

Rapport final réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert,
sous-volet 11.1 – Appui à la Stratégie phytosanitaire québécoise en
agriculture

**TITRE DU PROJET : ALTERNATIVES ÉCOLOGIQUES À LA FUMIGATION
DANS LA CULTURE DE LA FRAISE**

NUMÉRO DU PROJET : CPEM-2-11-1575

Réalisé par :
Monsieur François Demers, agronome, Club agroenvironnemental
en horticulture
Monsieur Richard Hogue, Ph. D. biologiste, IRDA
Monsieur Thomas Jeanne², M.Sc.

DATE : 31 mars 2014

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



Alternatives écologiques à la fumigation dans la culture de la fraise **Monsieur François Demers¹, agronome, Club agroenvironnemental en horticulture**

Monsieur Richard Hogue², Ph. D. biologiste, IRDA

Monsieur Thomas Jeanne², M.Sc., IRDA

Durée : 05/2012 – 12/2013

FAITS SAILLANTS (résumé du projet)

La nécessité de trouver des alternatives à la fumigation est primordiale pour permettre aux producteurs de fraises du Québec de s'adapter aux enjeux environnementaux et sociaux auxquels ils feront face dans les prochaines années. Cette adaptation doit se faire en conservant la compétitivité des producteurs québécois sur un marché ouvert à l'importation. La fumigation du sol a augmenté les rendements de 9 % à 60 % selon la régie de production et l'année de récolte. La régie de rotation, qui a conservé une plus grande diversité microbienne dans les sols, a produit un rendement vendable de 12 % à 51 % supérieur à celui obtenu par la régie intensive (monoculture), selon que le sol soit fumigé ou non et selon l'année des récoltes de fruits. Les augmentations de rendement et de rentabilité les plus élevées ont été obtenues par la régie de rotation en sol fumigé lorsque les conditions climatiques étaient contraignantes en 2012. La fumigation répétée en régie de production intensive a augmenté les nématodes pathogènes et diminué la diversité microbienne, la productivité et la rentabilité.

L'application, en 2012, du Rootshield® WP, du Microflora PRO et du Compost-S a permis d'accroître les rendements des parcelles non fumigées du site en régie de rotation de respectivement 37 %, 13 % et 30 %. La seule fumigation avait induit une hausse de 60 % à ce site, alors que l'ajout du Compost-S dans le sol fumigé est le seul traitement à avoir induit 8 % de rendement additionnel. Les traitements n'ont pas eu d'impact positif sur le rendement en 2013 lorsque les conditions climatiques ont été favorables à la productivité des plants. Dans certains cas, ces traitements ont démontré des gains au niveau de la protection contre les maladies racinaires et contre les populations de nématodes pathogènes. Suite à la fumigation, les sols sous régie de rotation recouvrent un plus haut niveau de richesse et de diversité des populations bactériennes. Ces populations contribueraient à la productivité des plants de fraisiers de par leurs rôles dans la dégradation de la matière organique, la minéralisation d'éléments nutritifs et de par leurs interactions suppressives envers des champignons et nématodes pathogènes des plants de fraisiers. L'impact de la fumigation sur les populations microbiennes des sols sous régie intensive est plus grand et la diversité des populations bactériennes étant plus limitée, cela expose ces sols à une prévalence plus élevée des agents pathogènes suite au repeuplement microbien des sols initié après la phase de fumigation. L'analyse de la diversité microbienne des sols fumigés a montré que le repeuplement microbien des sols est très rapide suivant la fumigation. Les sols avaient retrouvé en un peu plus d'un mois des dénombrements microbiens comparables à ceux observés dans les parcelles témoin non fumigée.

Lorsque l'on évalue l'ajout de Compost-S ou de Rootshield WP ou de Microflora PRO à un sol non fumigé, ce sont surtout les parcelles non fumigées sous la régie de rotation du site A en 2012 et celles non fumigées du Compost-S au site D en 2013 qui ont accru leurs rendements de fraises. L'ajout de Microflora PRO dans les sols fumigés des sites B, C et D a permis d'accroître légèrement les rendements obtenus de la fumigation. L'ajout de Compost-S en sol fumigé du site A et non fumigé du site D a ajouté de 7 % à 8 % au rendement total.

¹ Club agroenvironnemental en horticulture, 2072, rue de la Presqu'île, Québec (QC) G1P 3Y1

² IRDA, 2700 rue Einstein, Québec (QC) G1P 3W8

OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE OU DÉMARCHE

Le projet était basé sur deux hypothèses. L'ajout d'un biofongicide (Rootshield® WP) ou d'un biofertilisant (Microflora PRO ou Compost-S) favoriserait un peuplement dominant d'une ou de plusieurs communautés microbiennes suppressives aux champignons et nématodes pathogènes du fraisier. De plus, suite à la fumigation, le repeuplement des communautés microbiennes bénéfiques serait plus rapide et dominant.

Les objectifs du projet étaient : (1) d'utiliser trois types d'inocula microbiens (Rootshield® WP, Microflora PRO et Compost-S) utilisés seuls dans un sol de fraisière fumigé ou non à la chloropicrine, (2) de déterminer l'impact des traitements sur les rendements, sur les biomasses de fraisiers, sur la réduction des infections racinaires par des champignons et nématodes pathogènes, et, sur les populations microbiennes de la rhizosphère, (3) de démontrer que l'emploi des inocula est une alternative écologique à l'emploi de la seule fumigation chimique du sol, et (4) de démontrer la rentabilité économique des alternatives écologiques.

Les essais ont été effectués sur deux sites distincts d'implantation de fraises d'automne, en 2012 et 2013, à chacune de deux fermes de la région de Québec (annexe 1, figures A1.1 et A1.2). La ferme à Saint-Nicolas appliquait une régie de production intensive (monoculture, sites B et D) de fraises. La ferme à Pont-Rouge appliquait une régie de rotation (sites A et C) axée sur la culture de précédents culturels pendant deux années antérieures à la plantation des fraisiers. En 2012, le Compost-S et les inocula ont été appliqués à la plantation et une dose additionnelle a été appliquée par aspersion manuelle une fois pour le Rootshield WP et cinq fois pour le Microflora PRO (annexe 1, tableau A1.2). En 2013, le dispositif expérimental a été modifié pour que les doses additionnelles d'inocula soient appliquées cinq fois via le système d'irrigation des rangs traités pour le Rootshield WP ou le Microflora PRO (annexe 1, figure A1.2 et tableau A1.2). Le projet a quantifié plusieurs variables, dont les rendements, les biomasses foliaires et racinaires des plants, les champignons et les nématodes pathogènes des fraisiers, les populations totales de bactéries et de champignons ainsi que les populations microbiennes spécifiques de *Trichoderma spp.*, de *Bacillus spp* et de *Streptomyces spp*.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE OU POUR LA DISCIPLINE

Implantation des parcelles et des inocula microbiens (objectif 1).

Analyses de caractérisation des sols des quatre sites

Le tableau 1 présente les principales caractéristiques des sols des quatre sites utilisés pour implanter un dispositif de 32 parcelles par site en 2012 et en 2013. Le site A compte un précédent de trèfle suivi d'avoine+trèfle. Le site C compte deux années de culture du millet perlé à titre de précédent. Les sites B et D sont en monoculture de fraises d'automne depuis respectivement 20 ans et 10 ans.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sites évalués.

| | Site | Régie | Texture | M.O. (%) | Analyse Mehlich III (mg/kg) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|-------------|---------------------|-------------|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | | | pH | P | K | Ca | Mg | Al | B | Cu | Fe | Mn | Zn | Na |
| 2012 | A | Rotation | sable loameux | 3,29 | 6,71 | 180 | 49 | 1546 | 52 | 1705 | 0,40 | 0,6 | 120 | 8,6 | 6,5 | 2,5 |
| | B | Monoculture | loam sableux | 5,36 | 5,91 | 528 | 351 | 2383 | 216 | 1402 | 0,65 | 19,3 | 276 | 83,2 | 4,9 | 26,4 |
| 2013 | C | Rotation | sable loameux | 4,65 | 6,21 | 195 | 105 | 1168 | 84 | 1810 | 0,41 | 1,4 | 148 | 9,7 | 6,1 | 3,0 |
| | D | Monoculture | loam sablo-argileux | 6,26 | 5,91 | 318 | 307 | 2199 | 217 | 1410 | 0,55 | 11,2 | 221 | 86,8 | 2,8 | 25,9 |
| Ratio B+D/A+ C | | | | 1,5 | 0,9 | 2,3 | 4,2 | 1,7 | 3,2 | 0,9 | 1,5 | 15,4 | 1,8 | 9,3 | 0,6 | 9,5 |

À chacun des sites, 10 jours après la fumigation, des échantillons composites de 20 carottes (5 cm x 20 cm) de sol ont été prélevés dans chacun des emplacements des blocs de sol non fumigé et fumigé pour caractériser le sol des sites. Les principaux résultats des analyses de granulométrie, du pourcentage de matière organique, de pH eau et de Melhich-III des échantillons de sol sont inscrits au tableau 1. Les sols des sites de rotation sont plus légers et se drainent plus rapidement. Le pourcentage de matière organique est plus élevé aux sites en monoculture suite à l'enfouissement annuel des pailles de recouvrement du sol. Le producteur applique l'équivalent de près de 400 balles de 13 kg à l'acre tous les ans. Le pH du sol des sites en rotation est plus élevé de 0,3 à 0,8 unité. Sauf l'aluminium et le zinc, les sols en monoculture affichent une teneur plus élevée (1,5 à 4,9) pour les éléments B, Ca, Fe, P, Mg et K, et une teneur beaucoup plus élevée (9,3 à 15,4 fois) en Mn, Na et Cu. Les régies de production et de protection appliquées à ces sites expliquent en partie ces différences de pH, de % M.O. et de teneur en éléments minéraux.

Variation des conditions météorologiques de mai à septembre 2012 et 2013 (annexe 2)

Les températures journalières maximales, minimales et moyennes ainsi que les précipitations totales journalières et par période de 10 jours ont été enregistrées de mai à septembre 2012 et 2013. La saison de croissance 2012 a été globalement plus chaude qu'en 2013, particulièrement pour des périodes de 15 jours à la mi-mai, mi-juin, et du 15 juillet au 15 août (figure A2.1). Les précipitations ont été plus fréquentes en 2013, mais le nombre d'événements pluvieux > 20 mm a été similaire (figure A2.2). Par rapport à 2012 (532 mm), les volumes de précipitations en 2013 (656 mm) ont doublé en mai (122 vs 260 mm), ont été réduits de 40 % en juin, se sont accrus de 33 % en juillet et de 40 % en août, et ont été réduits de 7 % en septembre (tableau A2.3). De plus, au site C en 2013, un gel de printemps a sévi le lendemain de la plantation. L'année 2012 a été une année plus chaude avec une production de fraises plus hâtive et des conditions climatiques plus stressantes pour les plants. La saison 2013 a été une année plus tempérée et pluvieuse avec un léger retard du début de la production des fruits.

Évaluation de l'impact des traitements (objectif 2)

Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les rendements (annexe 3)

La figure A3.1 et le tableau A3.1 présentent l'impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les rendements totaux, vendables et non vendables de fraises. Les rendements vendables les plus élevés sont observés en parcelles sous régie de rotation aux sites A et C. Une plus grande proportion ($\pm 20\%$) de rendements non vendables de fraises est observée aux sites B et D sous régie de monoculture. Hormis un possible effet de la régie, précisons que les critères de classement des fraises pour le rendement vendable étaient ceux dictés par l'entreprise afin de respecter les critères d'achat de ses clients.

Dans ce contexte, la comparaison des rendements totaux indique des rendements significativement supérieurs au site A en 2012, une année aux conditions climatiques plus restreignantes par rapport aux rendements du site B. Par contre, en 2013, une année aux conditions climatiques plus favorables à l'établissement des plants et à la production de fruits, les rendements totaux du site C sont similaires ou légèrement inférieurs à ceux obtenus au site D).

Dans les parcelles témoin sous régie de rotation, la fumigation seule a induit des rendements totaux significativement supérieurs au site A en 2012, avec un écart de 60 % avec le rendement total obtenu en parcelle témoin non fumigée. L'impact de la seule fumigation du sol a été moindre (44 %) dans les parcelles sous régie de monoculture (site B). En 2013, au

site C, le gain de rendement total obtenu en parcelle témoin fumigée sous régie de rotation a par contre été moindre à 9 %, comparativement à un gain de 18 % dans les parcelles témoin fumigées sous régie de monoculture (site D). Le gel printanier le jour suivant la plantation au site C peut avoir contribué à un décalage de la croissance qui peut avoir causé une baisse des rendements.

L'effet de la seule fumigation du sol, quelle que soit la régie de production appliquée, a été plus grand l'année 2012 pendant laquelle les conditions climatiques étaient les plus stressantes pour les plants de fraisiers. Lors d'une saison climatiquement plus favorable au rendement en 2013, la fumigation seule du sol a eu un effet stimulant plus important (18 %) pour les parcelles sous régie de monoculture (site D).

Lorsque les rendements totaux obtenus des parcelles traitées avec le Compost-S, le Rootshield WP ou le Microflora PRO sont comparés à ceux de la parcelle témoin, l'on observe que l'impact des traitements fluctue beaucoup selon les sites, leur régie de production et selon que le sol soit fumigé ou non (figure A3.1). Le résultat le plus significatif sur les rendements, suite à l'emploi du Compost-S ou des inocula, a été observé en 2012 au site A en régie de rotation (tableau A3.1). Le Compost-S a eu un effet stimulant de 30 % en parcelles non-fumigées du site A et d'environ 8 % en parcelles fumigées au site A et non fumigées au site D, mais un effet suppressif variant de 4 % à 16 % sous d'autres conditions d'emploi. Le Microflora PRO a stimulé le rendement de 13 % en parcelles non fumigées du site A et de 2 à 3 % en parcelles fumigées des sites B, C et D. Il a toutefois eu un effet nul ou suppressif de 10 % dans les parcelles non fumigées sous régie de monoculture des sites B et D. L'inoculum Rootshield WP, hormis un effet stimulant de 37 % en parcelles non fumigées du site A et de 3 % en parcelles non fumigées du site D, a induit un effet suppressif variant de 6 % à 10 % du rendement total dans les autres parcelles des sites A, B et C.

En conclusion, la régie de rotation permet l'obtention de rendements totaux supérieurs à ceux tirés de la régie intensive lorsque les conditions de croissance sont défavorables (tableau A3.1, colonne régies A/B et C/D). Cet effet est plus important en sol non fumigé. Sous des conditions climatiques stressantes en 2012, la fumigation du sol accroît significativement les rendements totaux, peu importe la régie de production. Sous des conditions de croissance favorables en 2013, les parcelles sous régie intensive bénéficient le plus de la fumigation (tableau A3.1, colonne Trait/Tém NF).

Lorsque l'on évalue l'ajout de Compost-S ou de Rootshield WP ou de Microflora PRO à un sol non fumigé, ce sont surtout les parcelles non fumigées sous la régie de rotation du site A en 2012 et celles non fumigées du Compost-S au site D en 2013 qui ont accru leurs rendements de fraises (tableau A3.1, colonne Trait/Tém). L'ajout de Microflora PRO dans les sols fumigés des sites B, C et D a permis d'accroître légèrement les rendements obtenus de la fumigation. L'ajout de Compost-S en sol fumigé du site A et non fumigé du site D a ajouté de 7 % à 8 % au rendement total.

Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les biomasses (annexe 4)

Les résultats de l'évaluation du poids sec moyen des biomasses aériennes et racinaires de quatre parcelles par traitement et de quatre plants par parcelle prélevés à la mi-juillet et à la mi-septembre, en 2012 et 2013, sont regroupés à l'annexe 4 aux tableaux A4.1 et A4.2.

En septembre 2012, seules les biomasses aériennes des plants prélevés en sol fumigé des parcelles témoin des sites B et A étaient significativement plus élevées par rapport à celles des parcelles témoin en sol non fumigé. Par contre, les biomasses racinaires des parcelles témoin fumigées du site B étaient significativement plus petites que celles des parcelles

témoin en sol non fumigé (tableau A4.1). En septembre de chaque année pour les sols fumigés ou non, les biomasses aériennes des plants témoin sous régie rotation (A et C) sont supérieures à celles des plants témoin sous régie intensive (B et D). Par contre, les biomasses racinaires des parcelles témoin ne sont pas significativement différentes entre les régies, peu importe la date de prélèvement (tableau A4.1).

Les différences de valeurs des biomasses aériennes et racinaires obtenues en septembre entre les parcelles témoin fumigées des sites A et B et celles des parcelles témoin des sols fumigés ou non des sites C et D ne reflètent pas les différences de rendements totaux obtenues dans ces mêmes parcelles.

L'application des traitements, exprimée en pourcentage de gain ou de perte par rapport à la valeur moyenne des biomasses aériennes ou racinaires des parcelles témoin, a résulté en des effets variables selon les sites, la fumigation ou non du sol et le traitement appliqué (tableau A4.2). Pour la biomasse aérienne en sol fumigé, les traitements ont induit plus fréquemment des gains de biomasses aériennes dans les parcelles du site B en juillet et des sites A, B et D en septembre. En sol non fumigé, un effet stimulant durable des traitements a été observé aux sites A et B en juillet et en septembre.

Pour la biomasse racinaire en sol fumigé, l'ajout de Compost-S est stimulant aux sites A et B toute la saison, tandis que les traitements Microflora Pro et Rootshield WP ont été stimulants au site A en juillet seulement et aux sites B, C et D en septembre. En sol non fumigé, un effet stimulant durable des traitements Microflora Pro et Rootshield WP a été observé au site A en juillet et en septembre.

En 2012, sous conditions climatiques de stress, aux sites A et B, nous avons observé qu'à un gain de biomasse aérienne observé pour un site, un type de sol et une date de prélèvement correspond souvent une perte de biomasse racinaire. Ainsi, en juillet en sol fumigé du site A, ou en septembre en sol non fumigé du site B, les traitements Microflora ou Rootshield sont des exemples de cette relation d'opposition des effets des traitements lorsque les biomasses aériennes et racinaires sont comparées. En 2013, sous conditions climatiques plus favorables, aux sites C et D, pareille relation d'opposition des biomasses n'a pas été observée aussi nettement (tableau A4.2).

En conclusion, les plants des sites A et B, et dans une moindre mesure ceux du site D, ont accru leur biomasse aérienne suite à l'application des traitements. L'amplitude de cet effet stimulant varie selon les traitements appliqués, mais elle s'observe autant en juillet qu'en septembre, les gains étant plus élevés en septembre. L'amplitude de l'effet est également systématiquement plus élevée en sol fumigé. Les plants du site A ont accru leur biomasse racinaire suite à l'application du Compost-S en sol fumigé, du Microflora PRO et du Rootshield WP en sol non fumigé. Par ailleurs, les trois traitements ont eu un effet stimulant sur la biomasse racinaire des plants des sites B, C et D en sol fumigé, surtout en septembre.

Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les champignons (annexe 5)

En 2012, la détection des champignons pathogènes des genres, *Phytophthora* et *Verticillium* a été réalisée à l'aide d'analyses sur géloses sélectives pour des échantillons composites de trois racines/plant et de 4 plants/parcelle témoin de sols fumigés et non fumigés. En 2012, le *Verticillium* a été détecté dans les sols fumigés et non fumigés du seul site A (tableau A5.1). Aucun *Phytophthora* n'a été détecté en 2012. Les champignons *Rhizoctonia* et *Fusarium* ont été détectés dans tous les échantillons, sauf ceux prélevés dans les sols fumigés du site B. Du *Pythium* a été détecté dans les sols non fumigés des sites A et B. Le champignon *Cylindrocarpon* a été détecté dans tous les échantillons de sol (tableau A5.1).

En 2013, l'analyse détaillée des fréquences de détection de neuf champignons pathogènes révèle que cinq champignons, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Pythium*, *Cylindrocarpon* et *Botrytis*, sont détectés à des fréquences de faibles à élevées selon les sites, les sols fumigés ou non et les traitements appliqués (tableau A5.1). Les échantillons prélevés au site D sous régie monoculture comptabilisent le plus grand nombre de fréquences de détection des champignons pathogènes. Parmi ces champignons pathogènes, les *Pythium*, *Cylindrocarpon* et *Botrytis* sont les trois plus fréquemment détectés dans les sols des sites C et D. Les *Rhizoctonia*, *Fusarium* et *Botrytis* sont plus fréquemment détectés dans le sol fumigé des deux sites. Les *Pythium* et *Cylindrocarpon* sont détectés avec une fréquence plus élevée dans les parcelles témoin en sol non fumigée autant aux sites C que D.

Le *Verticillium* a été détecté dans les racines de 3 plants issus des parcelles témoin en sol non fumigé et dans les racines de 2 plants des parcelles traitées au Microflora PRO au site en rotation C. Du *Phytophthora sp.* a été détecté au seul site D sous régie monoculture dans les racines de 2 plants prélevés des parcelles fumigées traitées au Rootshield WP et dans 1 plant des parcelles non fumigées traitées au Compost-S (tableau A5.1). Finalement, de l'*Alternaria* et de l'*Acremonium* ont été peu détectés au site C.

En conclusion, les cinq genres majeurs de champignons observés par ordre décroissant de fréquence dans les racines des sols non fumigés étaient *Pythium*, *Cylindrocarpon*, *Fusarium*, *Botrytis* et *Rhizoctonia*, tandis que trois genres *Alternaria*, *Acremonium* et *Verticillium* étaient rarement détectés (tableau A5.1). Les quatre genres majeurs détectés par ordre décroissant de fréquence dans les racines des sols fumigés étaient *Botrytis*, *Cylindrocarpon*, *Fusarium* et *Rhizoctonia*. La fumigation du sol a supprimé significativement les genres *Pythium*, *Cylindrocarpon*, *Alternaria* et *Acremonium*, mais elle a augmenté la fréquence de détection des *Botrytis* et n'a pas affecté les *Rhizoctonia* (tableau A5.1). Le traitement Rootshield WP a réduit de façon significative la fréquence de détection du *Rhizoctonia* aussi bien dans les parcelles fumigées que non fumigées. Les traitements Compost-S et Microflora PRO ont eu peu d'impact discernable sur la fréquence de détection des cinq champignons.

Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les nématodes (annexe 6)

L'on a observé une répartition spécifique des genres de nématodes phytopathogènes en fonction des types de sol et/ou des types de régie. Le genre *Pratylenchus* (sites A et C, régie rotation) et le genre *Meloidogyne* (sites B et D, régie intensive) ont été plus fréquemment détectés suite au prélèvement des sols en septembre de chaque année dans les parcelles témoin fumigées versus les parcelles non fumigées des sites A, B et C (figure A6.1). Ainsi, les décomptes par 100 mL de sol étaient de 210 vs 160 (A), 220 vs 20 (B), 35 vs 8 (C) et 65 vs 95 (D). Les décomptes moyens de nématodes ont varié de 100 à plus de 1000 dans l'ensemble des sols fumigés des sites A et B en 2012, tandis que ceux des sols non fumigés de 2012 et ceux de tous les sols de 2013 étaient pour la majorité inférieurs à 60.

Les caractéristiques des sols, leur historique de régie et les conditions climatiques annuelles expliquent ces différences de décompte annuel. Par rapport aux 210, 220 ou 65 nématodes par 100 mL de sol fumigé témoin des sites A, B et D, les traitements ont haussé le nombre de nématodes dans les sols fumigés de 2 fois (Rootshield, site A [410]), de 4 fois (Microflora, site B [800] et Rootshield, site D [275]) ou de 5 fois (Compost, site B [1000]). De plus, les traitements ont induit une baisse du nombre de nématodes dans tous les sols non fumigés, sauf le Microflora au site C, hausse de 5 fois et le Rootshield au site B, hausse de 6 fois (figure A6.1). La culture de deux années de millet perlé comme précédent cultural au site C aurait contribué à réduire le nombre des nématodes dans l'ensemble des parcelles.

Les inocula sont-ils une alternative écologique à l'emploi de la seule fumigation chimique du sol? (objectif 3).

Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les populations microbiennes indigènes

Le troisième objectif visait à démontrer que l'emploi des inocula est une alternative écologique à l'emploi de la seule fumigation chimique du sol. Nous avons donc évalué pour chacune des régies, l'impact de la fumigation du sol et de l'application ou non d'un biofongicide ou de biofertilisants sur la réduction initiale et le repeuplement des populations microbiennes et sur la persistance du biofongicide et des biofertilisants appliqués.

Dénombrements microbiens (annexe 7)

Les dénombrements par gramme de sol des bactéries totales, des *Pseudomonas*, des *Actinomycètes* et des champignons totaux par la méthode MPN en microplaque étaient dans l'ordre de grandeur attendu pour des sols agricoles (tableau A7.1). De façon générale, les dénombrements obtenus en juillet et en septembre 2012 n'ont pas permis de détecter des changements significatifs dans les nombres des microorganismes ciblés, hormis l'accroissement normal des populations microbiennes durant la saison de culture. Les effets de réduction des populations microbiennes suite à la fumigation des sols n'ont pas été observés au site A en juillet, les dénombrements n'étant pas significativement différents de ceux des parcelles non fumigées. En septembre, les dénombrements des *Pseudomonas*, *Actinomycètes* et des champignons s'accroissent dans toutes les parcelles, peu importe le traitement appliqué et que le sol ait été fumigé ou non, sauf celles du traitement Compost-S qui affichaient déjà en juillet des dénombrements similaires à ceux de septembre.

Au site B en juillet, seules les bactéries *Pseudomonas* dans les sols des parcelles Témoin fumigées et Microflora PRO fumigées étaient absentes des comptes (tableau A7.1). Nous avons constaté avec les décomptes selon la méthode MPN en plaques que moins d'un mois après la fumigation des sols, les populations microbiennes ciblées avaient été retrouvées aux sites A et B (sauf pour les parcelles citées plus haut), des niveaux de détection comparables aux niveaux détectés dans les parcelles témoin non fumigées de ces sites.

En 2012, la méthode MPN de culture en microplaque basée sur l'emploi de milieux de culture sélectifs n'a pas permis de mesurer efficacement la croissance et la persistance du biofongicide et des biofertilisants appliqués. En 2013, la mise au point de la méthode de quantification par qPCR et l'utilisation du pyroséquençage ont permis d'évaluer plus précisément la persistance des inocula dans les sols testés. Les quantifications des populations de *Bacillus spp* (Microflora PRO), de *Trichoderma harzanium* (Rootshield) et de *Streptomyces spp.* (Compost-S) à l'aide de l'amplification quantitative qPCR ont été exprimées selon le ratio de la quantité des populations cibles détectée en parcelles traitées en sol fumigé ou non sur la quantité détectée dans les parcelles témoin respectives.

Un ratio supérieur à 1,0 signifie que la croissance issue des microorganismes constituant l'un ou l'autre des inocula appliqués en parcelles contribue significativement au dénombrement croissant ou décroissant des espèces indigènes de ces microorganismes ajoutés au sol fumigé ou non. Un ratio inférieur à 1,0 peut signifier que les microorganismes inoculés n'ont aucune contribution significative au décompte des microorganismes indigènes qu'ils croissent bien ou non, ou que les conditions de sol ne sont pas favorables aux microorganismes indigènes et inoculés. La fumigation des sols peut modifier les communautés microbiennes et affecter positivement ou négativement les microorganismes inoculés ou ceux de même espèce qui sont indigènes.

Le ratio des *Bacillus spp.* était supérieur (1,42) dans les sols non fumigés et traités au Microflora PRO au site D, mais il était inférieur (< 1) dans les sols fumigés et traités du site D

et dans les sols traités et fumigés ou non du site C. La quantité d'espèces de *Bacillus* indigènes au sol des parcelles est présumée mieux adaptée à cet environnement que les espèces de *Bacillus* constituant l'inoculum Microflora PRO. Lorsque les conditions du sol témoin non fumigé sont favorables, ces espèces de *Bacillus* indigènes doivent compétitionner avec les autres microorganismes, ce qui peut freiner leur croissance. L'apport de nouvelles souches de *Bacillus* via le Microflora PRO peut alors favoriser un dénombrement plus élevé comparativement à celui calculé dans les parcelles témoin non fumigées. La fumigation du sol perturbe la compétition des autres bactéries envers les *Bacillus* qui pourraient croître mieux et rendre négligeable la contribution au dénombrement des *Bacillus* de l'inoculum Microflora PRO. Au site C, sous régie de rotation, la diversité des communautés microbiennes est meilleure qu'au site D sous régie de monoculture depuis 10 ans. La diversité peut être favorable à la croissance des *Bacillus* indigènes et rendre négligeable, au strict point de vue du dénombrement total, l'apport des *Bacillus* de l'inoculum Microflora PRO.

Le ratio du *Trichoderma harzianum* était supérieur dans les sols non fumigés traités au Rootshield WP des sites C et D, mais il était inférieur en parcelles traitées et fumigées. Les souches de *T. harzianum* indigènes au sol des sites C et D sont bien adaptées à parasiter les champignons du sol et elles croîtront d'autant plus si les conditions de sol sont propices au maintien d'une diversité d'espèces de champignons susceptibles à leur prédation. Le sol non fumigé offre ces conditions favorables. L'apport de Rootshield WP ne peut donc qu'augmenter la détection globale des *T. harzianum* dans les parcelles non fumigées par rapport aux parcelles témoin non fumigées. De même, la fumigation du sol pourra nuire à la multiplication des souches de *T. harzianum* lorsqu'elle diminue temporairement la diversité des champignons ciblés par les souches du *T. harzianum*. La prédation additionnelle de la souche de *T. harzianum* en sol fumigé pour lequel la diversité des proies du *T. harzianum* est réduite temporairement peut avoir réduit encore plus le soutien à la croissance des souches du *T. harzianum*, et ultimement, conduire à des dénombrements plus faibles dans les parcelles traitées et fumigées par rapport aux parcelles témoin fumigées.

Finalement, le ratio de *Streptomyces spp.* était plus élevé dans les sols fumigés et traités au Compost-S du site D, tandis que peu ou pas de *Streptomyces spp.* ont été détectés dans les parcelles non fumigées et traitées du site D et dans les parcelles traitées et fumigées ou non du site C. L'apport de Compost-S semble avoir eu davantage d'effets en sol sous régie de monoculture qui ont été fumigés parce que les *Streptomyces spp.* avaient moins de compétition dans ces sols comparativement aux sols sous régie de rotation qui peuvent maintenir un niveau plus élevé de diversité microbienne.

Analyses métaboliques (annexe 8)

Les analyses du métabolisme bactérien à l'aide de la méthode EcoPlate (BIOLOG) n'ont pas permis de distinguer des modifications cataboliques significatives parmi les 31 composés suite à la fumigation ou au traitement des sols de l'un ou l'autre des quatre sites. Toutefois, l'analyse globale des profils cataboliques des communautés bactériennes isolées de la rhizosphère de plants croissant sur des sites sous régie rotation (A) ou monoculture (B), fumigés ou non, et traités ou témoin a permis de démontrer les impacts de la régie de culture (site A vs site C), la période de croissance (juillet vs septembre), et l'apport du traitement Compost-S (tableaux A8.1 et A8.2). L'analyse des profils cataboliques des populations bactériennes des rhizosphères échantillonnées au site A indique que la diversité des profils est plus grande en juillet et qu'elle s'homogénéise beaucoup en septembre (tableau A8.1). Le site A, sous régie de rotation, maintient une plus grande diversité microbienne comparativement au site B. La valeur des coefficients de Pearson au site A varie sur une plus grande amplitude comparativement à celle des coefficients de Pearson du site B (tableaux A8.1 et A8.2). Aux deux sites, mais surtout au site A, la comparaison des

coefficients de Pearson obtenue de la comparaison des profils métaboliques des communautés bactériennes isolées en juillet versus ceux de septembre démontre bien la plus grande diversité bactérienne prévalente au site A et l'impact du traitement Compost-S qui affiche des valeurs de coefficient de Pearson plus élevées.

Analyses de la diversité bactérienne (annexes 9 et 10)

En 2012, l'analyse des profils PCR-DGGE a révélé l'impact de la fumigation et du temps sur l'évolution des populations bactériennes dans les sols des sites sous régie de rotation (A) et sous régie de monoculture (B). Les analyses PCoA des profils PCR-DGGE indiquent que les populations bactériennes des sols non fumigés au site A étaient plus diversifiées que celles des sols fumigés (annexe 9, figure A9.1). Par contre, au fil de la saison, les populations des sols fumigés ou non tendent à s'homogénéiser. Lorsque les populations bactériennes des sols fumigés ou non et traités avec le Compost-S, le Microflora PRO et le Rootshield WP sont comparées à celles des parcelles témoin, l'analyse PCoA des profils indique que seul le traitement Microflora PRO avait induit des modifications significatives dans la diversité bactérienne des parcelles non fumigées du site A au mois de juillet. Ces différences n'étaient toutefois plus perceptibles dans les profils PCR-DGGE des échantillons du mois de septembre 2012 (annexe 9, figure A9.2).

Au site B, ce sont les populations bactériennes des sols fumigés qui étaient plus diversifiées que celles des sols non fumigés dans les échantillons prélevés en juillet (annexe 9, figure A9.3). En septembre, il y a eu une plus grande homogénéisation des populations que celle observée au site A. L'analyse PCoA des profils obtenus au mois de juillet des sols fumigés et non fumigés du site B pour les traitements Compost-S, le Microflora PRO et le Rootshield WP et Témoin indique, comparativement au site A, une plus grande diversification des populations selon les traitements. Encore une fois, seules les populations bactériennes des sols fumigés et traités au Microflora PRO se distinguent significativement des autres populations des sols du site B (annexe 9, figure A9.4).

En 2013, l'impact des régies, de la fumigation et des traitements sur la diversité bactérienne des sols a été évalué en utilisant les dernières technologies de pyroséquençage. L'analyse des échantillons de sol de juillet 2013 indique que l'impact de la fumigation a été peu perceptible au sein des principales classes bactériennes des sols sous la régie de rotation (site C) et la régie intensive (site D) (annexe 10, figure A10.1). L'ajout de Compost-S est le seul traitement qui a eu une incidence sur les proportions des deux classes bactériennes, les Actinobactéries et les Bacilles, qui étaient dominantes dans le Compost-S lors de sa préparation au moment de la plantation des fraisiers en 2013. L'impact de l'ajout de Compost-S est perceptible sur les proportions de ces deux populations bactériennes dans les seuls sols sous régie de rotation (site C), qu'ils soient fumigés ou non (annexe 9, figure A9.1). Ces deux populations bactériennes dominantes dans le Compost-S ont semblé diminuer la proportion qu'occupaient les Betaproteobacteries dans le sol des parcelles témoin du site C. Il est probable que la plus grande richesse ou pluralité des populations bactériennes présentes dans les sols sous régie de rotation comparativement aux sols sous régie intensive favorise la différenciation des populations suite à la fumigation ou à l'ajout de Compost-S au sol du site C.

Le calcul des indices de richesse bactérienne (IRB) des sols sous régie de monoculture prolongée de plus de 10 ans indique que les valeurs IRB sont généralement inférieures à celles calculées pour des sols sous régie de rotation. La réduction des populations bactériennes suite à la fumigation d'un sol cultivé en monoculture depuis longtemps semble avoir été accentuée par rapport à la réduction observée dans un sol en régie de rotation. Cela aurait nui au repeuplement du sol par les populations bactériennes survivantes ou importées en saison.

En conclusion, la variabilité des réponses obtenues de chacun des traitements Rootshield, Microflora PRO et Compost-S, en sol fumigé ou non fumigé, sous la régie rotation ou intensive pourrait être imputée à trois principaux facteurs de variation : **(1)** les conditions climatiques annuelles, **(2)** les modes d'application des traitements adoptés en 2012 (immersion à la plantation suivi d'applications par injection) comparativement à 2013 (immersion à la plantation suivi d'applications par le système d'irrigation) et **(3)** la dose de Compost-S en 2012 avait été appliquée dans une zone limitée immédiatement adjacente aux racines du transplant de fraisier, tandis qu'en 2013, la dose de Compost-S a été incorporée à un plus grand volume de sol autour de la zone de plantation du transplant.

Rentabilité des méthodes alternatives (objectif 4)

Le quatrième objectif visait à évaluer la rentabilité des méthodes alternatives. Les rendements vendables (RDM) exprimés en kg/ha ont été estimés pour une plantation de 50 000 plants/ha. Les RDM qui partagent la même lettre dans la colonne de droite ne sont pas significativement différents ($P > 0,1$). Les revenus ont été calculés en fonction du prix moyen de vente à la ferme de 4,87 \$ pour 4,3 kg de fraises (12 chopines). Les coûts d'exploitation moyens ont été estimés en utilisant les données économiques de l'AGDEX 232/821b fev 2014 et les coûts d'achat des intrants. Deux façons de calculer les gains tirés de l'emploi de la fumigation et des traitements ont été utilisées.

La première réfère au Gain (%) retiré de l'emploi du traitement évalué lorsque le traitement de référence est le traitement témoin en sol non fumigé à ce site de production. Autrement dit, qu'est-ce qu'un producteur de fraises qui n'applique aucun traitement ni ne fumige ses sols retire de l'emploi des traitements seuls, la fumigation seule, ou enfin les traitements combinés à la fumigation?

La deuxième façon réfère au Gain (%) retiré de l'emploi du traitement évalué lorsque le traitement de référence est le traitement témoin en sol fumigé à ce site de production. Autrement dit, qu'est-ce qu'un producteur de fraises qui applique déjà la fumigation de ses sols retire de l'emploi des traitements sans fumigation, ou de la combinaison des traitements à la fumigation, et quelles seraient les conséquences économiques de ne rien faire?

En 2012, le producteur qui utilise la régie de rotation sans fumiger ses plants habituellement aurait réalisé d'importants gains variant de 13 % à 40 % suite à l'emploi des seuls inocula ou Compost-S (tableau 2 ci-dessous). S'il commençait la pratique de la fumigation, il aurait fait un gain de 65 %. Seul l'ajout de Compost-S au sol fumigé lui aurait donné un gain supplémentaire de 19 %, pour un total de 79 %. Par contre, si le même producteur en régie de rotation utilisait déjà la fumigation, seul l'ajout de Compost-S lui assurerait un gain additionnel de 9 %. S'il décidait de n'appliquer que des inocula, il enregistrerait des pertes variant entre 15 % à 31 % par rapport au gain qu'il retire de la fumigation des sols, sa pratique habituelle.

En 2012, le producteur qui produit des fraises de façon intensive depuis au moins 10 ans et qui commençait la pratique de la fumigation enregistrerait un gain de 45 %. Il n'aurait rien gagné à faire des traitements. Si le même producteur en régie intensive utilisait déjà la fumigation, il ne gagnerait rien de significatif à utiliser des inocula.

Donc, en 2012, c'est le producteur qui produit sous une régie de rotation qui aurait retiré le plus de la fumigation avec ou sans traitements, ou de la seule utilisation de l'un ou l'autre des rendements. Les conditions climatiques difficiles de 2012 n'auraient pas favorisé le producteur en régie intensive puisque seule la fumigation pouvait accroître significativement sa profitabilité.

Tableau 2. Rendements et analyse économique de la profitabilité des traitements appliqués

| Régie | Sol | Traitement | 2012 (sites A et B) | | | | 2013 (sites C et D) | | | |
|------------------------------|------------|----------------|------------------------|--------------|------------------------------------|--|------------------------|--------------|------------------------------------|--|
| | | | RDM kg/ha ^a | Profit \$/ha | Gain fonction de Témoin fumigé (%) | Gain fonction de Témoin non-fumigé (%) | RDM kg/ha ^a | Profit \$/ha | Gain fonction de Témoin fumigé (%) | Gain fonction de Témoin non-fumigé (%) |
| Rotation A/2012 et C/2013 | Fumigé | Compost-S | 32 062 a | 118 162 | 9 | 79 | 23 905 a | 86 023 | -20 | -13 |
| | | Microflora PRO | 29 011 a | 105 750 | -3 | 60 | 30 737 a | 112 551 | 5 | 14 |
| | | Rootshield WP | 26 521 a | 95 964 | -12 | 45 | 26 977 a | 96 912 | -10 | -2 |
| | | Témoin | 29 514 a | 108 609 | 0 | 65 | 29 186 a | 107 316 | 0 | 8 |
| | Non-fumigé | Compost-S | 24 060 a | 87 635 | -19 | 33 | 23 341 a | 84 802 | -21 | -14 |
| | | Microflora PRO | 20 909 b | 74 828 | -31 | 13 | 26 661 a | 97 491 | -9 | -2 |
| | | Rootshield WP | 25 303 a | 92 167 | -15 | 40 | 24 456 a | 87 982 | -18 | -11 |
| | | Témoin | 18 441 b | 65 980 | -39 | 0 | 26 824 a | 99 008 | -8 | 0 |
| Monoculture B/2012 et D/2013 | Fumigé | Compost-S | 18 038 a | 62 906 | -10 | 31 | 25 210 a | 91 166 | -4 | 12 |
| | | Microflora PRO | 19 794 a | 69 435 | 0 | 45 | 26 333 a | 95 198 | 1 | 17 |
| | | Rootshield WP | 17 271 a | 59 522 | -15 | 24 | 25 361 a | 90 545 | -4 | 11 |
| | | Témoin | 19 626 a | 69 649 | 0 | 45 | 25 962 a | 94 612 | 0 | 16 |
| | Non-fumigé | Compost-S | 12 589 b | 42 437 | -39 | -12 | 23 812 a | 86 658 | -8 | 7 |
| | | Microflora PRO | 11 857 b | 39 165 | -44 | -18 | 22 412 a | 80 750 | -15 | -1 |
| | | Rootshield WP | 12 376 b | 41 234 | -41 | -14 | 23 169 a | 82 908 | -12 | 2 |
| | | Témoin | 13 877 b | 47 996 | -31 | 0 | 22 324 b | 81 280 | -14 | 0 |

* Rendements exprimés en kg/ha calculés pour une plantation de 50 000 plants par hectare. Seuil de signification P<0.1.

** Basé sur un prix de vente de 21 \$ pour 12 chopines (4.3kg) et sur des coûts d'opération de 6,7 k\$/ha et des frais de récolte de 0.93 \$ par kg.

Pour les sites de 2013, lors d'une saison plus favorable, les pourcentages de gains nets suite à la fumigation sont plus modestes (8 % au site C et 16 % au site D). Au site C, seul le traitement Microflora PRO a permis un gain net de 6 % supplémentaire au gain tiré de la seule fumigation. Pour le site D, le traitement Compost-S a permis d'accroître le gain sans fumigation de 7 % et le traitement Microflora PRO a bonifié le gain de la fumigation de 1 %.

En conclusion, la fumigation accroît le rendement (60 % régie rotation, 41 % régie intensive) lorsque les conditions de production deviennent difficiles par une saison chaude et sèche. Pour maintenir un rendement au-dessus de 1,1 lb/plant, la fumigation peut se justifier année après année, mais cela accroît les populations de nématodes et réduit la diversité bactérienne, surtout en sol sous régie intensive. Cela réduit progressivement le rendement en sol fumigé (de 1,14 à 0,86 lb/plant) et encore davantage sans fumigation (0,98 à 0,61 lb/plant) Par contre, une régie de production basée sur la rotation des cultures et une sélection de plantes qui réduisent la pression des agents pathogènes peut maintenir une bonne productivité sans fumigation (1.18 lb/plant). Lorsque les conditions climatiques sont favorables, l'ajout d'un inoculant microbien adapté aux conditions de production peut accroître le rendement sans avoir à fumer le sol (37 % Rootshield, 30 % Compost-S et 13 % Microflora PRO).

Il est important de prendre en compte l'état initial du sol avant de faire les rotations. Faire des rotations avec un problème (présence de pathogènes ou une faible activité microbienne) ne se gère pas de la même façon qu'un cycle de rotation qui vise à faire perdurer de bonnes conditions de production et de santé des sols. La culture de rotation millet perlé pendant deux années successives avant la plantation des fraisiers a généré de très faibles décomptes de nématodes pathogènes et un rendement de 1,18 lb/plant en sol non fumigé, soit une réduction du gain net de 8 % par rapport au sol fumigé.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

L'étude qui a été menée chez deux producteurs de fraises de la région de Québec a permis d'identifier des éléments décisionnels pour déterminer la régie de production à adopter pour allier productivité et pratique agroenvironnementale. Cette étude conclue que la fumigation, bien que bénéfique d'un point de vue purement économique, peut être en partie compensée par des pratiques plus environnementales en intégrant des inoculant microbiens et en choisissant une régie de production basée sur la rotation des cultures. Les résultats peuvent être applicables à la situation vécue dans plusieurs fraisières du Québec. Les techniques d'analyse de la biologie des sols ont permis de faire des diagnostics précis à des coûts abordables. L'application de ces techniques à l'identification de facteurs limitant le rendement vendable des fraises pourrait se généraliser dans les prochaines années.

L'objectif à moyen terme serait de pouvoir établir des recommandations aux producteurs, par l'emploi d'indicateurs microbiens. Ces derniers pourraient donner des indications sur le type de végétaux à utiliser en rotation, de cibler un inoculant microbien et de déterminer précisément la régie de culture qu'un producteur pourrait appliquer en fonction des conditions pédo-physico-chimiques de ses champs. À long terme, les producteurs gagneraient un outil d'aide à la décision qui servirait à prolonger la productivité de leurs champs et faciliterait l'adoption de régies de production performantes et plus agroenvironnementales.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

| | | |
|--|--|---|
| Responsable du projet François Demers, agronome Club agroenvironnemental en horticulture | | Responsable scientifique du projet Richard Hogue, Ph. D., biologiste IRDA |
| Téléphone : 418 563-0385 | | Téléphone : 418 643-2380 poste 420 |
| Courriel : ecolo-max@hotmail.com | | Courriel : richard.hogue@irda.qc.ca |

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert, sous-volet 11.1 — Appui à la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture, avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

Nous tenons également à remercier les propriétaires et le personnel de la fraisière Jean-François et Lyse Méthot inc. et de la fraisière Faucher inc. pour leurs partenariats et leurs collaborations étroites lors de la mise en place et du suivi des opérations du projet.

Nous tenons également à remercier le personnel du laboratoire de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ pour son important travail d'identification des maladies fongiques et des décomptes de nématodes. Nous tenons à remercier tout le personnel du Laboratoire d'écologie microbienne de l'IRDA, dont madame Guyanne D'Astous. Nous tenons enfin à remercier Stéphanie Tellier et Liette Lambert du MAPAQ pour leur aide dans la présentation du projet.



ANNEXE 1 : Dispositif expérimental des sites, calendrier des interventions et nombre d'applications du Compost-S et des inoculas

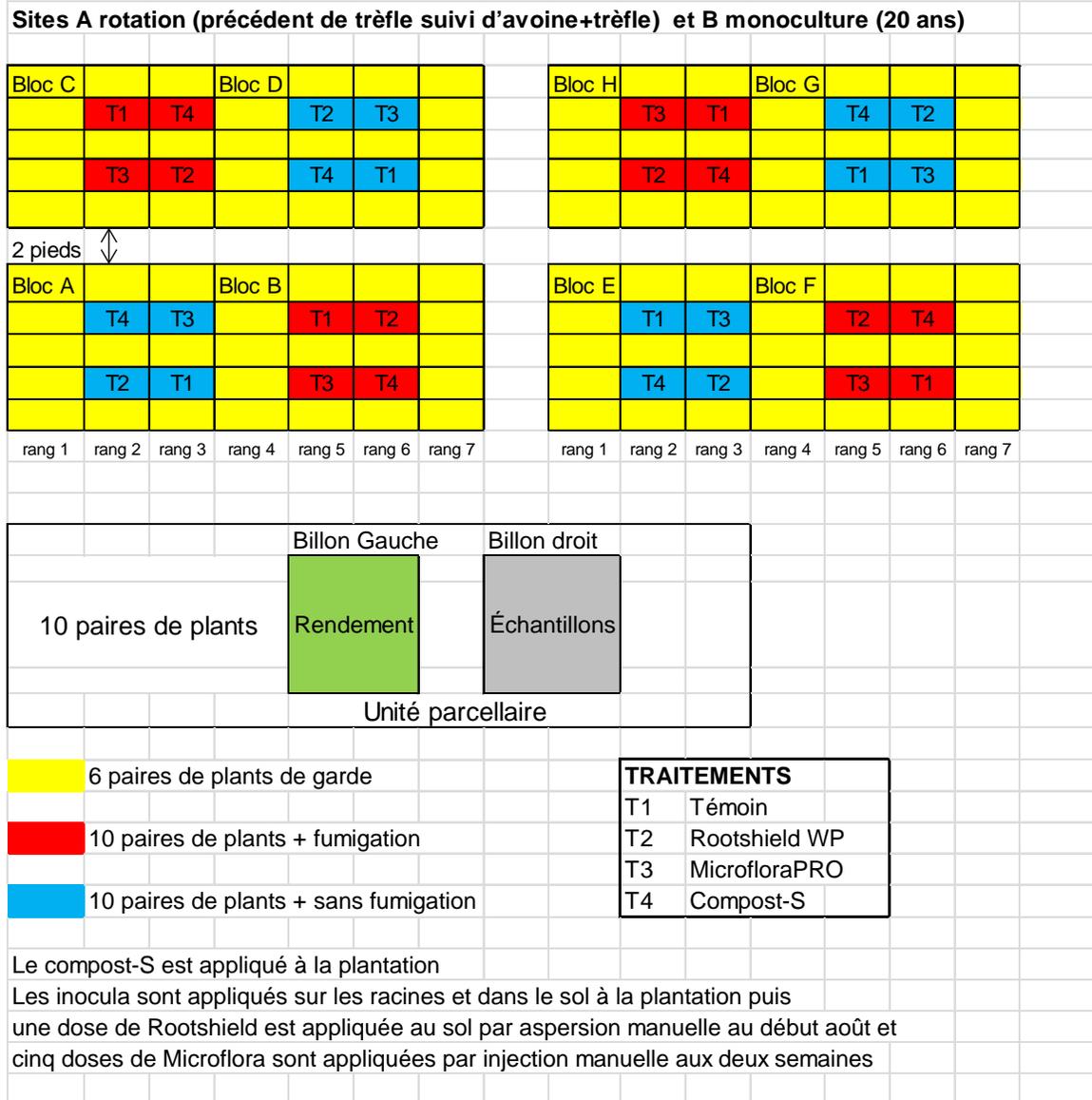
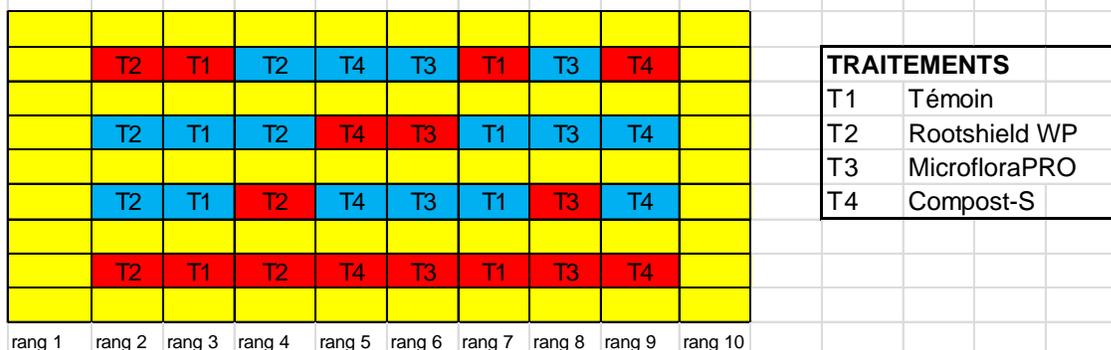


Figure A1.1 Schéma du dispositif expérimental en 2012 pour les sites A et B.

Tableau A1.1 Calendrier des interventions expérimentales en 2012 et 2013.

| Intervention | site A | site B | site C | site D |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Fumigation | 2012-04-26 | 2012-04-19 | 2013-04-29 | 2013-04-30 |
| Perforation du plastique | 2012-05-02 | 2012-05-03 | 2013-05-06 | 2013-05-06 |
| Plantation | 2012-05-08 | 2012-05-09 | 2013-05-12 | 2013-05-12 |
| 1 ^{er} échantillon sol | 2012-05-08 | 2012-05-09 | 2013-05-08 | 2013-05-09 |
| 2 ^{ème} échantillon sol + biomasse | 2012-07-19 | 2012-07-24 | 2013-07-11 | 2013-07-09 |
| 3 ^{ème} échantillon sol + biomasse | 2012-09-01 | 2012-09-01 | 2013-09-19 | 2013-09-19 |

Sites C rotation (deux années de culture du millet perlé) et D monoculture (10 ans)



| TRAITEMENTS | |
|-------------|---------------|
| T1 | Témoin |
| T2 | Rootshield WP |
| T3 | MicrofloraPRO |
| T4 | Compost-S |

| | |
|---------------------|----------------|
| 4 paires de plants | un seul billon |
| 10 paires de plants | Echantillons |
| 4 paires de plants | Rendement |
| | Echantillons |

- 8 paires de plants de garde
- 18 paires de plants + fumigation
- 18 paires de plants + sans fumigation

Le compost-S est appliqué à la plantation
 Les inocula sont appliqués sur les racines et dans le sol à la plantation puis à cinq occasions
 une dose de Rootshield est appliquée aux deux semaines via le système d'irrigation des rangs traités
 une dose de Microflora est appliquée aux deux semaines via le système d'irrigation des rangs traités

Figure A1.2 Schéma du dispositif expérimental en 2013 pour les sites C et D

Tableau A1.2 Nombre d'applications du Compost-S et des inocula.

| | Dosage individuelle/ plant | | | Goutte-à-goutte | | Injection |
|------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|
| | 2012-2013 | 2012 | 2012 | 2013 | 2013 | 2012-2013 |
| | Compost-S | Rootshield | Microflora | Rootshield | Microflora | Chloropicrine (12 jrs av plantation) |
| Plantation | 1 (30 g/plant) | 1 (trempage) | 1 (trempage) | 1 (trempage) | 1 (trempage) | |
| Post-plantation | | | | | | |
| Début juin | | | 1 | 1 | 1 | |
| 3ème sem .juin | | | 1 | 1 | 1 | |
| 6-8 juillet | | | 1 | 1 | 1 | |
| 3ème sem juillet | | | 1 | 1 | 1 | |
| Début août | | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Total | 1 | 2 | 6 | 6 | 6 | 1 |
| Coût / ha | 485 \$ | 849 \$ | 875 \$ | 1 698 \$ | 875 \$ | 1000 \$ |

ANNEXE 2 : Variation des conditions météorologiques de mai à septembre 2012 et 2013

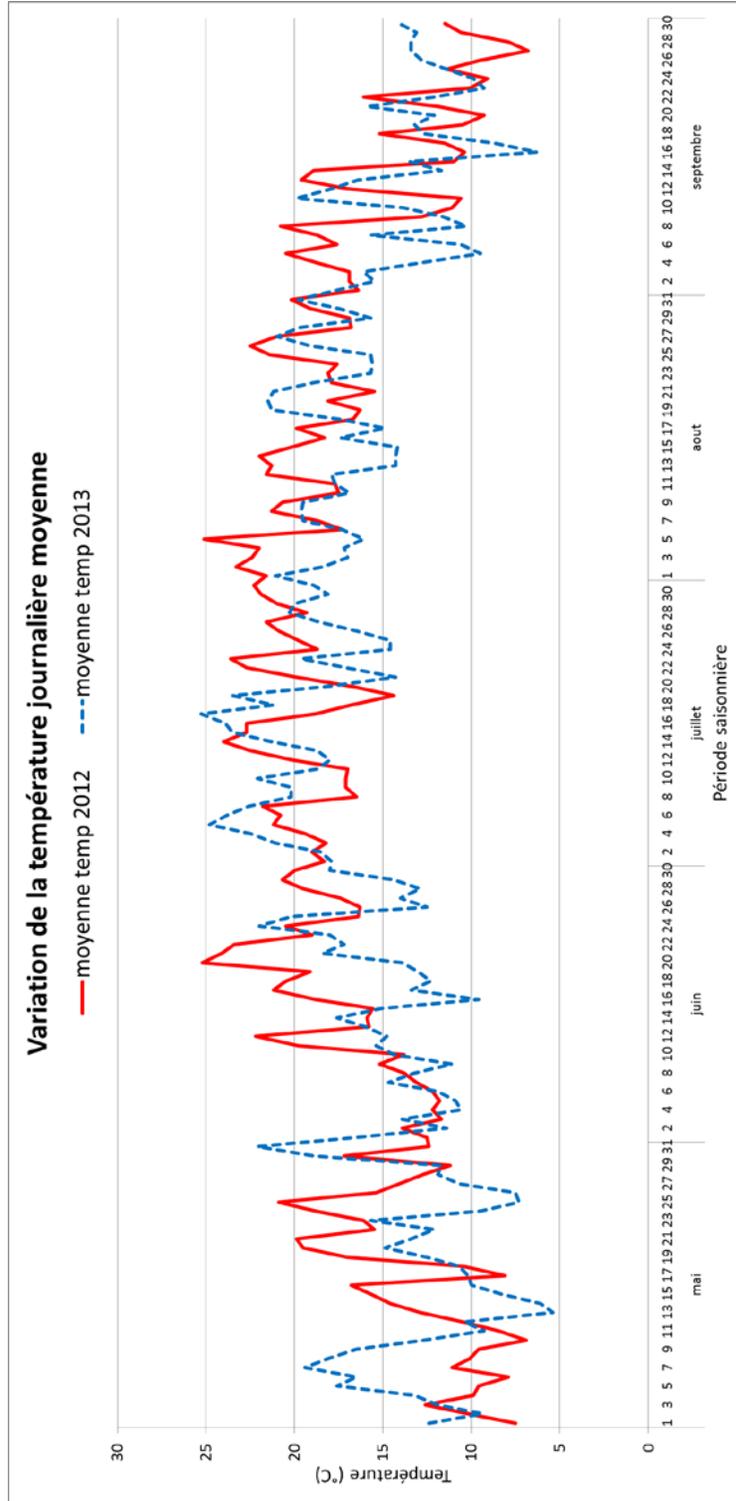


Figure A2.1 Variation de la température journalière moyenne de mai à septembre.

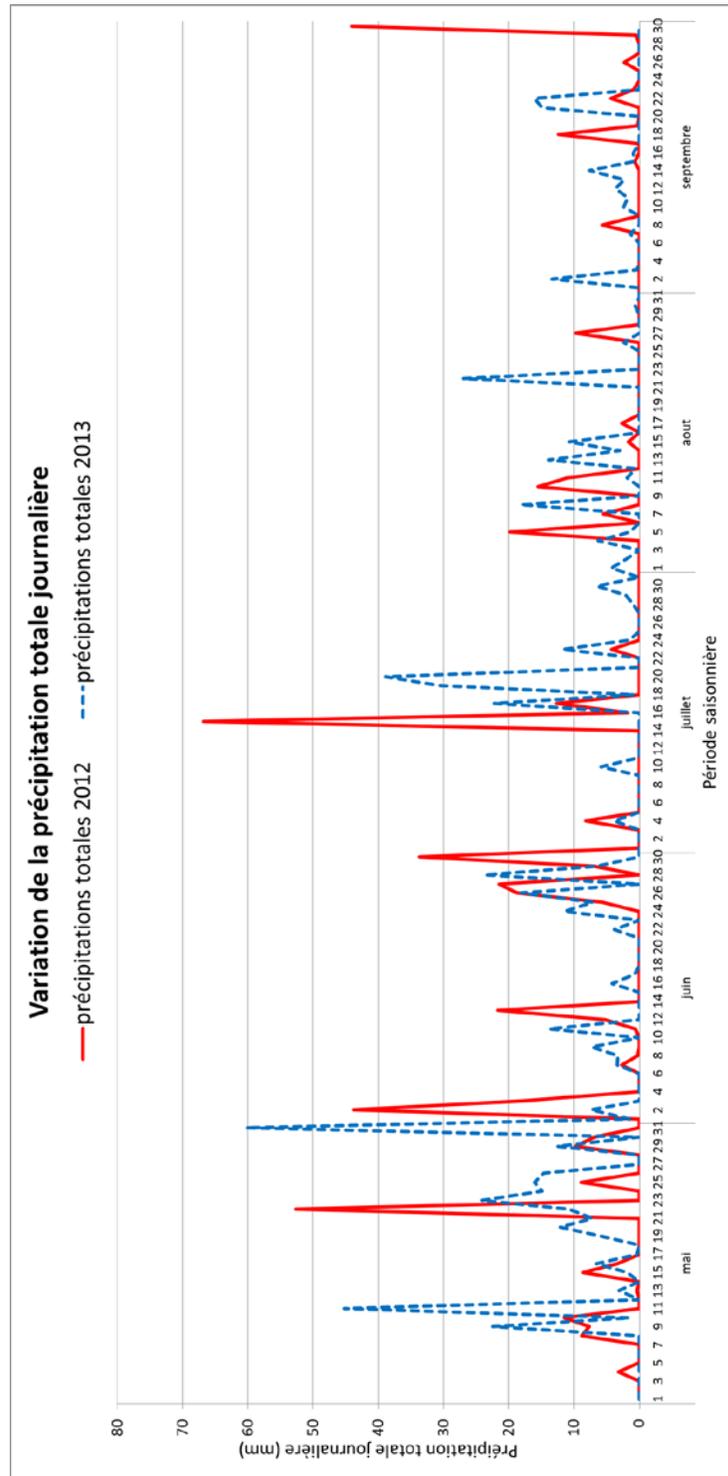


Figure A2.2 Variation de la précipitation totale journalière de mai à septembre.

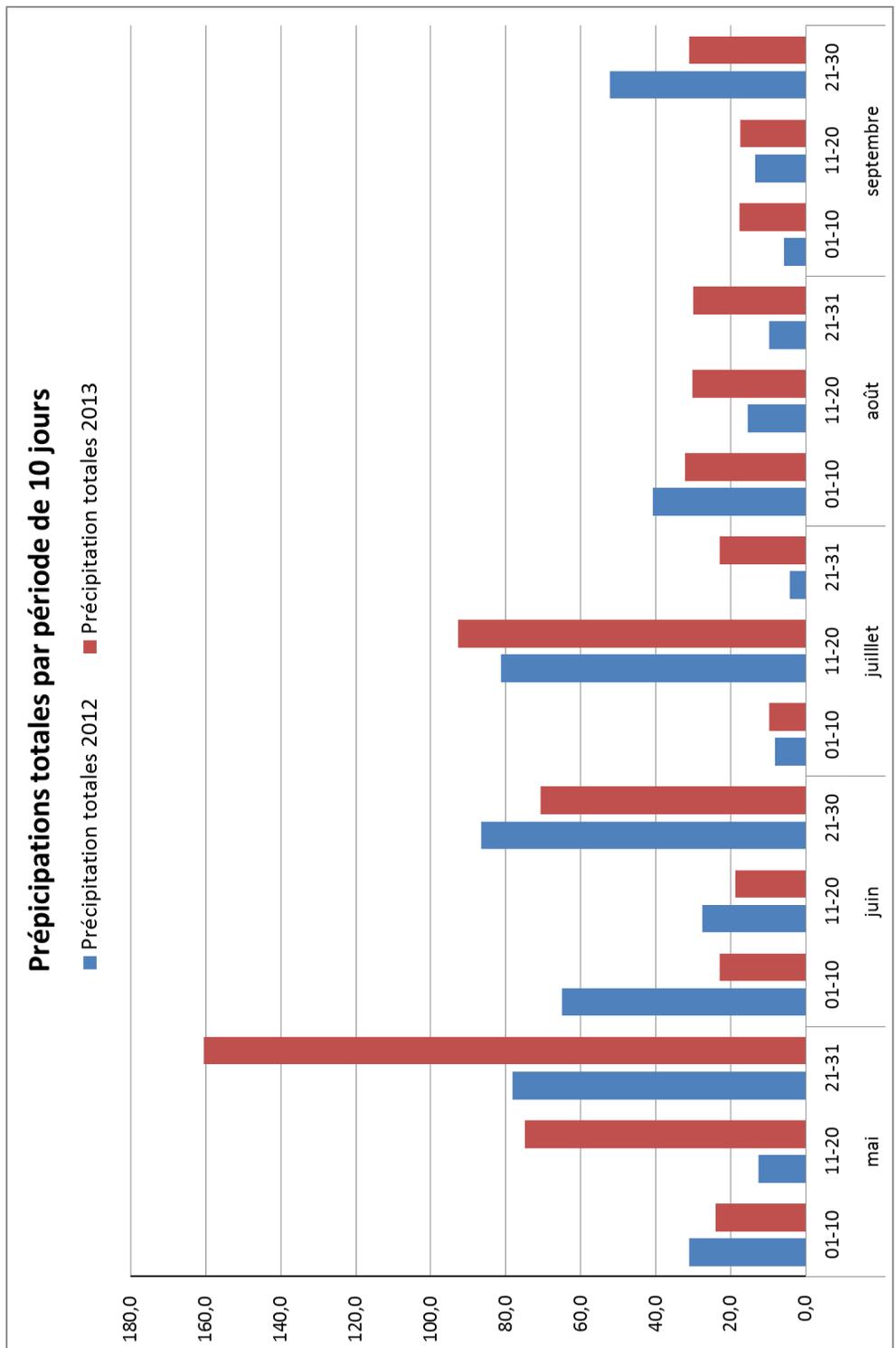


Figure A2.3 Précipitations totales par période de 10 jours de mai à septembre.

ANNEXE 3 : Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les rendements

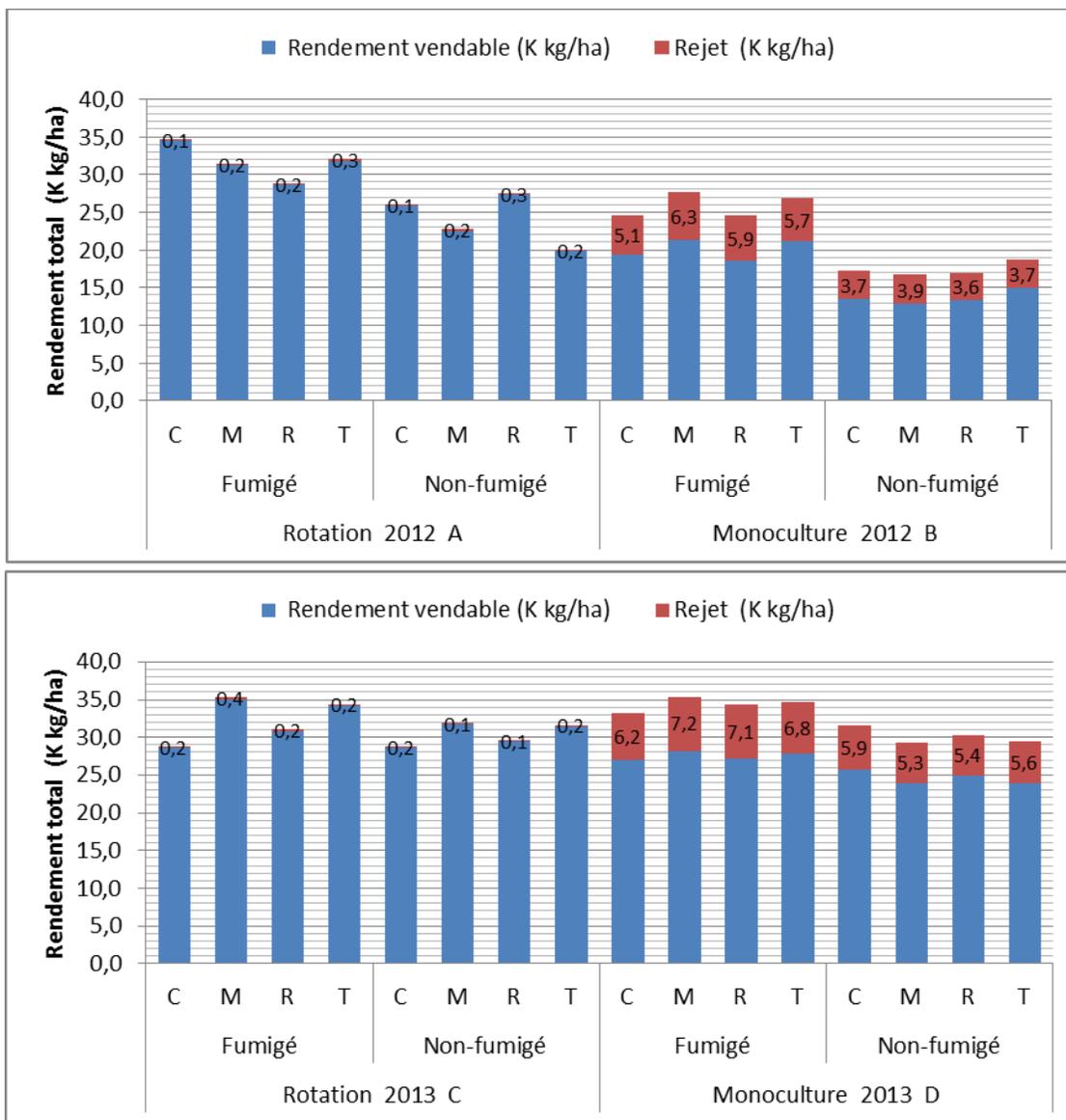


Figure A3.1 Rendements totaux de fraises produites en 2012 et 2013.

Les rendements vendables et non vendables sont illustrés pour les parcelles sous régie de rotation (sites A et C) ou de monoculture (sites B et D) en fonction de la fumigation du sol et des traitements d'inocula microbiens appliqués. Les traitements Compost-S (C), Microflora PRO (M), Rootshield WP (R) et Témoin (T) ont été appliqués tel que décrit à la section méthodologie dans les sols fumigés ou non.

Tableau A3.1 Proportion des rendements vendables, non vendables et totaux de fraises obtenus en 2012 et 2013.

Les proportions sont déterminées en fonction des régies de production, de la fumigation ou non du sol et des traitements appliqués.

| Régie Année | Site | Sol | Traitement | Rendement vendable (K kg/ha) | Rejet (K kg/ha) | Rendement total (K kg/ha) | Rend Total Trait/Tém ^a (%) | Rend Total Trait/Tém NF ^b (%) | Rend Total Régies ^c A/B : C/D (%) |
|--------------------|------------|--|------------|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Rotation 2012 A | Fumigé | | Compost-S | 34,555 | 0,149 | 34,703 | 8,1% | 72,9% | 41,4% |
| | | | Microflora | 31,265 | 0,211 | 31,476 | -1,9% | 56,8% | 13,9% |
| | | | Rootshied | 28,582 | 0,185 | 28,767 | -10,4% | 43,3% | 17,1% |
| | | | Témoin | 31,809 | 0,289 | 32,098 | | 59,9% | 19,6% |
| | Non-fumigé | | Compost-S | 25,931 | 0,132 | 26,063 | 29,8% | 29,8% | 51,3% |
| | | | Microflora | 22,535 | 0,221 | 22,756 | 13,3% | 13,3% | 36,2% |
| | | | Rootshied | 27,269 | 0,298 | 27,568 | 37,3% | 37,3% | 62,9% |
| | | | Témoin | 19,877 | 0,200 | 20,077 | | | 7,6% |
| Monoculture 2012 B | Fumigé | | Compost-S | 19,441 | 5,098 | 24,540 | -8,5% | 31,6% | |
| | | | Microflora | 21,335 | 6,290 | 27,625 | 3,0% | 48,1% | |
| | | | Rootshied | 18,614 | 5,945 | 24,559 | -8,5% | 31,7% | |
| | | | Témoin | 21,152 | 5,677 | 26,830 | | 43,9% | |
| | Non-fumigé | | Compost-S | 13,568 | 3,663 | 17,231 | -7,6% | -7,6% | |
| | | | Microflora | 12,781 | 3,932 | 16,713 | -10,4% | -10,4% | |
| | | | Rootshied | 13,339 | 3,582 | 16,921 | -9,3% | -9,3% | |
| | | | Témoin | 14,957 | 3,694 | 18,650 | | | |
| Rotation 2013 C | Fumigé | | Compost-S | 28,570 | 0,178 | 28,748 | -16,3% | -9,0% | -13,4% |
| | | | Microflora | 34,967 | 0,411 | 35,378 | 3,1% | 12,0% | 0,0% |
| | | | Rootshied | 30,839 | 0,178 | 31,017 | -9,6% | -1,8% | -9,6% |
| | | | Témoin | 34,126 | 0,200 | 34,326 | | 8,7% | -1,0% |
| | Non-fumigé | | Compost-S | 28,588 | 0,165 | 28,752 | -9,0% | -9,0% | -8,9% |
| | | | Microflora | 31,697 | 0,107 | 31,803 | 0,7% | 0,7% | 8,5% |
| | | | Rootshied | 29,442 | 0,074 | 29,516 | -6,5% | -6,5% | -2,6% |
| | | | Témoin | 31,365 | 0,216 | 31,581 | | | 7,3% |
| Monoculture 2013 D | Fumigé | | Compost-S | 27,036 | 6,167 | 33,203 | -4,3% | 12,8% | |
| | | | Microflora | 28,243 | 7,151 | 35,394 | 2,1% | 20,3% | |
| | | | Rootshied | 27,182 | 7,146 | 34,328 | -1,0% | 16,6% | |
| | | | Témoin | 27,884 | 6,798 | 34,682 | | 17,8% | |
| | Non-fumigé | | Compost-S | 25,644 | 5,913 | 31,557 | 7,2% | 7,2% | |
| | | | Microflora | 23,975 | 5,326 | 29,302 | -0,4% | -0,4% | |
| | | | Rootshied | 24,849 | 5,445 | 30,294 | 2,9% | 2,9% | |
| | | | Témoin | 23,877 | 5,554 | 29,431 | | | |
| NOTE: | a | Impact, exprimé en pourcentage, du traitement par rapport au témoin pour un sol fumigé ou non | | | | | | | |
| | b | Impact, exprimé en pourcentage, du traitement en sol fumigé ou non par rapport au sol témoin non-fumigé | | | | | | | |
| | c | Impact (%) du traitement en sol sous régie rotation par rapport au même traitement en sol sous régie monoculture | | | | | | | |

ANNEXE 4 : Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les biomasses

Tableau A4.1 Biomasses aériennes et racinaires obtenues en 2012 et 2013.
Les biomasses sont déterminées en fonction des régies de production, de la fumigation ou non du sol et des traitements appliqués.

| Site | Prélèvement | Traitement | Aérienne ^a | | Racine ^a | |
|-------------------------------|-------------|------------|-----------------------|------------|---------------------|------------|
| | | | Fumigé | Non Fumigé | Fumigé | Non Fumigé |
| site A rotation 2012 | juillet | Compost | 36,37 | 34,45 | 7,79 | 6,67 |
| | | Microflora | 30,28 | 30,87 | 8,55 | 7,85 |
| | | Rootshield | 31,98 | 34,74 | 6,87 | 8,01 |
| | | Témoin | 36,47 | 33,67 | 6,68 | 7,79 |
| | septembre | Compost | 57,67 | 55,09 | 11,15 | 8,85 |
| | | Microflora | 76,18 | 44,00 | 8,48 | 10,40 |
| | | Rootshield | 65,05 | 55,88 | 8,35 | 10,26 |
| | | Témoin | 55,86 | 48,13 | 9,90 | 9,72 |
| site B monoculture 2012 | juillet | Compost | 21,31 | 11,85 | 7,80 | 6,21 |
| | | Microflora | 22,17 | 11,62 | 6,70 | 8,29 |
| | | Rootshield | 18,70 | 13,84 | 6,10 | 8,24 |
| | | Témoin | 21,07 | 12,67 | 6,75 | 8,46 |
| | septembre | Compost | 54,13 | 29,50 | 9,78 | 11,03 |
| | | Microflora | 54,18 | 32,59 | 10,12 | 11,56 |
| | | Rootshield | 42,37 | 37,43 | 9,53 | 10,39 |
| | | Témoin | 53,90 | 30,83 | 8,95 | 11,96 |
| site C rotation 2013 | juillet | Compost | 13,61 | 11,01 | 3,32 | 2,95 |
| | | Microflora | 14,99 | 11,52 | 2,85 | 2,81 |
| | | Rootshield | 15,07 | 9,20 | 3,12 | 2,38 |
| | | Témoin | 15,67 | 15,45 | 3,67 | 2,60 |
| | septembre | Compost | 54,58 | 57,74 | 3,76 | 4,14 |
| | | Microflora | 60,92 | 53,72 | 3,83 | 3,13 |
| | | Rootshield | 58,76 | 44,15 | 3,98 | 3,14 |
| | | Témoin | 66,70 | 57,78 | 3,71 | 4,91 |
| site D monoculture 2013 | juillet | Compost | 20,30 | 16,34 | 3,63 | 3,40 |
| | | Microflora | 24,65 | 14,68 | 3,79 | 2,12 |
| | | Rootshield | 21,52 | 14,41 | 3,46 | 3,48 |
| | | Témoin | 23,52 | 14,73 | 3,58 | 3,53 |
| | septembre | Compost | 37,54 | 38,68 | 3,38 | 3,54 |
| | | Microflora | 56,17 | 40,75 | 4,29 | 2,74 |
| | | Rootshield | 52,40 | 35,63 | 4,14 | 2,95 |
| | | Témoin | 41,59 | 47,81 | 3,53 | 4,73 |

NOTE: a Moyenne du poids sec (g) de la biomasse de 4 plants/parcelle et 4 parcelles/traitement

Tableau A4.2 Gains ou pertes (%) des biomasses aériennes et racinaires.

Les gains ou pertes des biomasses aériennes et racinaires sont calculés par le ratio de la biomasse obtenu suite à l'application des traitements dans le sol fumigé ou non fumigé sur la biomasse obtenue dans les parcelles témoin correspondantes.

| Site | Prélèvement | Traitement | Aérienne | | Racine | |
|-------------------------------|-------------|------------|----------|------------|--------|------------|
| | | | Fumigé | Non Fumigé | Fumigé | Non Fumigé |
| site A rotation 2012 | juillet | Compost | -0,29 | 2,33 | 16,58 | -14,42 |
| | | Microflora | -16,96 | -8,32 | 27,87 | 0,85 |
| | | Rootshield | -12,32 | 3,17 | 2,74 | 2,78 |
| | | Témoin | | | | |
| | septembre | Compost | 3,24 | 14,46 | 12,59 | -8,94 |
| | | Microflora | 36,38 | -8,58 | -14,32 | 6,96 |
| | | Rootshield | 16,45 | 16,10 | -15,67 | 5,58 |
| | | Témoin | | | | |
| site B monoculture 2012 | juillet | Compost | 1,13 | -6,49 | 15,46 | -26,59 |
| | | Microflora | 5,23 | -8,26 | -0,83 | -2,02 |
| | | Rootshield | -11,23 | 9,27 | -9,62 | -2,54 |
| | | Témoin | | | | |
| | septembre | Compost | 0,43 | -4,31 | 9,31 | -7,79 |
| | | Microflora | 0,52 | 5,71 | 13,15 | -3,35 |
| | | Rootshield | -21,39 | 21,41 | 6,58 | -13,10 |
| | | Témoin | | | | |
| site C rotation 2013 | juillet | Compost | -13,16 | -28,70 | -9,70 | 13,67 |
| | | Microflora | -4,30 | -25,44 | -22,52 | 8,08 |
| | | Rootshield | -3,81 | -40,46 | -15,11 | -8,37 |
| | | Témoin | | | | |
| | septembre | Compost | -18,17 | -0,06 | 1,11 | -15,77 |
| | | Microflora | -8,67 | -7,03 | 3,16 | -36,21 |
| | | Rootshield | -11,91 | -23,58 | 7,17 | -36,10 |
| | | Témoin | | | | |
| site D monoculture 2013 | juillet | Compost | -13,71 | 10,92 | 1,36 | -3,89 |
| | | Microflora | 4,80 | -0,31 | 5,94 | -40,06 |
| | | Rootshield | -8,50 | -2,16 | -3,25 | -1,63 |
| | | Témoin | | | | |
| | septembre | Compost | -9,72 | -19,11 | -4,35 | -25,20 |
| | | Microflora | 35,06 | -14,77 | 21,29 | -42,06 |
| | | Rootshield | 26,00 | -25,47 | 17,15 | -37,65 |
| | | Témoin | | | | |

ANNEXE 5 : Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les champignons

Tableau A5.1 Détection de champignons pathogènes sur les racines de fraisier. Les fréquences de détection des champignons pathogènes sont déterminées selon la régie de production et la fumigation ou non du sol. Aux sites A et B en 2012, un composite de trois racines/plant et 4 plants/traitement a été observé sur gélose, et la présence ou l'absence d'un champignon est inscrite par traitement. Aux sites C et D en 2013, trois racines/plant et 12 plants/traitement ont été observés, et la fréquence de détection de chaque champignon par plant a été compilée.

| Régie Année Site | Sol | Traitement | Fréquence totale | <i>Rhizoctonia</i> | <i>Fusarium</i> | <i>Pythium</i> | <i>Cylindrocarpon</i> | <i>Botrytis</i> | <i>Phoma</i> | <i>Alternaria</i> | <i>Acremonium</i> | <i>Phytophthora</i> | <i>Verticillium</i> |
|-----------------------|------------|------------|---------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Rotation 2012 A | Fumigé | Témoin | | X | X | | X | | | | | | X |
| | Non-fumigé | Témoin | | X | X | Trace | X | | | | | | X |
| Monoculture 2012 B | Fumigé | Témoin | | | | | X | | | | | | |
| | Non-fumigé | Témoin | | X | X | X | X | | | | | | |
| Rotation 2013 C | Fumigé | Compost | 25 | 4 | 5 | 1 | 6 | 8 | | 1 | | | |
| | | Microflora | 21 | 2 | 4 | 1 | 4 | 7 | | 1 | | | 2 |
| | | Rootshield | 12 | | 2 | | 6 | 4 | | | | | |
| | | Témoin | 12 | 2 | 3 | 1 | 1 | 5 | | | | | |
| | | Sous-total | 70 | 8 | 14 | 3 | 17 | 24 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| | Non-fumigé | Compost | 19 | | 1 | 6 | 8 | 4 | | | | | |
| | | Microflora | 30 | 4 | 4 | 8 | 9 | 5 | | | | | |
| | | Rootshield | 26 | | 4 | 10 | 8 | | | 4 | | | |
| | | Témoin | 26 | 4 | 3 | 9 | 2 | 3 | | | 2 | | 3 |
| | | Sous-total | 101 | 8 | 12 | 33 | 27 | 12 | 0 | 4 | 2 | 0 | 3 |
| Monoculture 2013 D | Fumigé | Compost | 28 | 8 | 3 | 5 | 5 | 7 | | | | | |
| | | Microflora | 20 | | 5 | | 4 | 11 | | | | | |
| | | Rootshield | 26 | | 5 | 3 | 4 | 12 | | | | 2 | |
| | | Témoin | 19 | 7 | 1 | 1 | 1 | 9 | | | | | |
| | | Sous-total | 93 | 15 | 14 | 9 | 14 | 39 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| | Non-fumigé | Compost | 22 | 4 | 2 | 9 | | 6 | | | | | 1 |
| | | Microflora | 30 | 3 | 7 | 9 | 10 | 1 | | | | | |
| | | Rootshield | 18 | | 1 | 9 | 3 | 5 | | | | | |
| | | Témoin | 28 | 2 | 2 | 12 | 10 | 2 | | | | | |
| | | Sous-total | 98 | 9 | 12 | 39 | 23 | 14 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

ANNEXE 6 : Impact des régies de production, de la fumigation et des traitements sur les nématodes

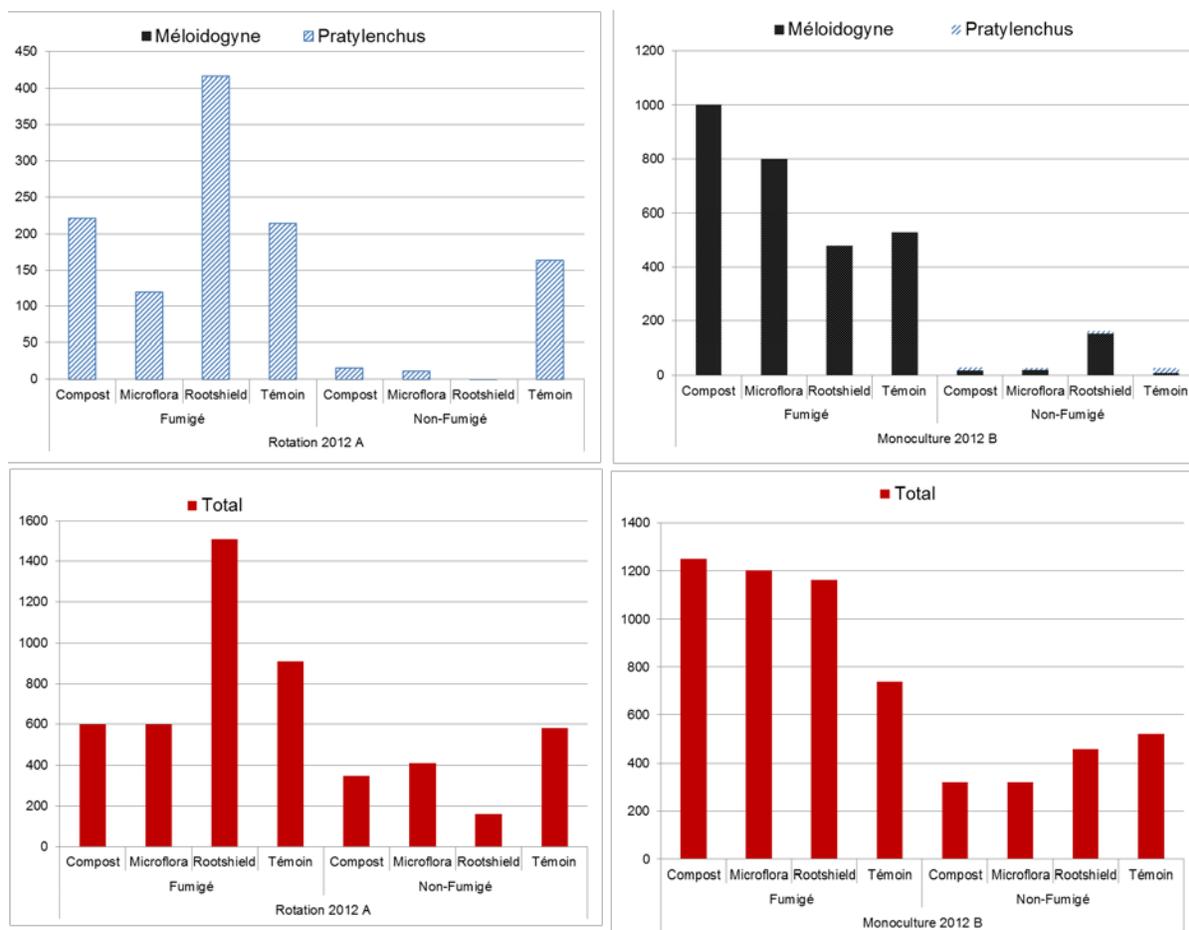


Figure A6.1 Fréquence de détection des nématodes pathogènes et totaux en 2012

Les fréquences de détection des nématodes pathogènes et totaux sont déterminées pour les sites sous régie de rotation (A) et sous régie de monoculture (B) et selon les traitements appliqués en sol fumigé ou non en 2012. Les dénombrements de nématodes totaux sont illustrés sur une échelle de 0 à un maximum de 1600 nématodes/100 mL de sol. Les dénombrements de nématodes pathogènes sont illustrés sur une échelle de 0 à un maximum de 1200 nématodes/100 mL de sol.

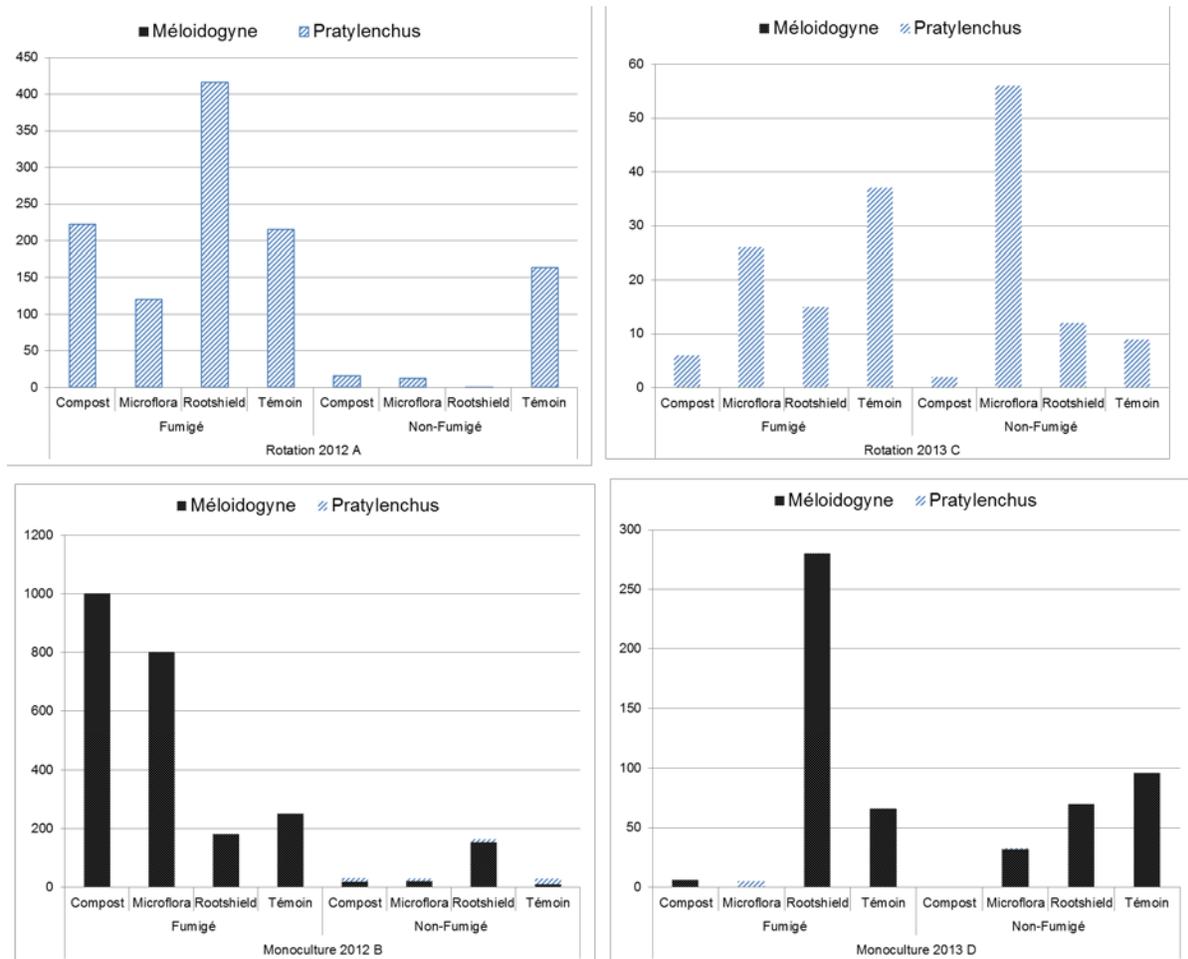


Figure A6.2 Fréquence de détection des nématodes pathogènes aux quatre sites. La fréquence de détection des nématodes pathogènes dans les sols sous régie de rotation (A et C) et sous régie de monoculture (B et D) a été déterminée selon les traitements appliqués en sol fumigé ou non en 2012 et 2013. Les dénombrements de nématodes pathogènes sont illustrés sur une échelle de 0 à un maximum de 1200 nématodes/100 mL de sol. Le maximum de l'échelle atteint 450 nématodes au site A, 1200 nématodes au site B, 60 nématodes au site C et 300 nématodes au site D.

ANNEXE 7 : Dénombrements microbiens

Tableau A7.1 Dénombrement des bactéries et des champignons par gramme de sol prélevé au site A et au site B en juillet et en septembre 2012.

| Site A Juillet | | | | | | | | | | |
|------------------|--------|--------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|------------|
| Cible | Milieu | Temps | Compost-S | | Microflora | | Rootshield | | Témoïn | |
| | | | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé |
| Bactéries | TSB | 48 hrs | 8,7E+07 | 1,3E+08 | 2,2E+08 | 5,0E+07 | 5,0E+07 | 1,0E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 |
| | CZA-BT | 48 hrs | 4,8E+07 | 6,9E+06 | 7,2E+05 | 5,0E+06 | 4,3E+07 | 1,3E+06 | 1,3E+06 | 4,3E+06 |
| Pseudomonas | KB | 48 hrs | 1,3E+08 | 1,1E+08 | 1,3E+06 | 1,3E+08 | 6,5E+07 | 1,3E+08 | 4,4E+07 | 4,3E+07 |
| Actinomycètes | AIB | 84 hrs | 4,3E+07 | 8,7E+04 | 1,3E+06 | 1,3E+06 | 4,4E+07 | 1,3E+06 | 5,0E+06 | 4,3E+05 |
| Champignons | PDB | 84 hrs | 4,4E+04 | 7,2E+03 | 7,2E+03 | 1,3E+03 | 1,3E+03 | 4,4E+04 | 5,0E+04 | 4,3E+02 |
| Site A Septembre | | | | | | | | | | |
| Cible | Milieu | Temps | Compost-S | | Microflora | | Rootshield | | Témoïn | |
| | | | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé |
| Bactéries | TSB | 48 hrs | 1,1E+08 | 1,3E+08 | 1,1E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,1E+08 | 1,3E+08 |
| | CZA-BT | 48 hrs | 1,1E+08 | 1,3E+08 | 8,7E+07 | 1,3E+08 | 5,0E+07 | 1,1E+08 | 1,1E+08 | 1,3E+08 |
| Pseudomonas | KB | 48 hrs | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 |
| Actinomycètes | AIB | 84 hrs | 5,0E+07 | 1,3E+08 | 5,0E+06 | 7,2E+07 | 8,7E+07 | 5,0E+07 | 5,0E+07 | 1,1E+08 |
| Champignons | PDB | 84 hrs | 4,3E+06 | 5,0E+05 | 7,2E+05 | 6,5E+06 | 7,2E+03 | 4,4E+06 | 8,7E+06 | 7,2E+04 |
| Site B Juillet | | | | | | | | | | |
| Cible | Milieu | Temps | Compost-S | | Microflora | | Rootshield | | Témoïn | |
| | | | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé |
| Bactéries | TSB | 48 hrs | 1,1E+08 | 1,1E+08 | 1,3E+08 | 1,1E+08 | 1,1E+08 | 8,7E+07 | 6,9E+07 | 1,3E+08 |
| | CZA-BT | 48 hrs | 1,3E+05 | 7,2E+06 | 8,7E+05 | 1,3E+06 | 6,9E+06 | 5,0E+05 | 1,3E+05 | 7,2E+06 |
| Pseudomonas | KB | 48 hrs | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 0,0E+00 | 1,1E+08 | 1,3E+08 | 1,3E+08 | 0,0E+00 | 1,3E+08 |
| Actinomycètes | AIB | 84 hrs | 7,2E+05 | 1,1E+05 | 5,0E+05 | 4,4E+06 | 1,3E+05 | 5,0E+05 | 5,0E+05 | 8,7E+05 |
| Champignons | PDB | 84 hrs | 1,1E+03 | 1,1E+04 | 1,3E+04 | 1,3E+03 | 5,0E+03 | 4,4E+04 | 5,0E+03 | 8,7E+03 |
| Site B Septembre | | | | | | | | | | |
| Cible | Milieu | Temps | Compost-S | | Microflora | | Rootshield | | Témoïn | |
| | | | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé | Fumigé | Non-fumigé |
| Bactéries | TSB | 48 hrs | 1,1E+08 | 7,2E+07 | 1,1E+08 | 1,1E+08 | 1,1E+07 | 1,1E+08 | 1,1E+08 | 1,1E+08 |
| | CZA-BT | 48 hrs | 5,0E+06 | 7,2E+05 | 1,1E+06 | 7,2E+05 | 1,3E+05 | 1,3E+06 | 1,1E+06 | 1,3E+06 |
| Pseudomonas | KB | 48 hrs | 1,1E+08 | 4,8E+07 | 1,1E+08 | 1,3E+08 | 1,1E+08 | 1,1E+08 | 1,1E+08 | 7,2E+07 |
| Actinomycètes | AIB | 84 hrs | 1,1E+06 | 1,1E+06 | 5,0E+06 | 1,1E+06 | 6,5E+05 | 1,1E+06 | 1,1E+06 | 7,2E+05 |
| Champignons | PDB | 84 hrs | 1,3E+03 | 5,0E+03 | 1,3E+03 | 1,1E+04 | 5,0E+03 | 5,0E+03 | 5,0E+03 | 7,2E+03 |

ANNEXE 9 : Analyses de la diversité bactérienne

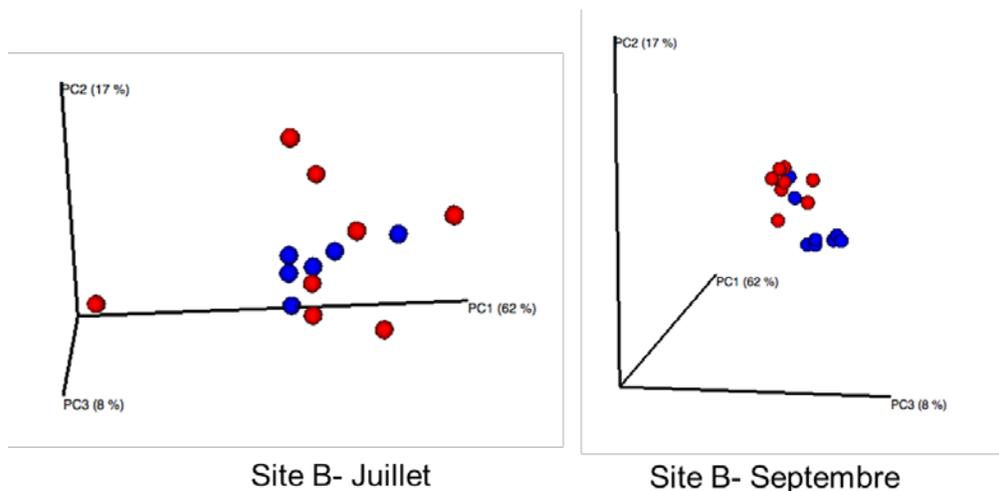


Figure A9.1 Analyse PCoA des profils PCR-DGGE des sols fumigés et non fumigés. Impact de la période de prélèvement des sols du site B en 2012. Sol fumigé (rouge) et sol non fumigé (bleu). Les trois axes représentent les trois principales composantes de variabilité composant la matrice de distance entre les échantillons. L'angle présenté a été choisi après visualisation en 3D pour présenter l'orientation la plus pertinente pour identifier des regroupements significatifs.

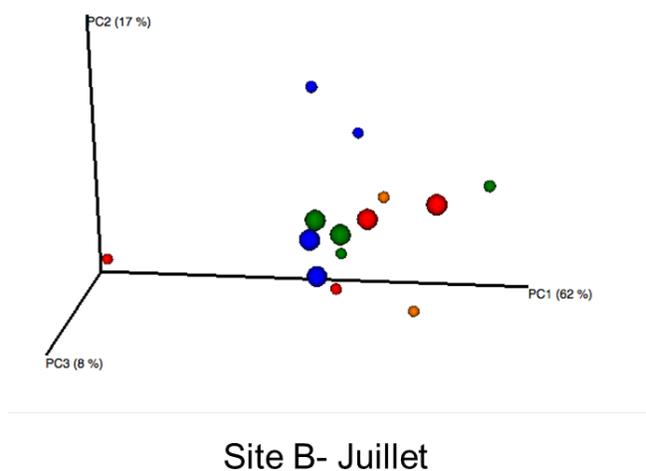
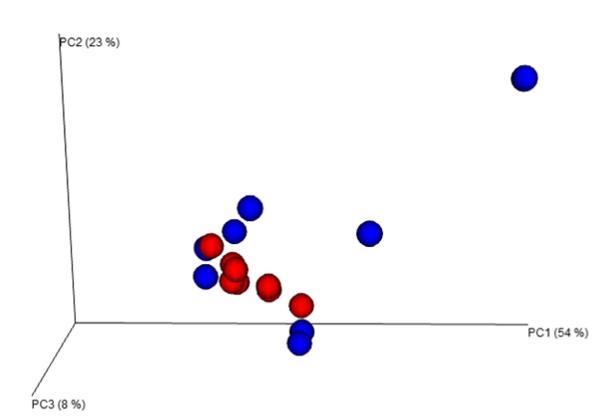
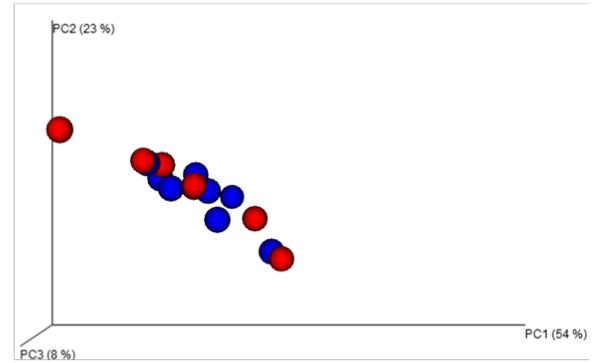


Figure A9.2 Analyse PCoA des profils PCR-DGGE des sols fumigés et non fumigés prélevés en juillet dans les parcelles traitées du site B sous régime de monoculture en 2012. Sol fumigé (petits cercles) et sol non fumigé (grands cercles). Les traitements Compost-S (rouge), Microflora PRO (bleu), Rootshield WP (orange) et Témoin (vert). Les trois axes représentent les trois principales composantes de variabilité composant la matrice de distance entre les échantillons. L'angle présenté a été choisi après visualisation en 3D pour présenter l'orientation la plus pertinente pour identifier des regroupements significatifs.

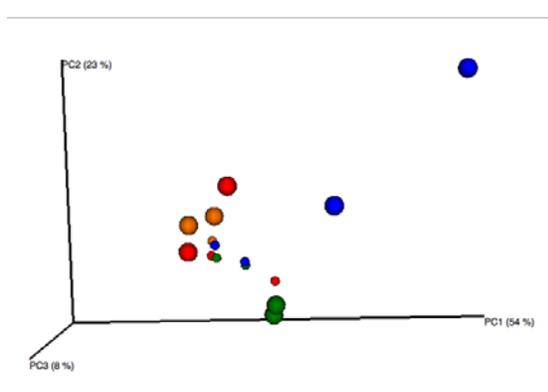


Site A- Juillet

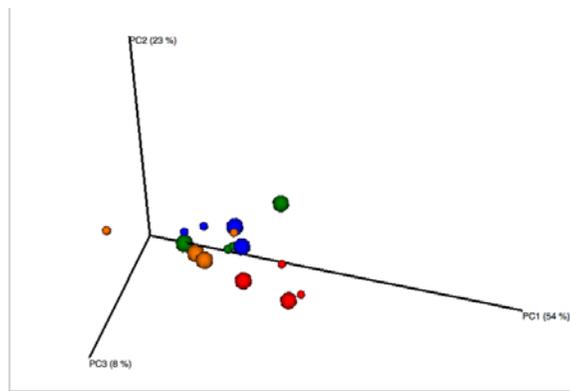


Site A- Septembre

Figure A9.3 Analyse PCoA des profils PCR-DGGE des sols fumigés et non fumigés. Impact de la période de prélèvement des sols du site A en 2012. Sol fumigé (rouge) et sol non fumigé (bleu). Les trois axes représentent les trois principales composantes de variabilité composant la matrice de distance entre les échantillons. L'angle présenté a été choisi après visualisation en 3D pour présenter l'orientation la plus pertinente pour identifier des regroupements significatifs.



Site A- Juillet



Site A- Septembre

Figure A9.4 Analyse PCoA des profils PCR-DGGE des sols fumigés et non fumigés prélevés en juillet et en septembre dans les parcelles traitées du site A sous régime de monoculture en 2012. Sol fumigé (petits cercles) et sol non fumigé (grands cercles). Les traitements Compost-S (rouge), Microflora PRO (bleu), Rootshield WP (orange) et Témoin (vert). Les trois axes représentent les trois principales composantes de variabilité composant la matrice de distance entre les échantillons. L'angle présenté a été choisi après visualisation en 3D pour présenter l'orientation la plus pertinente pour identifier des regroupements significatifs.

ANNEXE 10 : Proportions des classes bactériennes des sols

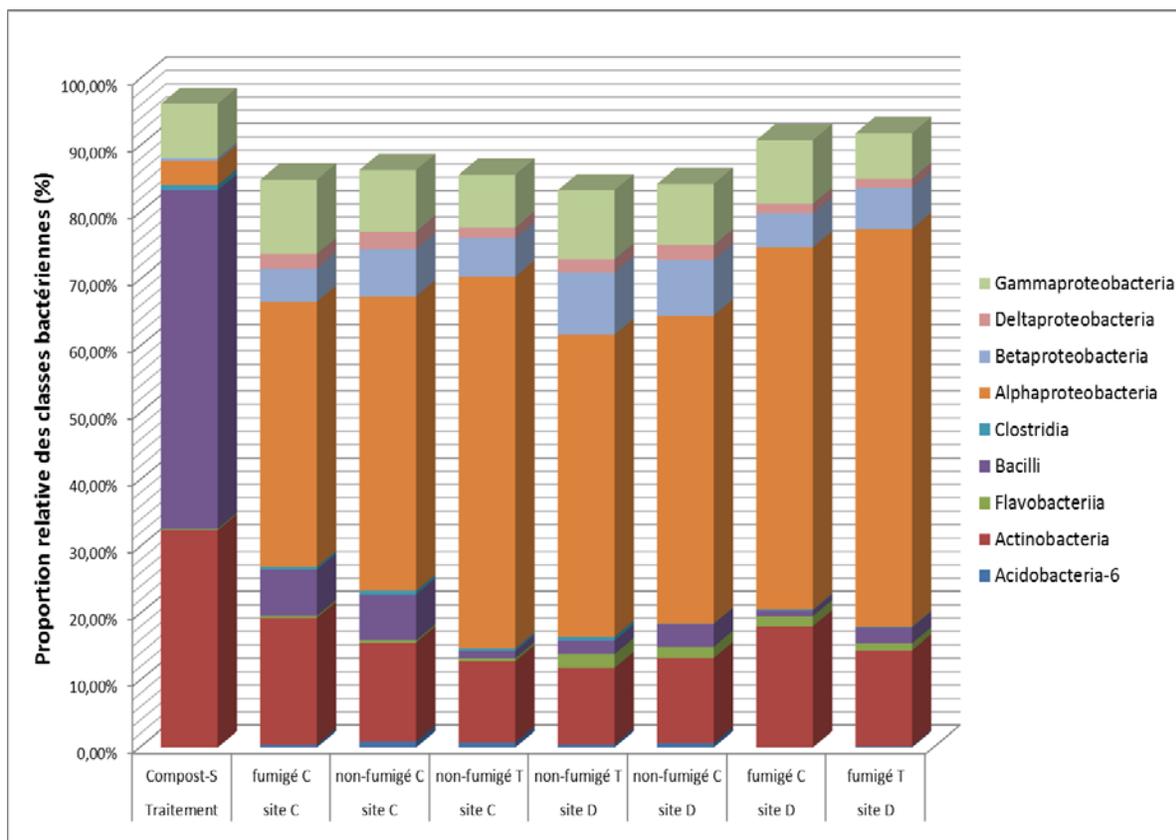


Figure A10.1 Proportions des classes bactériennes des sols des sites C et D en 2013. Les histogrammes représentent les proportions relatives des classes bactériennes des sols sous régie de rotation (C) ou sous régie monoculture de 10 ans (D), des parcelles témoin (T) ou traités avec le Compost-S (C) en sol fumigé ou non. Les proportions des classes bactériennes d'un échantillon de Compost-S (Traitement) servent de référence externe aux analyses des parcelles des sites C et D. Les proportions relatives découlent de l'analyse de pyroséquençage des échantillons de sol prélevés en septembre 2013.