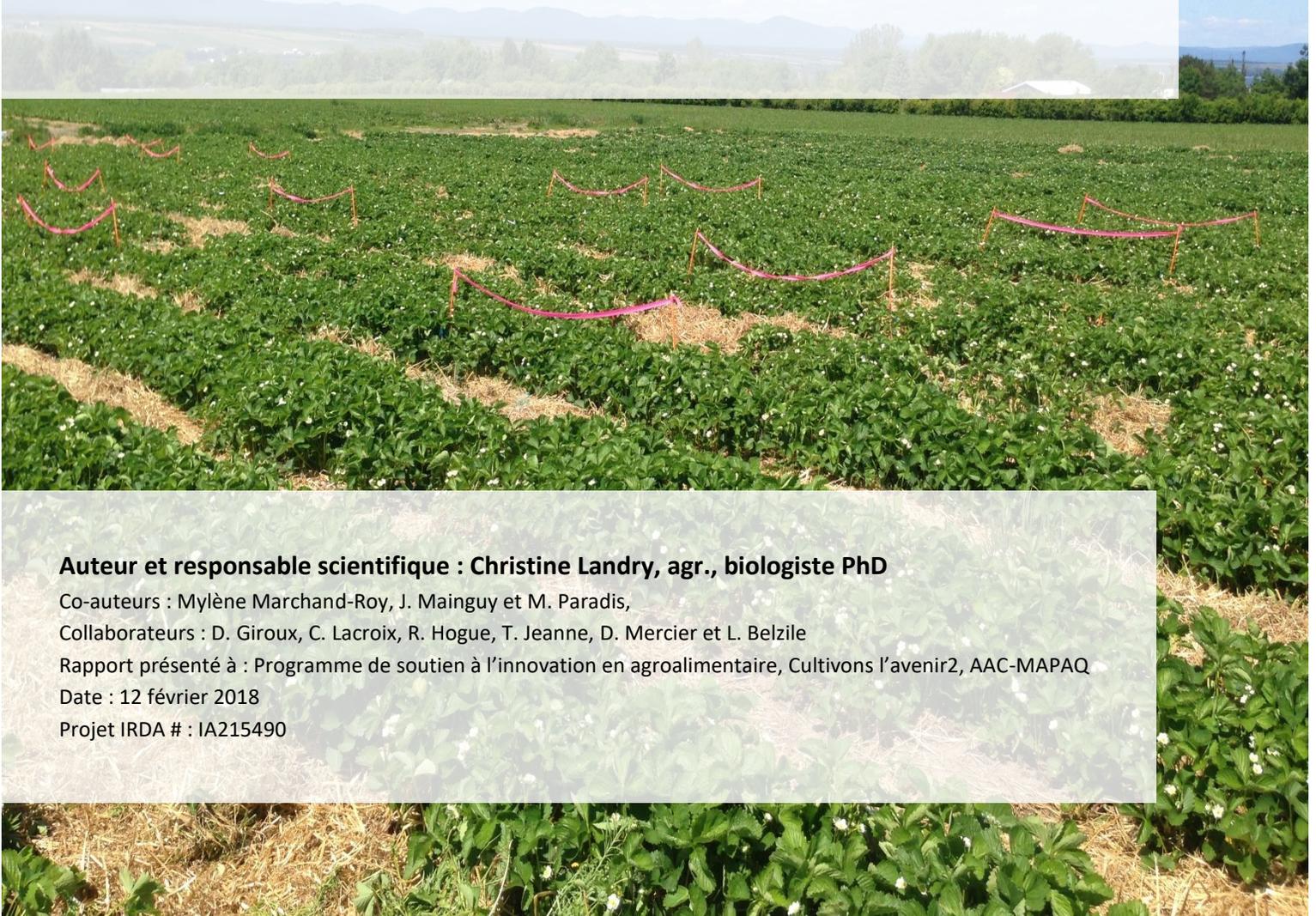




INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
ИИ АСВОЕИИЛІВОИИЕИИ
ET DE DÉLEГOБЪЕИИ

RAPPORT FINAL 2015-2016

DÉVELOPPEMENT D'UNE RÉGIE DE CULTURE MISANT SUR L'AMÉLIORATION DE LA SANTÉ DES SOLS POUR RÉTABLIR LE POTENTIEL DE RENDEMENTS DE SITES DE FRAISIÈRES EN RANGS NATTÉS PRÉSENTANT UN HISTORIQUE DE DÉPÉRISSEMENT



Auteur et responsable scientifique : Christine Landry, agr., biologiste PhD

Co-auteurs : Mylène Marchand-Roy, J. Mainguy et M. Paradis,

Collaborateurs : D. Giroux, C. Lacroix, R. Hogue, T. Jeanne, D. Mercier et L. Belzile

Rapport présenté à : Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, Cultivons l'avenir2, AAC-MAPAQ

Date : 12 février 2018

Projet IRDA # : IA215490

L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille à chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Notre vision

En 2016, l'IRDA est reconnu à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

PARTENAIRES



Développement d'une régie de culture misant sur l'amélioration de la santé des sols pour rétablir le potentiel de rendements de sites de fraisières en rangs nattés présentant un historique de dépérissement
Rapport final 2015-2016

Présenté à : **Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, Cultivons l'avenir 2, AAC – MAPAQ.**

Préparé par :

Christine Landry, agr., biol., Ph.D
Chercheure IRDA

Mylène Marchand-Roy, agr., M.Sc.
Professionnelle de recherche, IRDA

Julie Mainguy, agr.
Professionnelle de recherche, IRDA

Mélissa Paradis, biol. M.Sc
Professionnelle de recherche, IRDA

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIT :

Landry, C., M. Marchand-Roy, J. Mainguy et M. Paradis. 2018. Développement d'une régie de culture misant sur l'amélioration de la santé des sols pour rétablir le potentiel de rendements de sites de fraisières en rangs nattés présentant un historique de dépérissement. Rapport final. IRDA. 30 pages.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable scientifique : Christine Landry, Ph. D., IRDA

ÉQUIPE DE RÉDACTION DU RAPPORT

- Chercheur principal, Christine Landry, Ph. D., IRDA
- Mylène Marchand-Roy, M. Sc., IRDA
- Julie Mainguy, B.Sc., IRDA
- Mélissa Paradis, M. Sc., IRDA

COLLABORATEURS

- Michèle Grenier, biostatisticienne, IRDA
- Denis Giroux, Club agro en horticulture, Réseau de lutte intégrée Bellechasse (RLIB)
- Christian Lacroix, MAPAQ
- Donald Mercier, Ferme Marivil inc.
- Richard Hogue, Ph. D., IRDA
- Thomas Jeanne, M. Sc., IRDA
- Luc Belzile, M. Sc., IRDA

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Christine Landry

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-2380, poste 640

Courriel : christine.landry@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée par le Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada. Le Programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région (PADAAR), accordé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentations du Québec, a également permis de financer des analyses supplémentaires au cours du projet.

RÉSUMÉ

L'apport de différents amendements et engrais organiques (AEOs), combinés ou non avec des biostimulants, a été testé dans un champ de fraises en rangs nattés présentant huit années de dépérissement, afin de voir s'il était possible de rétablir son potentiel de rendement. Les tests d'écologie microbienne du sol ont confirmé la présence de champignons pathogènes et de nématodes liés au dépérissement. Les taux étaient faibles, mais les proportions de pathogènes (*Verticillium* et *Sclerotinia*) tendaient tout de même à être inférieures dans les sols avec AEOs. De plus, certains AEOs ont haussé significativement les populations de champignons bénéfiques (mycorhizes) du sol. Toutefois, à la fin de l'essai, aucun symptôme de dépérissement n'a été observé. L'étude a par ailleurs permis de mesurer les prélèvements totaux en N par la culture, tous similaires à ceux de la régie conventionnelle (ECV) (100 % engrais minéraux (EM)). Ceux-ci s'élevaient à ~45 kg N/ha/an à la fin de l'an 1 et valaient entre 45 et ~60 kg N/ha/an à la fin de l'an 2. De ce fait, des quantités très élevées de nitrate résiduel ont été retrouvées à la fin de la 1^{ère} saison (~130 kg N-NO₃/ha) suivant l'apport recommandé de 125 kg N/ha (CRAAQ 2010). La culture a donc été sur-fertilisée en comparaison de ses besoins, d'autant plus qu'une part du N prélevé provient toujours de la fourniture naturelle en N du sol et non des engrais. Il serait donc pertinent de revoir tant les doses que la répartition des apports d'EM entre l'an 1 et 2. L'usage d'une part de N organique (No), non lessivable, pourrait aussi être mise à profit, combinée à une dose moindre et mieux répartie d'EM. L'efficacité du No à soutenir la production de la culture est en effet démontré par les rendements en fruits des régies d'AEOs, tous aussi hauts que ceux de la régie ECV, malgré une réduction de 25 et 40 % des apports de N minéral. En fait, les rendements en T/ha obtenus avec les AEOs tendaient tous à être supérieurs, surtout ceux avec le compost de fumier de bovin (CFB) (+ 14 à 22%), seul AEO à produire une teneur en N_{total} du sol significativement plus élevée au printemps de l'an 2. Les fientes granulées de poules (FPG) n'ont pas entraîné une telle différence, probablement parce qu'elles présentent une situation intermédiaire entre les EM et le CFB vu leur C/N beaucoup plus bas (FPG : 8, CFB : 20) ce qui entraîne une libération plus rapide du N. Il se peut d'ailleurs que ce soit ce délai de libération du N qui ait empêché un gain significatif ($P < 0,10$) de rendement avec le CFB. L'évolution des rendements montre en effet que la production des parcelles avec CFB tendait à accuser un retard important lors des 2 premières récoltes mais qu'à partir de la 4^e récolte, la production tendait alors à être supérieure à celle de la régie ECV. Par contre, le dosage du NO₃ du sol à la floraison montrait une disponibilité identique en N disponible pour toutes les régies. De ce fait on ne peut pas statuer sur ce qui a empêché les rendements des régies CFB de se différencier statistiquement de ceux des autres régies, mais il serait intéressant de poursuivre les essais avec cet AEO qui a toutefois favorisé significativement d'autres paramètres importants du rendement et de la fertilité du sol, tel que le rendement en g fruits/plants ou le calibre des fruits, de même que le taux d'activité microbienne du sol et sa macroporosité. De plus, certaines régies d'AEOs ont augmenté la survie et le nombre de plants après une saison, en comparaison de la régie ECV. D'un point de vue économique, les nouvelles régies ont peu affecté la marge de production, malgré les coûts d'achat des CFB, FPG et biostimulants (- 0,9 à - 4,8 % vs régie ECV) et la différence serait encore moindre si le producteur n'avait pas à payer pour les AEOs, ce qui ne peut être le cas des biostimulants. De plus, l'avantage du CFB pourrait s'accroître lors d'une 3^e année, puisque les apports d'AEOs plus résistants nécessitent quelques saisons pour exprimer pleinement leurs bénéfices. Cela pourrait aussi s'appliquer aux biostimulants, dont les applications seraient répétées. Surtout si des conditions climatiques et phytosanitaires moins favorables devaient alors prévaloir.

TABLE DES MATIÈRES

	Développement d'une régie de culture misant sur l'amélioration de la santé des sols pour rétablir le potentiel de rendements de sites de fraisières en rangs nattés présentant un historique de dépérissement	1
1	Introduction.....	1
1.1	Objectifs du projet.....	1
1.2	Méthodologie	1
1.2.1	Site d'étude et dispositif expérimental	1
1.2.2	Détection des maladies et analyses de la diversité microbienne	7
1.2.3	Développement de la culture et fertilité du sol	7
1.2.4	Analyse économique	8
2	Résultats et discussion	10
2.1	Écologie microbienne du sol.....	10
2.2	Survie et Développement des plants.....	14
2.3	Fertilité du sol et prélèvements de l'azote par les plants	16
2.4	Rendements en fraises	20
2.5	Analyse économique	23
3	Conclusion	25
	Références.....	26
4	Annexe 1.....	27
4.1	Étiquettes des biostimulants.....	27
5	Annexe 2.....	29
5.1	Données pluviométriques 2015	29
5.2	Données pluviométriques 2016	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Apports d'azote efficace des différents traitements à l'implantation de la fraisière (2015).	3
Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques du sol avant l'implantation du dispositif au printemps 2015.	4
Tableau 3. Caractéristiques des fientes de poule granulées (FPG) et du compost de fumier de bovin (CFB) en 2015.	5
Tableau 4. Calendrier des activités au champ en 2015 et 2016.	9
Tableau 5. Proportions relatives des microorganismes bénéfiques et pathogènes retrouvés dans le sol.	11
Tableau 6. Proportions relatives des microorganismes pathogènes de la rhizosphère.	11
Tableau 7. Occurrence de virus (2015 et 2016) dans les plants.	12
Tableau 8. Évaluation visuelle des symptômes de maladies observés le 30 septembre 2015, en fonction des traitements.	12
Tableau 9. Évaluation visuelle des symptômes de maladies observés à différents moments pendant la saison 2016, en fonction des traitements.	13
Tableau 10. Contenus en éléments labiles du sol en 2015 et 2016 au stade pleine floraison de la culture.	17
Tableau 11. Niveaux d'activité biologique du sol en 2015 et 2016 au stade pleine floraison de la culture.	18
Tableau 12. Caractérisation physico-chimique printanière du sol en 2015 (avant implantation) et en 2016.	18
Tableau 13. Coûts variables et marge de production (%) de la pratique conventionnelle comparativement aux régies avec AEOs et biostimulants (implantation (2015) + 1 ^{ière} récolte (2016)).	24

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Dispositif expérimental.....	3
Figure 2. Établissement des zones de rendements dans le dispositif (entre 2 drapeaux roses) en 2015 (14 octobre) pour la récolte des fraises l'année suivante.	4
Figure 3. Application des AEOs le 6 mai 2015 (gauche) et pulvérisation des biostimulants en 2015 (centre) et en 2016 (droite).....	6
Figure 4. Croissance des fraisiers pendant l'année d'implantation (2015), le 7 juillet (gauche), le 22 juillet (centre) et le 1 octobre (droite).	6
Figure 5. Reprise et croissance des fraisiers en 2016, le 18 mai (gauche), le 23 juin (centre) et le 1 août (droite). .	7
Figure 6. Apparence des fraises rejetées lors des récoltes en 2016.	8
Figure 7. Richesses bactérienne, eucaryotique et en champignons dans le sol au stade pleine floraison (17 juin 2016).....	13
Figure 8. Effet du EarthAlive apporté dans le trou de plantation sur le développement des plants, le 28 mai 2015.	14
Figure 9. Survie des plants à la plantation (28 mai 2015) et suivant l'hiver (26 mai 2016).	15
Figure 10. Dénombrement des plants (plants mères et plants filles) à la fin de la saison 2015 et au stade pré-rénovation en 2016.	15
Figure 11. Biomasse aérienne des plants à la fin de la saison de croissance 2015 et au stade pré-rénovation en 2016.....	19
Figure 12. Prélèvements en azote par la culture en 2015 (plants) et 2016 (plants et fruits).	19
Figure 13. Contenu du sol en nitrate résiduel à la fin de la saison de croissance 2015 (0-20 cm) et au stade rénovation (0-30 cm) en 2016.....	20
Figure 14. Rendements totaux en fruits de la saison 2016 (vendables et non-vendables).	21
Figure 15. Rendements vendables cumulés relatif au témoin et calibre moyen des fruits vendables en 2016. ...	22
Figure 16. Rendements en fruits vendables (g/plant) pour la saison 2016.	22
Figure 17. Poids moyen des fruits vendables pour la saison 2016.....	23
Figure 18. Données pluviométriques pour la saison de croissance de 2015	29
Figure 19. Données pluviométriques pour la saison de croissance 2016	30

1 INTRODUCTION

Le dépérissement des fraisières en rangs nattés à l'implantation est un enjeu majeur depuis 2013 au Québec et s'impose comme priorité de recherche (APFFQ 2015 [comm. pers.]). Initialement, la propagation des virus du fraisier a été pointée comme cause principale. Des études portant sur l'aspect viral ont alors été entreprises (Hogue 2017), ainsi que diverses mesures pour assurer la salubrité des transplants et le contrôle des vecteurs. Toutefois, il est très difficile d'éradiquer les virus du fraisier puisque plusieurs d'entre eux sont également des virus d'autres plantes et que de nouvelles associations ou de nouveaux sous-genres de virus peuvent survenir (Tzanetakis et Martin 2013; Maas 2014). De plus, devant l'étendue des dommages observés, des causes autres de dépérissement que celles liées aux virus ont été envisagées. Certains sites très virosés n'ont en effet montré aucun signe de dépérissement et ont permis de bons rendements, alors que d'autres peu ou pas infectés ont dépéri complètement. Il a aussi été rapporté que des stress abiotiques, tel que le gel hivernal et le manque d'eau, ou des maladies racinaires, comme la pourriture noire ou le phytophthora, faisaient d'importants dommages dans de jeunes fraisières, alors qu'ils étaient plutôt observés dans les vieilles fraisières auparavant (Giroux 2015). Le problème pourrait donc être associé à une dégradation de la qualité des sols, telle la perte de matière organique (MO). Les amendements et engrais organiques (AEO) sont des sources de MO reconnues pour favoriser la fertilité du sol, sa structure (aération, rétention en eau, moins d'érosion) et la résistance aux maladies. En situation de dépérissement, il pourrait donc s'avérer intéressant de remplacer une partie des engrais minéraux par des AEOs dans le plan de fertilisation, en plus des efforts mis sur le dépistage et le contrôle des virus. Des biostimulants sont également de plus en plus proposés aux producteurs pour bonifier la santé de leur sol et la vigueur des plants. Ceux-ci amélioreraient le potentiel de rendement des plants, leur capacité d'absorption des nutriments et leur résistance au stress. Ces produits sont toutefois plus coûteux que les AEOs usuels. Dans ce contexte, il devient pertinent de comparer l'emploi d'AEOs, combinés ou non avec des biostimulants, avec la régie d'engrais conventionnels afin de soutenir les producteurs dans leur lutte contre le dépérissement des fraisières en rangs nattés.

1.1 OBJECTIFS DU PROJET

L'étude visait à vérifier l'impact d'apports d'AEOs et de biostimulants sur 1) le développement des plants, 2) l'apparition de symptômes de dépérissement et la transmission de virus aux plants sains implantés près d'un champ virosé, 3) l'activité biologique du sol, sa fertilité et sa structure, 4) le rendement en fruits et 5) les revenus et les coûts (marge de production).

1.2 MÉTHODOLOGIE

1.2.1 Site d'étude et dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans un champ en production commerciale lors des étés 2015 et 2016 à la ferme Marivil inc. de Beaumont avec le cv. Jewel dans un sol de texture loam sablo-argileux. Ce champ a été sélectionné car il présentait un important historique de dépérissement (dizaine d'années). De plus, il avoisinait un second champ

situé à 300 m qui en était à sa 2^{ième} année de production de fraises dont les plants avaient été testés positifs pour les virus du complexe puceron-aleurode. Ceux-ci présentaient d'ailleurs plusieurs symptômes associés aux virus et à des maladies de sol. La présence de ce champ voisin virosé devait favoriser la contamination des plants du dispositif pour être en mesure de vérifier l'impact des AEOs et des biostimulants sur l'apparition de symptômes de dépérissement. Aucun traitement contre les pucerons et les aleurodes n'a donc été appliqué pour la même raison, durant les deux saisons de croissance.

Six traitements de fertilisation ont été comparés (Tableau 1), incluant une fertilisation azotée à 100% minéral (EM) en comparaison de fertilisations mixtes, combinant les EM avec une part de biostimulant et/ou d'AEO. Les six traitements étaient répétés trois fois selon un plan en blocs complets aléatoires (Figure 1). Chacune des 18 unités expérimentales était composée de cinq rangs de 7 m de longueur et distants de 1,35 m. Les plants étaient espacés de 40,7 cm sur le rang (17 000 plants/ha) dont deux rangs pour lesquels les 2 m linéaires des 2 rangs centraux servaient uniquement à mesurer les rendements (Figure 2). L'analyse de variance a été effectuée avec la procédure mixed de SAS.

Les besoins en N-P-K ont été calculés suivant la caractérisation chimique printanière du champ avant l'implantation du dispositif en 2015 (Tableau 2) et selon les recommandations pour la fraise d'été (CRAAQ 2010). Comme l'objectif du projet n'était pas de tester des doses de N, mais d'étudier l'effet du type d'AEO, une quantité égale de 125 kg N_{efficace}/ha a été apportée dans tous les traitements. Des apports égaux de P et K étaient aussi visés. En présence d'AEOs, les quantités manquantes de N, P et K étaient ainsi complétées avec les engrais utilisés dans le témoin minéral, soit le 27-0-0, le 0-46-0 et le 0-0-60, respectivement. Les apports en N ont été fractionnés à trois moments pendant l'année d'implantation (CRAAQ 2010). Deux types d'AEOs ont été testés, soit le compost de fumier de bovin (CFB) et les fientes de poule granulées (FPG), à deux doses différentes, soit 30 kg/ha ou 50 kg/ha de N efficace (et non N_{total}) en se basant sur leur composition chimique (Tableau 3) et les coefficients d'efficacité reconnus (CRAAQ 2010). Tous les AEOs (CFB et FPG) ont été appliqués à la volée deux jours avant l'implantation (6 mai 2015) (Figure 3) et incorporés à 20 cm dans le sol à l'aide d'une déchaumeuse à disques. Le FPG a été appliqué à raison de 0,6 et 1 T /ha (base tel que reçu) pour les traitements de 30 et 50 N respectivement. Le CFB a été appliqué au taux de 5 et 8,3 T /ha (base tel que reçu), respectivement, dans les traitements de 30 et 50 N. Le tableau 1 résume les différents apports azotés pendant la saison 2015.

Tableau 1. Apports d'azote efficace des différents traitements à l'implantation de la fraisière (2015).

Traitements		Plantation 06 mai			Fractionnement 17 juin 14 juil.		Dose total kg N/ha
Numéro	Description	EM	CFB kg N/ha	FPG	EM kg N/ha		
T1	Témoin -Régie conventionnelle avec engrais minéral (ECV)	35	-	-	55	35	125
T2	Biostimulant EarthAlive (BEA)	35	-	-	55	35	125
T3	Compost fumier bovin (CFB) 30 N + BEA	35	30	-	35	25	125
T4	Compost fumier bovin (50 N)	35	50	-	25	15	125
T5	Fumier de poule granulé (FPG) 30N + Microflora	35	-	30	35	25	125
T6	Fumier de poule granulé (50N)	35	-	50	25	15	125

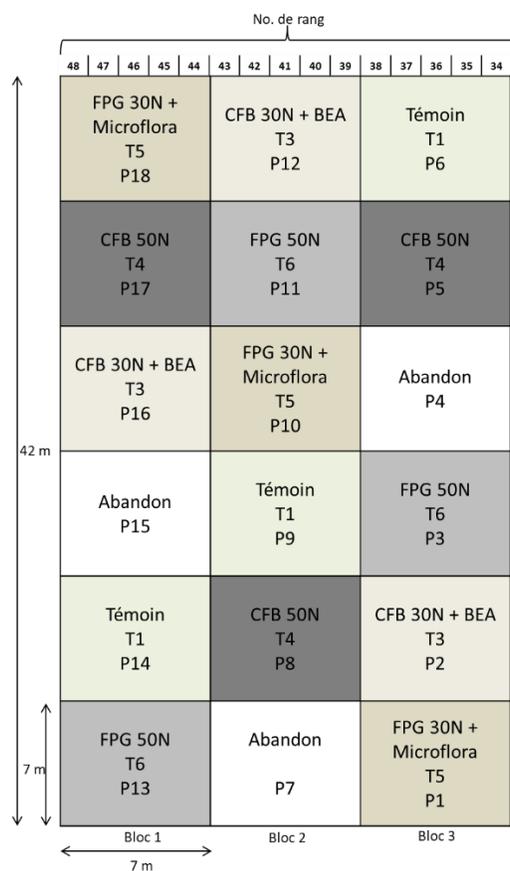


Figure 1. Dispositif expérimental.



Figure 2. Établissement des zones de rendements dans le dispositif (entre 2 drapeaux roses) en 2015 (14 octobre) pour la récolte des fraises l'année suivante.

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques du sol avant l'implantation du dispositif au printemps 2015.

Paramètres	2015
pH _{eau}	6,3
C _{total} (%)	2,2
N _{total} (%)	0,2
C/N	11,5
Densité apparente (g cm ³⁻¹)	1,08
Éléments majeurs Mehlich-3 (kg ha ⁻¹ b.s.)	
P	478
K	612
Ca	3798
Mg	388
Al (mg/kg)	1255
P/Al (%)	17

Tableau 3. Caractéristiques des fientes de poule granulées (FPG) et du compost de fumier de bovin (CFB) en 2015.

Paramètres (base tel que reçu)	FPG	CFB
Matière Sèche (%)	88,8	18,8
pH	7,7	7,2
Matière organique (%)	59,1	43,7
C.O. (%)	29,6	21,9
C/N Calcul	7,4	19,9
N _{Total} Kejdhal (kg/T)	40,4	3,8
N-NO ₃ (KCl) (kg/T)	0,006	0,007
N-NH ₄ (KCl) (kg/T)	1,583	0
Autres éléments (kg/T)		
P	13,6	1,4
K	22,7	0,5
Ca	62,5	5,0
Mg	4,6	0,64
Al	0,66	0,17

Les biostimulants EarthAlive (BEA) et Microflora Pro (Micro) (bactéries bénéfiques; étiquettes présentées à l'annexe 1) ont pour leur part été apportés avec deux méthodes distinctes, selon les recommandations de chaque fabricant. Un des traitements (T2) consistait à apporter uniquement le BEA à la plantation, en combinaison avec les EM en versant le produit (poudre) dans le trou de plantation. Ce mode a toutefois dû être abandonné lors de la 2^e saison car il a occasionné une grande mortalité des plants. Les biostimulants des traitements conservés dans l'essai ont donc été pulvérisés au sol à chaque saison dans le traitement ayant reçu la plus faible dose de CFB (30 N) dans le cas du BEA (T3) ou la plus faible dose de FPG (30 N) dans le cas du Micro (T4). Le BEA a été apporté en une seule dose de 10 kg/ha (T3) (dilution 2,85 g/ L) en début de saison de chaque année (15 juin 2015 et 26 mai 2016). Le Micro (T5) a été dilué à 2L/ha (dilution 1 : 500 L) et a été appliqué en 4 doses en 2015 (à 3 semaines d'intervalle à partir du 15 juin), mais 3 doses en 2016 (à 2 semaines d'intervalle à partir du 26 mai) (Figure 3). Comme il est conseillé de pulvériser les biostimulants avant une pluie pour favoriser l'incorporation du produit dans le sol, en absence de pluie, tous les plants de l'essai (parcelle avec et sans biostimulant) étaient arrosés avec de l'eau claire immédiatement après l'application du produit. Le choix de combiner les biostimulants aux traitements ayant les plus faibles apports d'AEOs a été fait à la suite de l'implantation du dispositif, à la demande des collaborateurs du projet. Ces traitements, CFB 30 N + BEA (T3) ou FPG 30 N + Micro (T5) permettent donc d'étudier les effets de la combinaison d'AEOs avec des biostimulants sur les rendements et la résistance des fraisiers en contexte de dépérissement, toutefois ils ne permettent pas de comparer l'efficacité des deux types de biostimulants entre eux, ni de conclure sur l'effet unique des biostimulants ou des AEOs à la dose de 30 N. Un aperçu de la croissance des fraisiers en 2015 et 2016 est présenté aux Figures 4 et 5.



Figure 3. Application des AEOs le 6 mai 2015 (gauche) et pulvérisation des biostimulants en 2015 (centre) et en 2016 (droite).



Figure 4. Croissance des fraisiers pendant l'année d'implantation (2015), le 7 juillet (gauche), le 22 juillet (centre) et le 1 octobre (droite).



Figure 5. Reprise et croissance des fraisiers en 2016, le 18 mai (gauche), le 23 juin (centre) et le 1 août (droite).

1.2.2 Détection des maladies et analyses de la diversité microbienne

La détection des six virus du fraisier du complexe puceron-aleurode (SMoV, SMYEV, SVBV, SCV, SPAV et SPV1) et des maladies des racines, du collet et des feuilles a été réalisée par le Laboratoire Diagnostique en Phytoprotection du MAPAQ en 2015. En 2016, une analyse plus poussée de la diversité microbienne des sols et de la rhizosphère (bactérienne, fongique et microfaunique) a été ajoutée. Cette analyse a été complétée par le Laboratoire d'Écologie Microbienne (LEM) de l'IRDA à partir d'une analyse métagénomique avec une stratégie 2x300 pb sur MiSeq (Illumina). L'extraction d'ADN spécifique et des analyses supplémentaires par méthode moléculaire (qPCR) ont également été réalisées sur les plants pour confirmer les observations.

1.2.3 Développement de la culture et fertilité du sol

Un suivi du développement de la culture et des propriétés du sol a été réalisé pendant les deux saisons de croissance. La caractérisation du sol au printemps 2015 incluait des paramètres physiques (granulométrie, macroporosité, conductivité hydraulique saturée (K_{sat}), densité avec pénétromètre, stabilité des agrégats) et chimiques (pH, MO, Mehlich III, C et N totaux). Les paramètres physiques ont également été réévalués (sauf le pénétromètre) à la fin de la 2^{ème} saison en août 2016. En saison (stade pleine floraison), des indicateurs d'activité microbiologique du sol (respiration microbienne, pouvoir de minéralisation, uréase, C_{eau} (Garcia)) et de la teneur en nutriments disponibles (NO_3 et NH_4 ainsi que, P_{eau} et K_{eau} (Sissingh)) ont été analysés. Enfin, le nitrate (NO_3) résiduel a été mesuré à la fin de chacune des saisons de croissance. Au niveau du développement des plants, le taux de survie des plants et le nombre de plants-mères et filles développés ont été comptabilisés et un statut nutritionnel a été effectué au stade cible (pleine floraison) de la culture à chacune des saisons pour s'assurer que les plants n'étaient pas carencés en nutriments. Enfin, les biomasses aériennes et les prélèvements en nutriments

(N, P, K, Ca, Mg) des plants ont été évalués à deux reprises à chacune des saisons. En 2016, le rendement en fruits a été comptabilisé dans chacune des zones de rendements pré-identifiées, pour 7 périodes de récoltes, du 6 au 25 juillet. Les rendements totaux ont été pesés ainsi que les rendements vendables qui excluaient les fraises trop petites, pourries, difformes ou présentant des maladies (Figure 6). Enfin lors de la récolte du 15 juillet 2016, des fruits ont été conservés et analysés pour leur contenu en N afin de calculer les prélèvements en N par les fruits. Le Tableau 4 présente un résumé des principales activités réalisées et des dates d'échantillonnages pour les deux années de l'essai.



Figure 6. Apparence des fraises rejetées lors des récoltes en 2016.

1.2.4 Analyse économique

Une analyse économique de type coûts-bénéfices a été réalisée afin d'évaluer les coûts additionnels associés aux régies avec AEOs appliqués en 2015 et des apports annuels de biostimulants, en comparaison avec la régie conventionnelle. Les coûts en main d'œuvre associés aux différentes régies ont été inclus dans l'analyse, de plus un coût d'achat a été appliqué à chacun des AEOs (CFB et FPG) même s'il peut être possible de les acquérir sans frais. La marge de production a ensuite pu être calculée en 2016 à la suite de la compilation des rendements obtenus avec chacune des régies. Il ne s'agit toutefois que d'une seule année de rendement et il faut garder en tête que l'impact des traitements peut se répercuter moins ou davantage sur la 2^{ième} année de récolte. Cet aspect sera couvert dans le volet 2017 ajouté au projet (PADAAR no. 03-CA-5318864) et qui demeure à être publié.

Tableau 4. Calendrier des activités au champ en 2015 et 2016.

Activités	Année d'implantation (2015)	1 ^{ère} année de récolte (2016)
Caractérisation du CFB et FPG	21 avril	-
Implantation du dispositif	8 mai	-
Application d'engrais	Implantation (AEO et EM) (6 mai) Fractionnement (EM) (17 juin) Fractionnement (EM)I (27 juillet)	Début mai (20 kg N/ha) Rénovation (EM) (45 kg N/ha)
Dénombrement	28 mai 14 octobre	26 mai
Échantillonnage sol	Printemps (4 mai) Pleine floraison (22 juillet) Fin de saison (1 oct.)	Printemps (18 mai) Pleine floraison (17 juin) Stade Pré-rénovation (1 août)
Application des biostimulants	Earth Alive et Microflora (15 juin) Microflora (7 juillet) Microflora (27 juillet) Microflora (13 août)	Earth Alive et Microflora (26 mai) Microflora (9 juin) Microflora (23 juin)
Statut nutritionnel	Pleine floraison (29 juillet)	Pleine floraison (17 juin)
Échantillonnage plants/racines	Pleine floraison (22 juillet) Fin saison (1 oct.)	Pleine floraison (17 juin) Stade Pré-rénovation (1 août)
Dépistage de virus	Fin de saison (14 octobre)	Pleine floraison (17 juin)
Récolte de fraises		Récolte 1 : 6 juillet Récolte 2 : 11 juillet Récolte 3 : 13 juillet Récolte 4 : 15 juillet Récolte 5 : 18 juillet Récolte 6 : 20 juillet Récolte 7 : 25 juillet

2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1 ÉCOLOGIE MICROBIENNE DU SOL

En juin 2016, l'analyse détaillée de l'écologie microbienne (bactérienne, eucaryotique et champignon) du sol du champ à l'étude a confirmé l'occurrence d'agents pathogènes pouvant être responsables de symptômes de dépérissement (champignons et nématodes) (Tableau 5). Les conditions climatiques clémentes (absence de sécheresse prolongée ou d'accumulation d'eau) en 2016 pourraient expliquer pourquoi leur proportion relative par rapport aux autres microorganismes du même groupe (bactérie ou eucaryote ou champignon) est demeurée faible dans le sol et qu'aucun symptôme ou occurrence importante de maladie n'ait été observé aux niveaux des racines (Tableau 6). Pour toutes les régies, aucun virus ou presque n'a été détecté dans les plants malgré la présence de la fraisière virosée à proximité (Tableau 7). Quant aux symptômes de maladies sur les plants, le même constat a également été fait par l'agronome Denis Giroux, chargé du dépistage visuel des maladies, puisqu'ils sont restés très faibles pendant les deux années de l'essai (Tableaux 8 et 9). L'amélioration phytosanitaire des plants en provenance des pépiniéristes, exempts de virus, peut entre autres venir expliquer ces observations (Giroux 2016 (comm. pers.) (Tableau 7). Quant aux microorganismes bénéfiques, l'apport de FPG, seul ou en combinaison avec Micro, a accru significativement la proportion de champignons mycorhiziens (*Glomeromycota*) du sol ($P = 0,06$) (Tableau 5). De plus, les sols ayant reçu des AEOs, avec ou sans biostimulant, avaient une proportion relative de champignons pathogènes tels que *Verticillium* et *Sclerotinia* inférieure à la régie ECV (Tableau 5), quoique non statistiquement significative. L'analyse a également démontré que la diversité microbienne a été peu influencée, à court terme, par les différents traitements. Au global, seule une diversité différente et significativement moins importante d'eucaryotes a été identifiée, surtout avec le T6 (50 N FPG sans biostimulant) (Figure 7). Ainsi, il appert qu'à court terme (2 ans d'apports), les biostimulants qui sont des sources de bactéries des genres *Bacillus* ou *Pseudomonas* n'ont pas réussi à modifier significativement la proportion relative de ces bactéries dans le sol (Tableau 5) et que ce sont plutôt les AEOs qui ont l'impact le plus marqué sur l'écologie microbienne du sol.

Tableau 5. Proportions relatives des microorganismes bénéfiques et pathogènes retrouvés dans le sol.

Sols	Bénéfiques				Pathogènes						
	% / Total Bactéries		% / Total Eucaryotes		% / Total Eucaryotes		% / Total Champignons				
Trait.	Bacillus ¹	Pseudomonas	Arthropoda	Glomero-mycota	Nematoda	Pratylenchus	Colletotrichum ²	Sclerotinia	Fusarium	Gibberella	Verticillium
ECV	0,375 a	0,465 a	5,219 a	0,133 b	4,450 a	0,008 a	0,127	0,026	0,149	0,072	1,689 a
CFB 30N + BEA	0,222 a	0,430 a	13,473 a	0,128 b	5,200 a	0,000 a	0,116	0,010	0,105	0,018	0,924 a
CFB 50N	0,267 a	0,369 a	1,471 a	0,180 ab	4,856 a	0,002 a	0,136	0,005	0,084	0,025	0,950 a
FPG 30N + Micro	0,337 a	0,418 a	0,653 a	0,298 a	2,289 a	0,000 a	0,077	0,000	0,128	0,042	0,998 a
FPG 50N	0,283 a	0,448 a	6,531 a	0,268 a	2,715 a	0,013 a	0,050	0,016	0,167	0,052	1,246 a

¹À chacune des dates, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

²Pas d'analyse statistique pour Colletotrichum, Sclerotinia, Fusarium et Gibberella.

Tableau 6. Proportions relatives des microorganismes pathogènes de la rhizosphère.

Racines	% / Total Eucaryotes		Pathogènes			
	Pratylenchus ¹	Colletotrichum ²	Sclerotinia ²	Fusarium ²	Gibberella ²	Verticillium
Trait.						
ECV	0,672 a	0,000	0,000	0,034	0,000	0,052
CFB 30N + BEA	0,305 a	0,012	0,024	0,000	0,000	0,031
CFB 50N	0,388 a	0,004	0,007	0,060	0,000	0,007
FPG 30N + Micro	0,357 a	0,003	0,009	0,032	0,000	0,007
FPG 50N	0,138 a	0,020	0,032	0,035	0,003	0,027

¹À chacune des dates, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

²Pas d'analyse statistique pour Colletotrichum, Sclerotinia, Fusarium et Gibberella.

Tableau 7. Occurrence de virus (2015 et 2016) dans les plants.

Traitements	Virus	
	01-oct-15	17-juin-16
ECV	Absence	Absence
BEA	Absence	.
CFB 30N + BEA	.	Absence
CFB 50N	Absence	Détection SMOV (7 % des plants testés)
FPG 30 N + Micro	Absence	Absence
FPG 50 N	Présence SMOV	Détection SMOV (27 % des plants testés)

Tableau 8. Évaluation visuelle des symptômes de maladies observés le 30 septembre 2015, en fonction des traitements.

Traitements	Dév. végétatif ¹	Blanc ²		autres
		vieux feuillage	nouveau feuillage	
Bloc 1				
ECV	3,5	3,5	1,5	
BEA	2,5 inégal	4	1,5	
CFB 30N + BEA	3,5 inégal	3,5	1,5	<i>P. cactorum</i> sur qqs plants
CFB 50N	4	3,5	1,5	
FPG 30N + micro	3,5	3,5	1,5	
FPG 50 N	3,5 inégal	3,5	1,5	
Bloc 2				
ECV	3,5	3,5	1,5	<i>P. cactorum</i> sur 1 plant
BEA	3	3,5	1,5	<i>P. cactorum</i> sur 1 plant
CFB 30N + BEA	3,5 inégal	3,5	1,5	
CFB 50N	3,5 inégal	3,5	1,5	
FPG 30N + micro	3,5	3,5	1,5	
FPG 50N	3,5	3,5	1,5	<i>P. cactorum</i> sur qqs plants
Bloc 3				
ECV	3,5 inégal	3,5	1,5	
BEA	3, inégal	4	1,5	<i>P. cactorum</i> sur qqs plants
CFB 30N + BEA	3,5	4	1,5	
CFB 50N	4	3,5	1,5	
FPG 30N + micro	4	3	1,5	
FPG 50N	4	3,5	1,5	<i>P. cactorum</i> sur 1 plant

¹ Pour le développement végétatif: 1= peu végétatif à 5= fort développement

² Pour les maladies (blanc): 1= faible présence à 5= forte présence

Référence : Observations réalisées par Denis Giroux, agronome au RLIB.

Tableau 9. Évaluation visuelle des symptômes de maladies observés à différents moments pendant la saison 2016, en fonction des traitements.

Traitements	Dév. Végétatif ¹			Blanc ²		
	29 juin	28 juillet	4 octobre	29 juin	28 juillet	4 octobre
Bloc 1						
ECV	4	4,5	3,5	0	1	1
CFB 30N + BEA	4	4,5	3,5	0	1	1
CFB 50N	4	4,5	3,5	0	1	1
FPG 30N + micro	3 inégal	3,5 inégal	3,5	0	1	1
FPG 50 N	4	4,5	3,5	0	1	1
Bloc 2						
ECV	3 inégal	3,5	3	0	1	1
CFB 30N + BEA	3,5 inégal	4	3	0	1	1
CFB 50N	3 inégal	3,5	4	0	1	1
FPG 30N + micro	3,5 inégal	3,5	3	0	1	1
FPG 50N	3,5	4	3,5	0	1	1
Bloc 3						
ECV	3,5	3,5	3 inégal	0	1	1
CFB 30N + BEA	3,5	4	3	0	1	1
CFB 50N	4	4	3,5	0	1	1
FPG 30N + micro	3 inégal	3,5	3	0	1	1
FPG 50N	3,5	4	3,5	0	1	1

¹Pour le développement végétatif: 1= peu végétatif à 5= fort développement

²Pour les maladies (Blanc): 1= faible présence à 5= forte présence

Référence : Observations réalisées par Denis Giroux, agronome au RLIB.

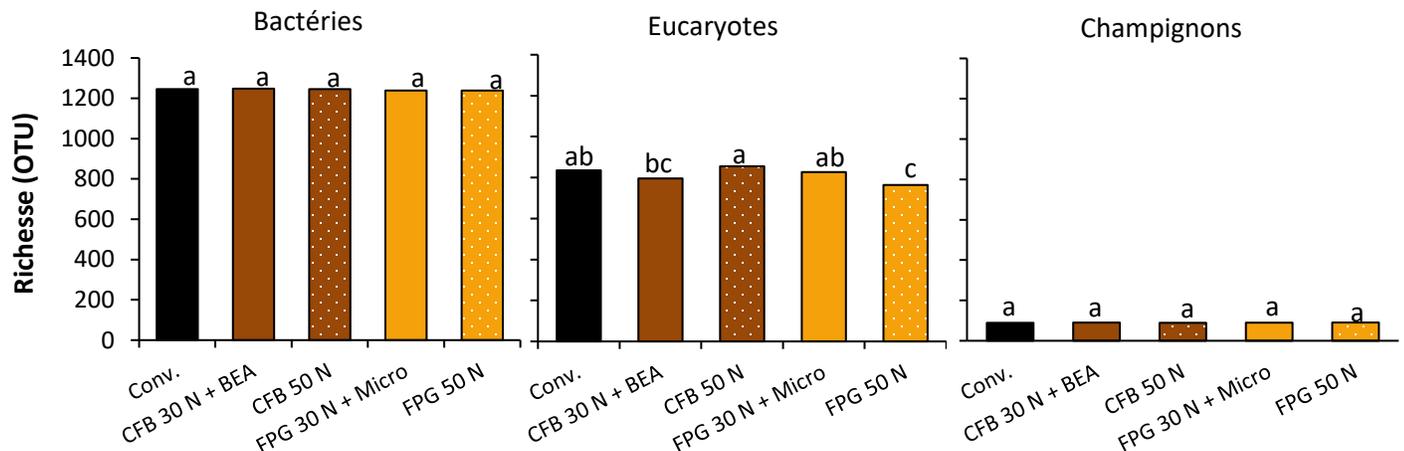


Figure 7. Richesses bactérienne, eucaryotique et en champignons dans le sol au stade pleine floraison (17 juin 2016). Les valeurs de chaque graphique avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

2.2 SURVIE ET DÉVELOPPEMENT DES PLANTS

Malgré des apports en N_{efficace} équivalents pour tous les traitements, le type d'AEO utilisé, seul ou en combinaison avec un biostimulant, a modifié le développement des plants. Toutefois, il n'a pas été possible de tirer de l'information sur l'usage du BEA utilisé seul avec l'EM à la plantation (T2) car la dose et le mode d'apport ont causé une forte mortalité des plants qui affichaient un taux de survie de 78 % à la transplantation, comparativement à ~ 100% pour les autres traitements. L'étude du T2 a donc été officiellement abandonnée à la fin de la saison 2015. Cette décision s'est avérée judicieuse car les plants du T2 sont demeurés par la suite plus petits et ont produit moins de plants-filles (Figures 8, 9 et 10). Toutefois, en collaboration avec le fabricant, dès l'observation des premiers symptômes, le taux d'application du BEA a été revu à la baisse à 0,7 g/plant (10 kg/ha) et le produit pulvérisé au sol dans le T3 (CFB 30 N + BEA), en remplacement du T2. Pour ce qui est des autres traitements, comparativement à la régie ECV, la survie à l'hiver (26 mai 2016) a été favorisée de 10 % avec les régies FPG (Figure 9), alors que l'apport de CFB 30 N + BEA a permis un développement des plants (nb. de plants-mères et plants-filles) plus élevé que la régie ECV à la fin de la saison 2015 ($P = 0,13$) (Figure 10). Cet avantage lors de la saison d'implantation est particulièrement intéressant puisqu'un bon développement végétatif des plants favorise la production en fruits de l'année suivante. À la fin de la saison 2016, cet effet sur les plants n'a pas été observé et tous les plants amendés en AEOs avec/sans biostimulant présentaient un développement comparable à celui des plants de la régie ECV.



Figure 8. Effet du EarthAlive apporté dans le trou de plantation sur le développement des plants, le 28 mai 2015.

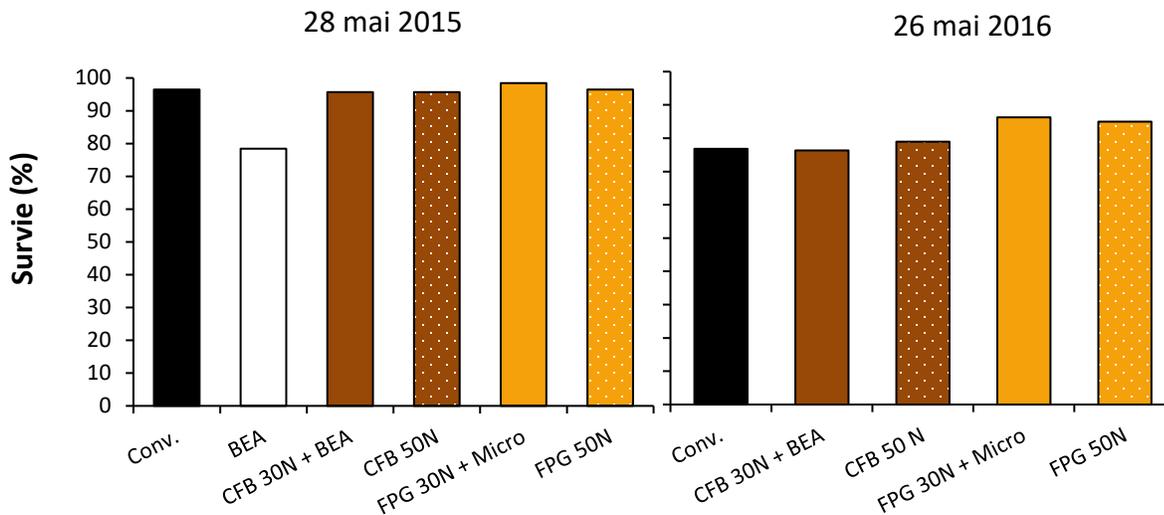


Figure 9. Survie des plants à la plantation (28 mai 2015) et suivant l'hiver (26 mai 2016). Résultats non-analysés statistiquement.

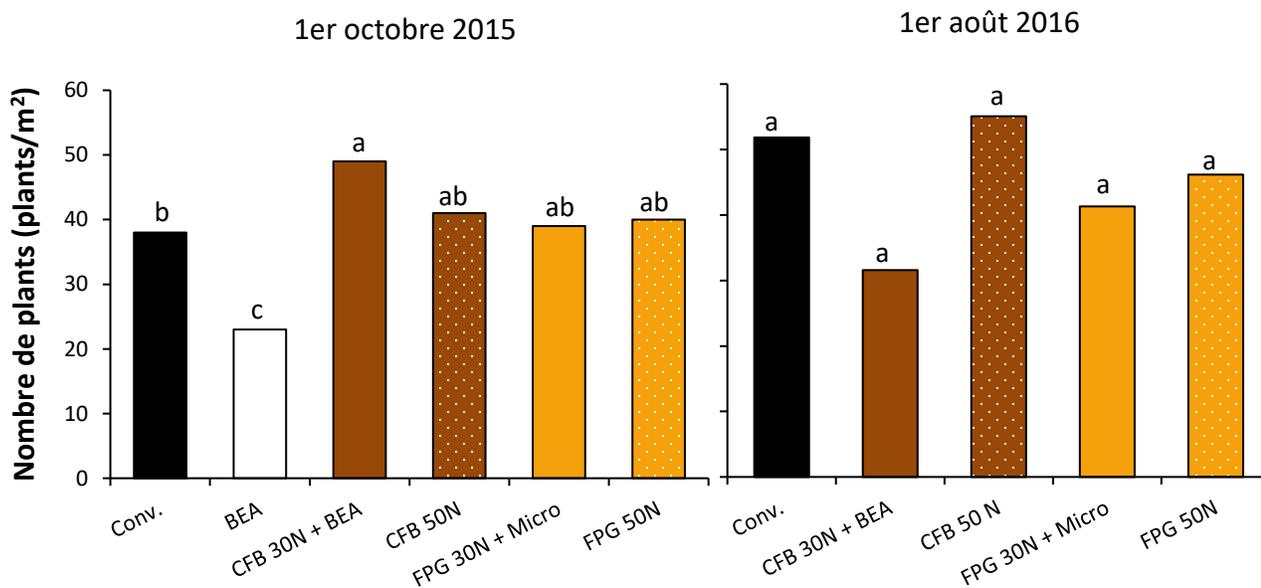


Figure 10. Dénombrement des plants (plants-mères et plants-filles) à la fin de la saison 2015 et au stade pré-rénovation en 2016. À chacune des dates, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

2.3 FERTILITÉ DU SOL ET PRÉLEVEMENTS DE L'AZOTE PAR LES PLANTS

La plupart des traitements n'ont pas modifié significativement les propriétés physiques du sol (masse volumique apparente, macroporosité et conductivité hydraulique saturée), comparativement à la régie ECV, sauf avec la plus forte dose de CFB (CFB 50N) pour laquelle une plus grande macroporosité ($P = 0,04$) a été observée à la fin de la saison 2016 (1^{er} août). Ceci est en lien avec la nature de l'AEO puisque le CFB est davantage constitué de matière organique (MO) stable agissant sur la structure du sol, comparativement aux FPG, dont la MO est plus labile. Ceci mène à penser que même si des changements n'ont pas pu être observés pendant les 2 ans de cet essai, sur le long terme, des apports répétés de CFB pourraient davantage améliorer la structure du sol que les AEOs de type FPG, menant à un meilleur maintien de la fertilité de celui-ci.

Quant aux propriétés chimiques du sol, des différences significatives ont été observées les deux années. Lors de la 1^{ère} année, des concentrations inférieures de 25 à 30 % en N_{soluble} ($P = 0,10$) et très inférieures de 65 % en $N\text{-NO}_3$ ($P = 0,01$) ont été mesurées dans les sols des régies d'AEOs avec/sans biostimulants en période de floraison, comparativement à ceux de la régie ECV (Tableau 10). Comme la majorité du N des AEOs est sous forme de N organique (N_o), celui-ci doit être minéralisé graduellement pour fournir du $N\text{-NO}_3$, ce qui explique que les concentrations en $N\text{-NO}_3$ étaient inférieures à celles des sols avec EM qui se dissolvent très rapidement en NO_3 et en NH_4 , rapidement nitrifié. Par ailleurs, une hausse de 20% du P_{soluble} a été mesurée dans les sols ayant reçu la plus forte dose de compost (CFB 50 N), comparativement aux autres traitements (Tableau 10; $P = 0,01$). De plus, la respiration microbienne du sol était augmentée de 1,5 x dans les sols CFB 50N (Tableau 11; $P = 0,01$), en comparaison de la régie ECV, indiquant que l'activité des microorganismes du sol responsables de la minéralisation de la MO a été stimulée par l'apport de bonnes quantités de CFB. La libération graduelle du NO_3 par minéralisation présente l'avantage de le rendre moins susceptible au lessivage et de hausser la plage temporelle de prélèvement pour les plants. Les plants des régies d'AEOs présentaient d'ailleurs la même biomasse aérienne et des prélèvements en N aussi élevés que ceux des plants de la régie ECV en fin de saison 2015 (Figures 11 et 12), prouvant que l'apport ponctuel de N_{soluble} n'a pas été le facteur déterminant de leur développement et que ces plants ont eu une aussi bonne nutrition azotée malgré un apport réduit de 25 à 40 % du N minéral.

Lors de la 2^{ème} année de croissance (2016), aucune différence sur les concentrations en P_{soluble} ou en $N\text{-NO}_3$ du sol n'a été mesurée au stade pleine floraison (17 juin 2016). Dans le cas du N, probablement parce que toutes les parcelles ont reçu un apport égal de 20 kg N EM/ha en début de saison. Seul le contenu en N_{total} du sol montrait une différence (Tableau 12; $P = 0,16$). Les sols amendés avec la plus forte dose de CFB contenaient ainsi davantage de N_{total} lors de ce 2^e printemps (Tableau 12), mais cela ne s'est pas traduit par un accroissement du N disponible ($N\text{-NO}_3$) du sol en saison qui valait 10 kg $N\text{-NO}_3$ /ha pour tous les traitements (Tableau 10). Le CFB ayant un C/N plus élevé ($C/N = 20$), de plus grandes quantités de N_{total} avaient dues être apportées à la plantation, comparativement au FPG (avec un C/N plus bas de 8) ou l'EM (100% efficace), afin de fournir la valeur uniforme de 125 kg N_{efficace} /ha entre tous les traitements. Cela peut donc expliquer l'accroissement significatif du contenu du sol en N_{total} mesurable encore un an plus tard. Au final, comme l'année précédente, des biomasses et des prélèvements en N aussi élevés ont été mesurés dans tous les traitements d'AEOs, avec ou sans biostimulants, comparativement au traitement ECV. Toutefois, parmi les plants ayant reçu des AEOs, ceux avec les plus fortes

doses de CFB ou de FPG (T4 et T6), sans biostimulant, ont eu des biomasses et des prélèvements en N significativement plus élevés, en moyenne de 34 % et 43 %, respectivement, que ceux des traitements de plus faibles doses avec biostimulants (T3 et T5) (Figures 11 et 12). Il n'est toutefois pas possible de savoir si c'est la dose moins élevée de N_{total} ou la présence de biostimulants qui a eu un impact et cela indique l'importance de tester dans un prochain projet les AEOs et biostimulants chacun seul d'une part, et en combinaisons, à doses égales d'AEOs, d'autre part.

Le suivi sur deux ans des prélèvements totaux en N par la culture démontre que ceux-ci sont similaires pour les deux années. Ils s'élevaient à 44 kg N/ha/an à la fin de l'an 1 (plants) et valaient entre 45 et 62 kg N/ha/an à la fin de l'an 2 (plants et fruits). De ce fait, des quantités très élevées de nitrate résiduel (~ 130 kg N-NO₃/ha) ont été retrouvées dans tous les traitements, sans différence significative, à la fin de la 1^{ère} saison (1^{er} octobre) (Figure 13) étant donné l'apport recommandé de 125 kg N_{efficace}/ha (CRAAQ 2010), beaucoup plus élevé que les prélèvements. En 2016, juste avant la rénovation (1 août), le contenu du sol en nitrate résiduel était toujours similaire pour tous les traitements. Les quantités de nitrate étaient beaucoup plus faibles qu'en 2015, soit entre ~ 11 -15 kg N-NO₃/ha. Les prélèvements de 2^e année étant loin des quantités résiduelles de 2015, la baisse du contenu en N-NO₃ du sol ne peut donc s'expliquer, en grande partie, que par la perte du nitrate présent à l'automne 2015. La culture a donc été sur-fertilisée en comparaison de ses besoins, d'autant plus qu'une part du N prélevé provient toujours de la fourniture naturelle en N du sol et non des engrais. Il serait donc pertinent de revoir non seulement les quantités totales de N à apporter, mais aussi la répartition des apports d'EM entre l'an 1 et 2. L'usage d'une part de N sous forme de N_o, non lessivable, pourrait aussi être mis à profit, combinée à une dose moindre et mieux répartie annuellement de N sous forme d'EM. Cette révision des grilles de fertilisation de la fraise d'été permettrait d'économiser sur les coûts d'engrais et environnementaux.

Tableau 10. Contenus en éléments labiles du sol en 2015 et 2016 au stade pleine floraison de la culture.

Traitements	C _{soluble} ¹	N _{soluble} ¹	N-NO ₃	P _{soluble} ²	K _{soluble} ²
	----- Kg ha ⁻¹ b.s -----				
2015 (22 juillet)					
ECV	378,3 a	140,3 a	80,2 a	39,9 b	94,2 a
CFB 50N	462,5 a	100,0 b	45,2 b	48,4 a	99,3 a
FPG 30 N + Micro	414,9 a	107,7 ab	54,2 b	42,7 b	87,2 a
FPG 50 N	435,2 a	105,8 ab	49,8 b	39,5 b	98,9 a
2016 (17 juin)					
ECV	512,3 a	.	9,6 a	48,3 a	84,1 a
CFB 30N + BEA	583,4 a	.	9,3 a	54,2 a	83,5 a
CFB 50N	564,0 a	.	10,0 a	47,5 a	83,5 a
FPG 30 N + Micro	550,7 a	.	10,3 a	47,1 a	83,2 a
FPG 50 N	556,3 a	.	12,0 a	45,9 a	76,8 a

À chacune des années, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

¹ Le C_{soluble} et N_{soluble} : Contenu en C et somme des contenus en NO₃ et NH₄ dissous, extraits à l'eau par la méthode Garcia.

² Le P_{soluble} et K_{soluble} : P et K extraits à l'eau par la Méthode Sissingh.

Tableau 11. Niveaux d'activité biologique du sol en 2015 et 2016 au stade pleine floraison de la culture.

Traitements	Minéralisation N-NO ₃ (kg ha ⁻¹)	Uréase (µg N-NH ₄ g ⁻¹)	Respiration (mg CO ₂ g ⁻¹)
2015 (22 juillet)			
ECV	13,3 b	40,5 a	0,32 b
CFB 50N	14,1 b	48,4 a	0,47 a
FPG 30 N + Micro	19,6 a	39,1 a	0,33 b
FPG 50 N	15,1 b	45,1 a	0,33 b
2016 (17 juin)			
ECV	7,7 a	35,1 a	0,38 a
CFB 30N + BEA	8,4 a	38,6 a	0,45 a
CFB 50N	10,5 a	37,9 a	0,51 a
FPG 30 N + Micro	7,4 a	35,0 a	0,38 a
FPG 50 N	6,8 a	39,2 a	0,41 a

À chacune des années, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

Tableau 12. Caractérisation physico-chimique printanière du sol en 2015 (avant implantation) et en 2016.

Paramètres	2015	2016 -----				
		ECV	CFB 30 N + BEA	CFB 50 N	FPG 30 N + Micro	FPG 50 N
pH _{eau}	6,3	6,3	6,3	6,5	6,3	6,4
C _{total} (%)	2,2	2,47	2,53	2,94*	2,40	2,41
N _{total} (%)	0,2	0,21	0,21	0,24*	0,21	0,20
C/N	11,5	11,4	11,8	12,0	11,7	11,7
Densité apparente (g cm ³ ⁻¹)	1,08	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
Éléments Mehlich-3 (kg ha ⁻¹ b.s.)						
P	478	556	546	579	553	556
K	612	742	810	837	724	832
Ca	3798	3888	3999	4374	3908	4211
Mg	388	410	434	450	403	412
Al (mg/kg)	1255	1273	1309	1253	1258	1299
P/Al (%)	17	18	17	19	18	18

* Ces valeurs sont significativement différentes de celles des autres traitements sur la même ligne, au seuil $P \leq 0,1$

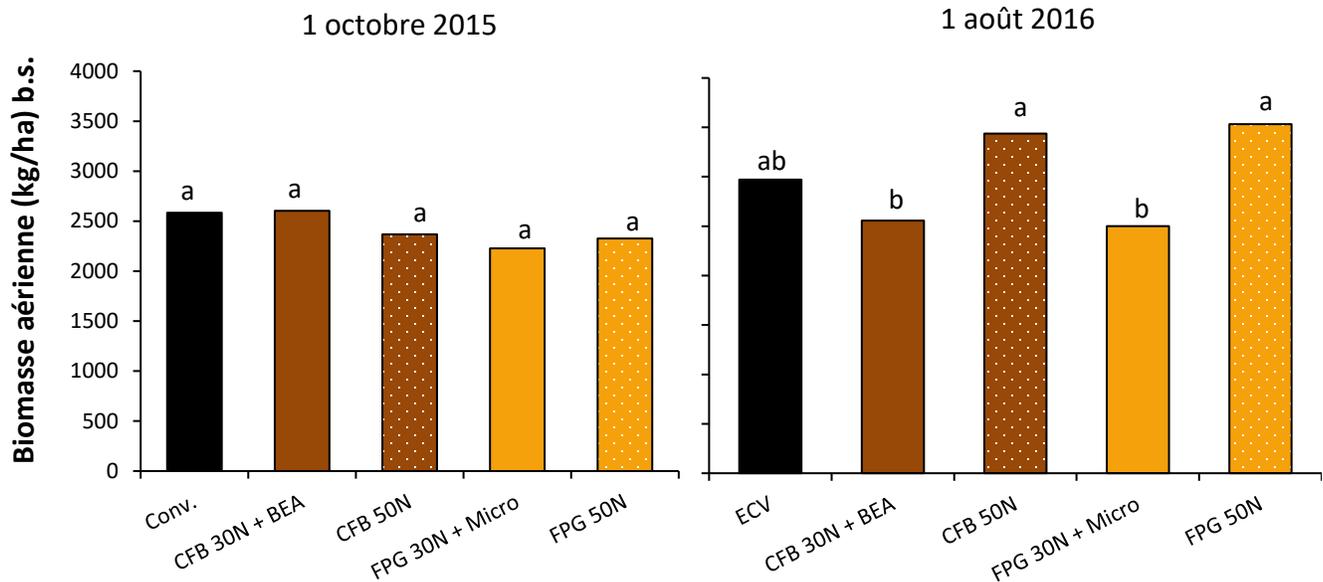


Figure 11. Biomasse aérienne des plants à la fin de la saison de croissance 2015 et au stade pré-rénovation en 2016. À chacune des années, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

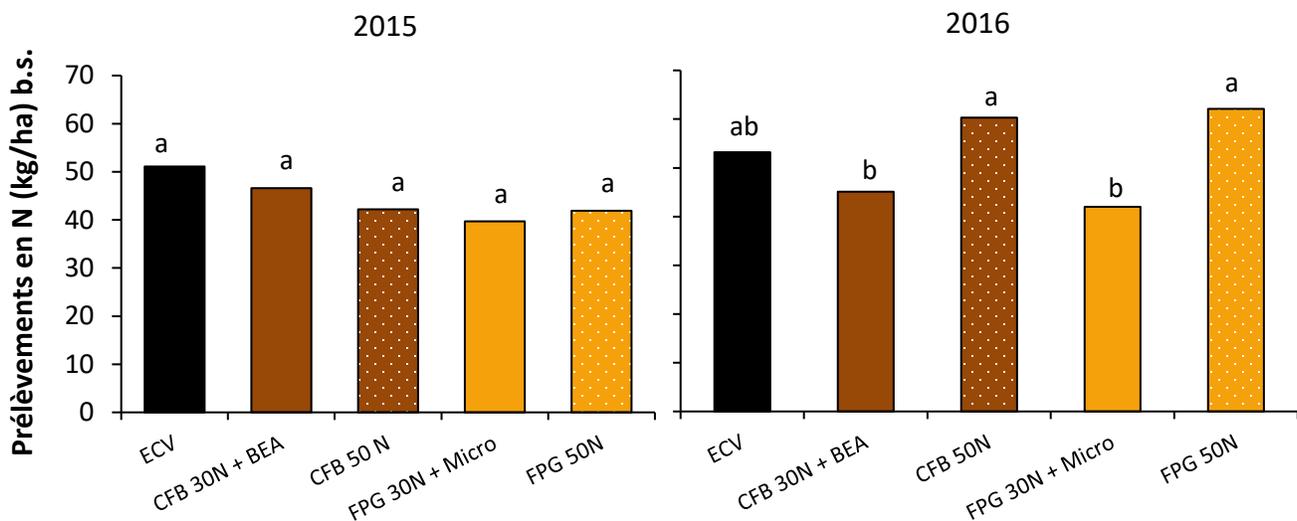


Figure 12. Prélèvements en azote par la culture en 2015 (plants) et 2016 (plants et fruits). À chacune des années, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

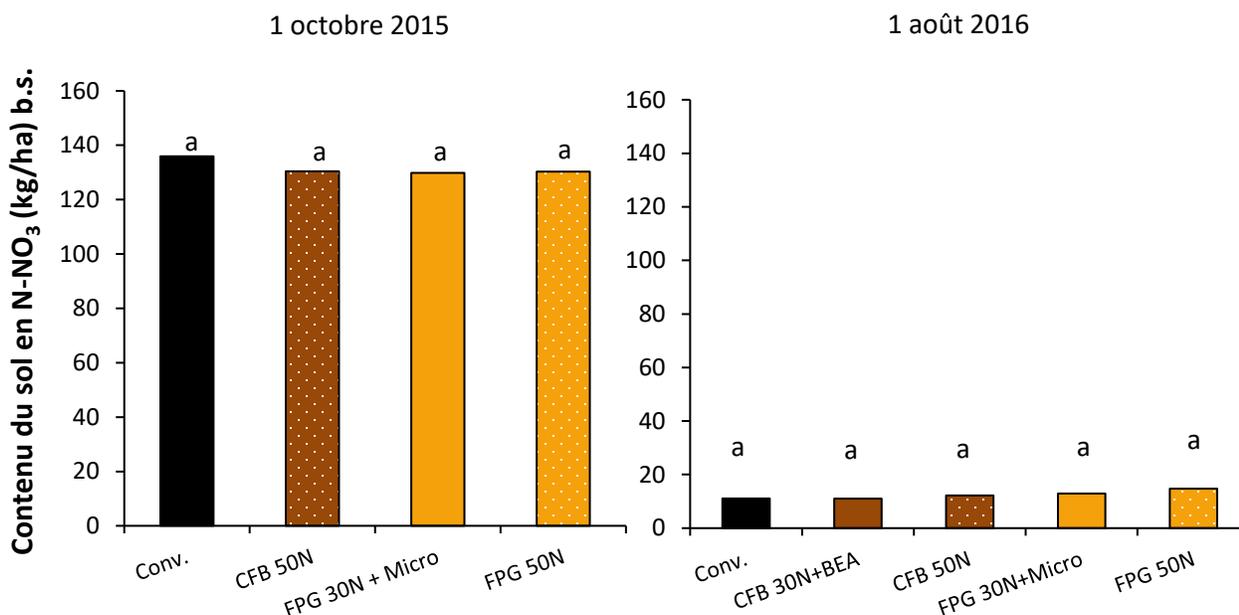


Figure 13. Contenu du sol en nitrate résiduel à la fin de la saison de croissance 2015 (0-20 cm) et au stade rénovation (0-30 cm) en 2016. À chacune des années, les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

2.4 RENDEMENTS EN FRAISES

Étant donnée la faible pression de maladies et les conditions climatiques favorables (Annexe 2), les rendements en fruits en 2016 ont été excellents (Figure 14). Des rendements vendables entre 17,6 et 21,4 T/ha ont été enregistrés, ce qui se situe dans l'intervalle supérieur des rendements attendus pour la fraise d'été lors d'une 1^{ère} année de récolte (CRAAQ 2014a). Tous les traitements ayant reçu des AEOs, seuls ou en combinaison avec des biostimulants, ont eu au final des rendements totaux et vendables à l'hectare aussi bons que ceux de la régie ECV. En fait, ils tendaient tous à des rendements vendables (T/ha) supérieurs, de 5 à 22%, surtout ceux avec CFB, mais la différence n'est pas ressortie significative au seuil $P < 0,10$ (Figures 15). Toutefois, l'analyse du rendement par plant (g fruits vendables /plant) s'est avérée significativement plus élevée avec le traitement T3 (CFB 30N + BEA), comparativement à la régie ECV (Figure 16; $P = 0,06$). Le poids moyen (calibre) des fruits a également été significativement modifié par les traitements ($P = 0,08$). Il a été plus élevé avec le T3 (CFB 30N + BEA) comparativement aux autres traitements avec AEOs et il avait aussi tendance à être supérieur à celui de la régie ECV (Figure 17). Ces observations viennent appuyer la tendance du rendement vendable plus élevé de 22 % avec le T3 (CFB + BEA), en comparaison de la régie ECV (Figure 13). On ne peut statuer avec certitude sur le facteur qui a fait en sorte que la différence ne ressorte pas significative. Toutefois, lorsqu'on observe l'évolution des courbes de rendement (Figure 13), on constate que lors de premières récoltes, les rendements des deux traitements de

CFB semblaient beaucoup plus faibles que ceux des régies avec des engrais plus labiles (EM et FPG), ceux de la plus forte dose CFB (CFB 50 N) étant pires que ceux de la dose CFB 30 N. Par contre, à partir de la 4^e récolte, les rendements des traitements CFB semblaient être plus élevés que les autres, la différence augmentant de récolte en récolte. On peut donc se demander si le fait que le CFB ait un C/N plus élevé, et donc que la nutrition azotée reposait davantage sur un N_{total} engendrant un délai plus long de libération du NO_3 en tout début de saison, ait pu contribué à ce résultat. Le contenu en $N-NO_3$ du sol n'était cependant pas plus bas à la floraison, suggérant que l'explication n'est pas à ce niveau. Trouver ce qui a empêché les plants avec CFB de produire davantage dès les premières récoltes afin de donner au final des rendements statistiquement plus hauts, serait important pour mieux valoriser le produit. Si une plus grande part de l'EM avait été apportée au printemps de l'an 2, les rendements auraient peut-être été meilleurs puisque les doses complémentaires d'EM peuvent stimuler la minéralisation lorsque mises dans les bonnes proportions.

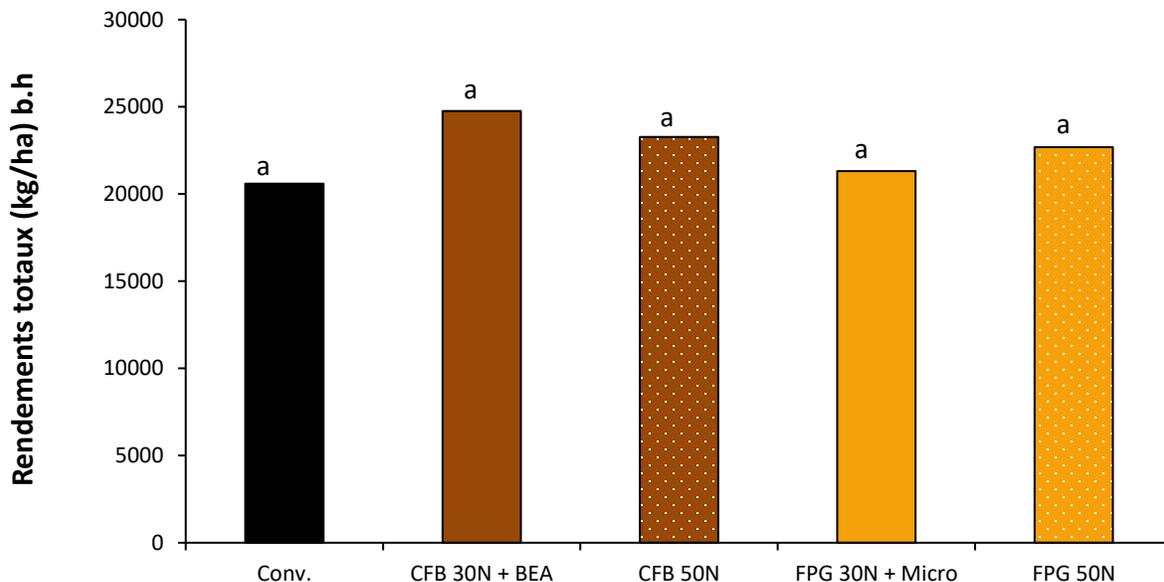


Figure 14. Rendements totaux en fruits de la saison 2016 (vendables et non-vendables). Les valeurs avec les lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

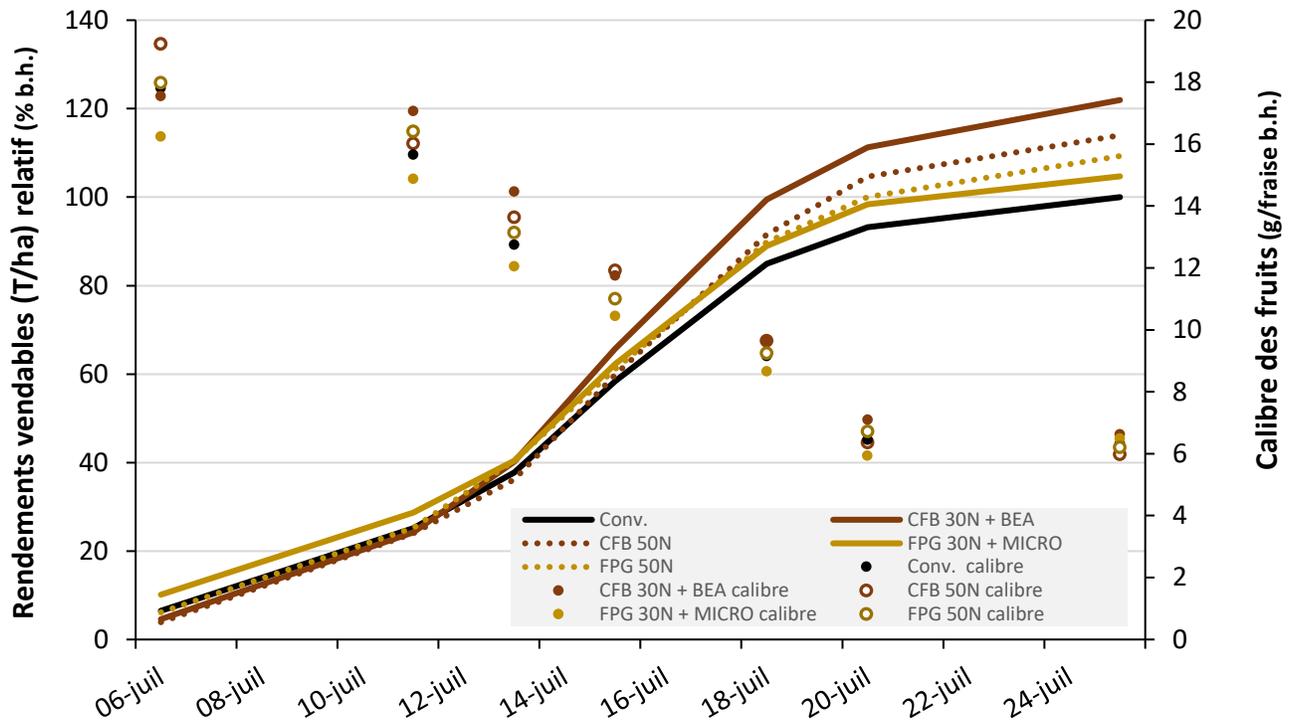


Figure 15. Rendements vendables cumulés relatif au témoin et calibre moyen des fruits vendables en 2016.

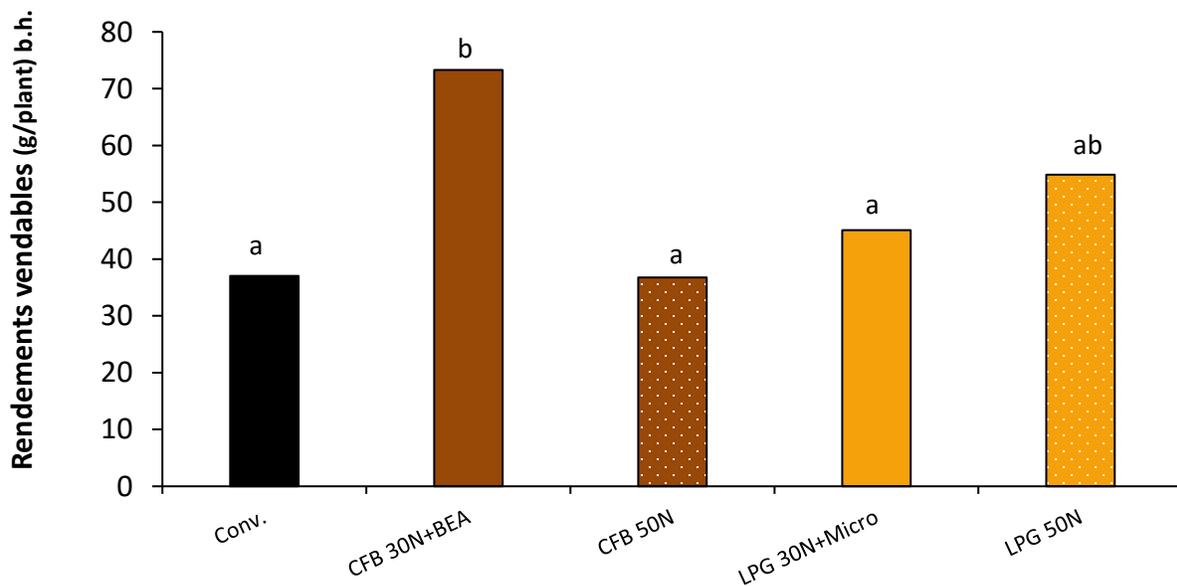


Figure 16. Rendements en fruits vendables (g/plant) pour la saison 2016. Les valeurs avec les lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P \leq 0,13$.

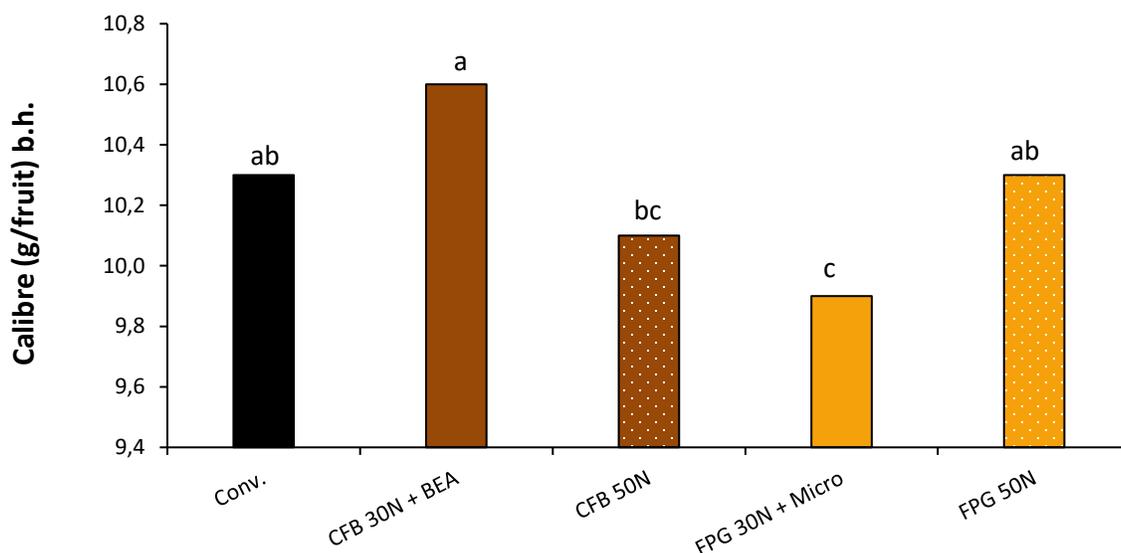


Figure 17. Poids moyen des fruits vendables pour la saison 2016. Les valeurs avec les lettres distinctes sont significativement différentes au seuil $P < 0,1$.

2.5 ANALYSE ÉCONOMIQUE

L'application d'AEOs et de biostimulants occasionnent des coûts d'opérations supérieurs à la pratique conventionnelle en considérant l'achat des intrants (achat du compost, du FPG et des biostimulants), les coûts de machinerie liés à l'épandage et les besoins additionnels en main d'œuvre pour procéder aux épandages. Toutefois, la marge de production s'en trouve peu affectée. Celle-ci joue, en comparaison de la régie ECV (Tableau 13), entre une baisse de 0,9 % avec le FPG 50 N à 4,8 % avec le CFB 50 N, en considérant que tous les traitements ont donné des rendements similaires. En effet, puisqu'il n'y avait aucune différence significative entre les traitements, la marge de production de chacune des régies a été calculée avec un rendement équivalent à la régie conventionnelle. Cette analyse pourrait cependant rapidement se renverser. D'une part, le calcul serait différent si le producteur avait accès à du CFB ou du FPG sans avoir à le payer. D'autre part, l'avantage du CFB pourrait s'exprimer davantage lors d'une 2^{ième} année de production, puisque les apports de MO stable nécessitent quelques saisons pour exprimer pleinement leurs bénéfices. L'étude de la 2^{ième} année de rendements de cette fraisière (PADAAR no. 03-CA-5318864) permettra de vérifier ces avantages attendus sur la marge de production. Également, il faut prendre en compte que les AEOs n'ont été appliqués que lors de la première année de la production (2015), ainsi les coûts additionnels de ces traitements seront davantage dilués à la suite d'une 2^{ième} année de récolte.

Tableau 13. Coûts variables et marge de production (%) de la pratique conventionnelle comparativement aux régies avec AEOs et biostimulants (implantation (2015) + 1^{ière} récolte (2016)).

	ECV	CFB (30 N) + BEA	CFB (50 N)	FPG (30 N) + Micro	FPG (50 N)
Coûts variables (\$/ha)					
Machinerie					
Épandage et incorporation AEO ¹	.	218,25	361,35	8,00	8,00
Pulvérisation biostimulant ¹	.	24,80	.	86,80	.
Intrants					
BEA	.	264,40	.	.	.
MICRO	.	.	.	1750,00	.
Compost de fumier de bovin ²	.	2044,80	3386,70	.	.
Fumier de poulet granulé	.	.	.	480,00	800,00
Économie engrais granulaire N	.	-75,62	-125,94	-75,62	-125,94
Coûts variables additionnels au témoin	.	2476,63	3622,11	2249,18	682,06
Coûts variables (implantation + récolte 1)³ / produit (%)	30,4	33,7	35,2	33,4	31,3
Marge de production (%)	69,59	66,3	64,8	66,6	68,7
Variation marge relative au Témoin ECV (%)		-3,3	-4,8	-3,0	-0,9

¹ Budget AGDEX 740/825, CRAAQ (Août 2014a), incluant la main d'œuvre

² Budget AGDEX 537/821, CRAAQ (2016)

³ Budget AGDEX 232/821, CRAAQ (février 2014b), excluant la main d'œuvre

3 CONCLUSION

Cette étude démontre qu'il est possible de remplacer jusqu'à 40 % de l'apport de N sous forme d'engrais minéral (EM) à l'implantation d'une fraisière en rangs nattés par un apport de N provenant d'amendements et engrais organiques (AEOs) (compost de fumier de bovin: CFB, fientes de poules granulées: FPG) avec ou sans biostimulants (EarthAlive : BEA, Microflora : Micro) sans nuire au développement des plants, à leur prélèvement en N ou à la production en fruits. En fait, les régies d'AEOs tendaient toutes à des rendements vendables (T/ha) supérieurs, de 5 à 22 %, mais seuls le rendement par plant (g fruits vendables /plant) et le calibre des fruits se sont avérés significativement plus élevés avec la régie utilisant le CFB combiné au BEA (CFB 30 + BEA), comparativement à la régie conventionnelle (ECV). On ne sait avec certitude ce qui a fait en sorte que les différences sur le rendement vendable (T/ha) ne ressortent pas significative. Toutefois, lors de la 1^{ère} récolte, les rendements des régies CFB semblaient beaucoup plus faibles que ceux des régies avec des engrais plus labiles (EM et FPG). Par contre, à partir de la 4^e récolte, les rendements des régies avec CFB semblaient être plus élevés que les autres, la différence augmentant de récolte en récolte. On peut donc se demander si le fait que le CFB ait un C/N plus élevé, et donc que la nutrition azotée reposait davantage sur un N_{total} engendrant un délai plus long de libération du N disponible (nitrate : NO_3), ait pu contribué à ce résultat. Le contenu en NO_3 du sol n'était cependant pas plus bas à la floraison. Si une plus grande part de l'EM avait été apportée au printemps de l'an 2, les rendements auraient peut-être été meilleurs puisque l'EM peut stimuler la minéralisation lorsque mis dans les bonnes proportions avec un AEO. Le suivi des prélèvements totaux en N par la culture démontre d'ailleurs que les quantités et la répartition des doses de N minéral devraient être révisées. En effet, les prélèvements s'élevaient à 45 kg N/ha/an à la fin de l'an 1 et entre 45 et 60 kg N/ha/an à la fin de l'an 2. De ce fait, des quantités très élevées de nitrate résiduel (~ 130 kg N- NO_3 /ha) ont été retrouvées à la fin de la 1^{ère} saison étant donné l'apport recommandé de 125 kg N/ha à la plantation. En 2016, juste avant la rénovation, le contenu du sol en NO_3 n'était plus que de 11-15 kg N- NO_3 /ha. Les prélèvements de 2^e année étant loin d'expliquer cette baisse, celle-ci ne peut être due en grande partie qu'au lessivage du nitrate présent à l'automne 2015. L'apport de N était d'autant plus excessif qu'une part du N prélevé provient toujours de la fourniture naturelle en N du sol et non des engrais. Une fertilisation révisée, mettant à profit une part de N organique, combinée à une dose moindre et mieux répartie annuellement de N minéral, permettrait donc d'économiser sur les coûts d'engrais et environnementaux. D'autant plus que les régies avec CFB ont significativement favorisé d'autres paramètres de santé des sols, tel que le taux d'activité microbienne et la macroporosité, liée à une meilleure structuration des sols. L'apport de FPG a de son côté accru les populations bénéfiques de champignons mycorhiziens. De plus, toutes les régies d'AEOs avec/sans biostimulants semblaient réduire l'occurrence de champignons pathogènes du sol. Les conditions climatiques clémentes en 2016 pourraient expliquer pourquoi aucun symptôme ou occurrence importante de maladie n'a été observé sur les plants malgré la détection des microorganismes pathogènes dans le sol. Enfin, il se peut que lors d'une 3^e année, les bénéfiques découlant du CFB et des biostimulants augmentent puisque la MO stable du CFB demande un certain temps de contact avec le sol pour exprimer pleinement son potentiel et qu'une année supplémentaire d'apports répétés de biostimulants pourrait renforcer leurs bénéfiques. Dans cet optique, une année supplémentaire a été ajoutée à ce projet à l'été 2017 (*Impact de l'apport de matières organiques et de biostimulants sur le rétablissement et le maintien de la santé des sols et du rendement d'une fraisière en rangs nattés présentant un historique de dépérissement – Volet : rendements 2^{ième} année* -PADAAR no. 03-CA-5318864), demeurant à être publiée.

RÉFÉRENCES

CRAAQ. 2016. Références économiques - Compost - Coût des intrants 2016 - AGDEX 537/821. Document électronique. 4 pages

CRAAQ. 2014a. Références économique - Machinerie - Coût d'utilisation et taux à forfait suggérés – Août 2014. AGDEX 740/825. Document électronique. 25 pages.

CRAAQ. 2014b. Références économiques - Fraises d'été standard (en rangs nattés) - Budget - Février 2014. AGDEX 232/821. Document électronique. 10 pages

CRAAQ. 2010. Guide de références en fertilisation du Québec. 2^{ième} Édition. Ste-Foy, Québec. CRAAQ . 293 p.

Giroux, D. 2015. Stratégie d'intervention dans le contexte de dépérissement des fraisières. Présentation à la Journée d'information sur les petits fruits. Québec.

Hogue, R. 2017. Identification des causes du dépérissement des fraisiers pour élaborer des stratégies de luttés intégrées. Présentation du projet. Page consultée le 12 dec. 2017 :

<https://www.irda.qc.ca/fr/projets/identification-des-causes-du-deperissement-des-fraisiers-pour-elaborer-des-strategies-de-lutte-integree/>

Maas, J.L .2014. Strawberry diseases and pest - Progress and problems. Acta Hortic. 1049 : 133-142.

Tzanetakis, I. et Martin, R. 2013. The expanding field of strawberry viruses and which are important in North America. International Journal of Fruit Sciences. 13 :184-195.

4 ANNEXE 1

4.1 ÉTIQUETTES DES BIOSTIMULANTS

L'Activateur de sol Earth Alive est un biofertilisant biologique conforme et breveté.

- Transforme l'azote atmosphérique sans avoir besoin d'engrais
- Solubilise le phosphore, le silicate et le zinc
- Chélate le fer, le rendant plus disponible pour les plantes
- Produit des enzymes qui libèrent les éléments nutritifs de la matière organique
- Améliore la capacité de rétention d'eau du sol
- Stimule l'absorption des nutriments par les plantes, maximise la valeur et le rendement de votre sol
- Renforce la résistance des plantes aux conditions environnementales difficiles, aux stress et au choc de transplantation.



Microorganismes garantis	Concentration minimale	
<i>Bacillus subtilis</i>	2.48 x 10 ⁸	fu/g
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	5.00 x 10 ⁶	fu/g
<i>Pseudomonas monteilii</i>	1.00 x 10 ⁶	fu/g

Microflora PRO™



Productions agricole et ornementale

➤ Rhizobactéries

- *Bacillus subtilis* 1 x 10⁹ UFC / g
- *Bacillus amyloliquefaciens* 1 x 10⁹ UFC / g

✓ Améliore le rendement

✓ Favorise la croissance

✓ Augmente la masse racinaire

✓ Améliore l'absorption des nutriments N, P, K, Fe, Ca et Mg



5 ANNEXE 2

5.1 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES 2015

Les données pluviométriques de 2015 ont été obtenus avec un pluviomètre de type OnSet. Les données de température disponibles sont celles de la station d'Agrométéo à Saint-Pierre de la rivière du sud située à 35 km du site d'étude.

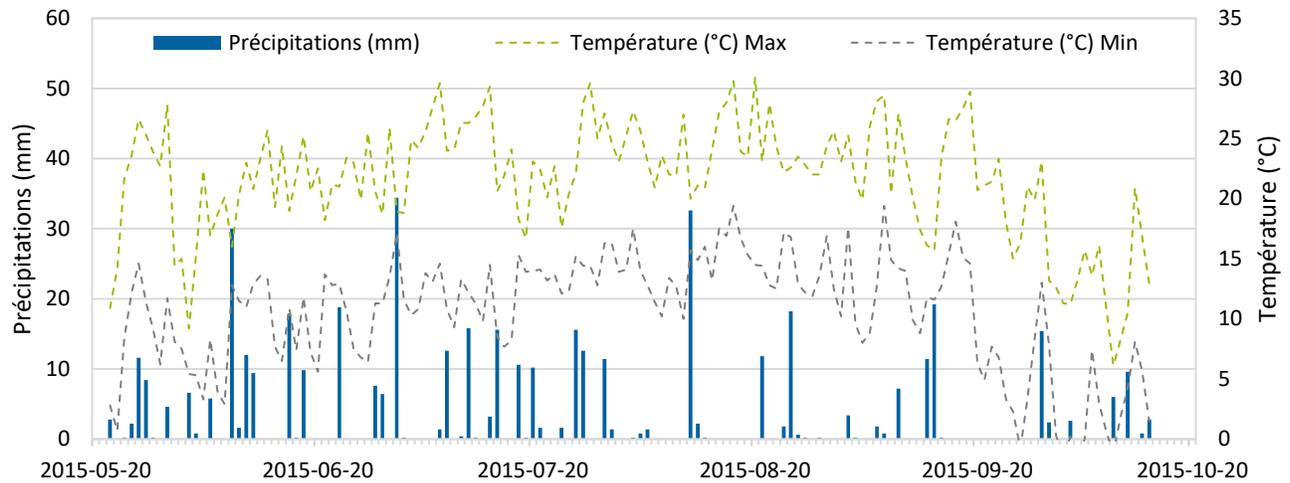


Figure 18. Données pluviométriques pour la saison de croissance de 2015. Les données de température sont tirées de la station d'Agrométéo de Saint-Pierre-de-la-rivière-du-sud.

5.2 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES 2016

Les données de pluviométries directement sur le site d'étude ne sont pas disponibles dû à une défaillance du pluviomètre en saison. Les données présentées sont celles tirées d'Agrométéo à la station Honfleur située à 22 km du site d'étude.

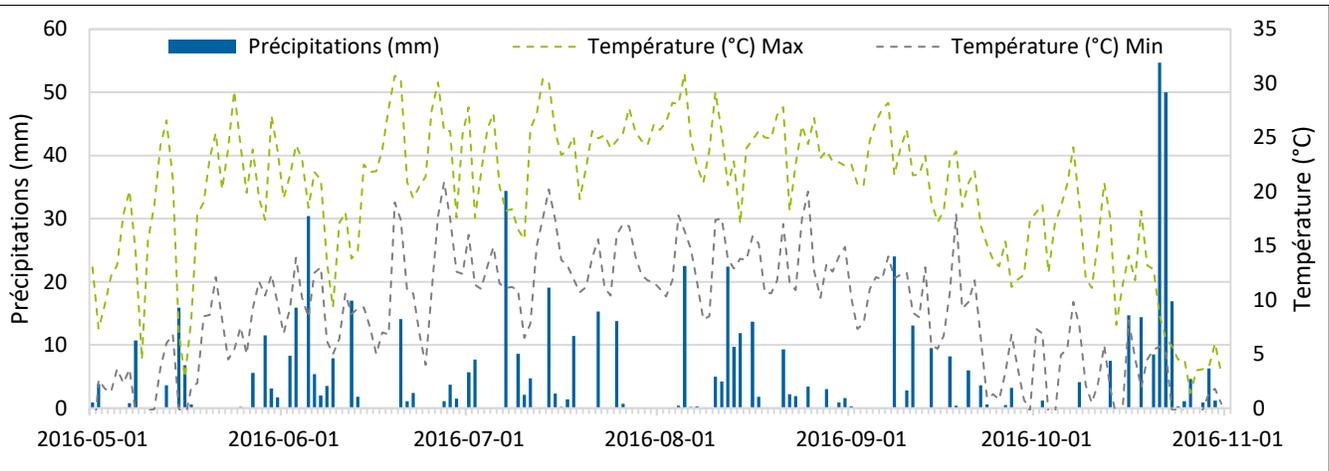


Figure 19. Données pluviométriques pour la saison de croissance 2016. Les données sont tirées de la station d'Agrométéo de Honfleur.