Paillis vieilli	7	15	P20	Aucun paillis	7	43	P24
	6										
	5										
	4										
	3										
	2										
	1										
	7	0	P15		7	28	P19		7	15	P23
	6										
	5										
	4										
	3										
2											
1											
7	43	P14	6	43	P18	7	28	P22			
5											
4											
3											
2											
1											
7	28	P13	6	0	P17	7	43	P21			
5											
4											
3											
2											
1											

Bloc 3											
Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle	Paillis	Plant	Dose N (g N / plant / saison)	Parcelle
Paillis vieilli	7	15	P28	Aucun paillis	7	15	P32	Paillis frais	7	43	P36
	6										
	5										
	4										
	3										
	2										
	1										
	7	0	P27		6	28	P31		7	28	P35
	6										
	5										
	4										
	3										
2											
1											
7	43	P26	6	43	P30	7	15	P34			
5											
4											
3											
2											
1											
7	28	P25	6	0	P29	7	43	P33			
5											
4											
3											
2											
1											

Plant à échantillonner
 Emplacement du Hobo (chiffre entre parenthèses = numéro de hobo)