



Développement de nouvelles stratégies de fertilisation de la fraise à jour neutre

Rapport final

Rapport présenté au :
Conseil pour le développement de l'agriculture
du Québec (CDAQ)

Projet CDAQ # : 6691
Projet IRDA # : 901 016

Rapport élaboré par :
Christine Landry, agr., Ph.D – IRDA
Carl Boivin, agr., M.Sc. – IRDA

Janvier 2014



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

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

Une partie du financement de ce projet a été assurée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, par l'entremise du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA). Au Québec, la part destinée au secteur de la production agricole est gérée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée 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 des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).

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

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Landry, C. et C. Boivin. 2014. *Développement de nouvelles stratégies de fertilisation de la fraise à jours neutres*. Rapport final remis au CDAQ. IRDA, 47 pages.

Équipe de réalisation du projet :

Répondants et responsables scientifiques : Volet nutrition minérale - Christine Landry, chercheure
Volet nutrition hydrique - Carl Boivin, chercheur

Chargés de projet : Julie Mainguy, attachée de recherche
Jérémy Vallée, attaché de recherche

Collaborateurs : Caroline Vouligny, attaché de recherche - IRDA
Stéphane Nadon, technicien agricole - IRDA
Danièle Pagé, technicienne agricole - IRDA
Michèle Grenier, biostatisticienne - IRDA
Hubert Labissonnière, technicien agricole - IRDA
Antoine Lamontagne, technicien agricole - IRDA
Daniel Bergeron, conseiller horticole – MAPAQ DRCN

Étudiants d'été : Ariane Blais-Gagnon, Christopher Lee, François Douville,
Maryse Gendron, Nicolas Watters, David Bilodeau, Michaël
Lemay, Maxime Delisle-Houle et Mireille Dubuc.

Ferme participante Ferme François Gosselin :
Louis Gosselin, producteur
Gabriel Gosselin, producteur

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 #640
Courriel : christine.landry@irda.qc.ca

Carl Boivin
Institut de recherche et de développement
en agroenvironnement (IRDA)
2700, rue Einstein
Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-2380 #430
Courriel : carl.boivin@irda.qc.ca

Remerciements :

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

SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET

Les engrais solubles apportés via la fertigation sont facilement lessivables. Par ailleurs, les conseillers n'ont aucune grille de référence en fertilisation, validée en conditions culturales du Québec, sur laquelle s'appuyer dans la culture de la fraise fertiguée à jour neutre. À cela s'ajoute une problématique d'assèchement du sol en périphérie du tube de goutte à goutte (GàG), surtout en conditions de sol drainant. Par conséquent, une distribution inadéquate de l'eau d'irrigation et par le fait même, des éléments apportés via la fertigation, crée une problématique préoccupante d'un point de vue agronomique, économique et environnemental. L'objectif principal du projet était donc de comparer plusieurs stratégies dont les composantes avaient le potentiel d'améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources hydrique et azoté à la portée du système racinaire de la plante.

Une équipe de recherche, impliquant des intervenants de l'IRDA, du MAPAQ DRCN et de la Ferme François Gosselin, a été formée pour réaliser ce projet dont les essais terrains se sont déroulés à l'Île d'Orléans en contexte de productions commerciales. Pour ce faire, un premier dispositif expérimental a permis de comparer, en 2012, 18 stratégies impliquant deux types d'engrais incorporés au buttage (conventionnel et libération contrôlée), deux modes d'application (à la volée et en bande), le recours à 1 ou 2 tubes de GàG et 3 niveaux d'apport de fertilisants solubles par fertigation (100 % de la dose généralement apportée dans cette culture, 50 % de cette dose et un témoin sans N apportant uniquement de l'eau). Les résultats de la première saison ont permis d'identifier les huit stratégies qui avaient le plus de potentiel et ces dernières ont été répétées en 2013.

Au final de cette 2^e saison, il ressort que l'application en bande de l'engrais conventionnel lors du buttage est difficile à justifier avec les résultats obtenus, comparativement à un mode à la volée. Par ailleurs, le recours à l'engrais à libération contrôlée, sans apports de N par la fertigation, n'est finalement pas à conseiller puisque le prélèvement total en N par la culture dépasse alors la dose totale de N apporté par l'engrais. En d'autres termes, la culture puise dans les réserves du sol. Pour les mêmes raisons, éliminer les apports de N via la fertigation, peu importe le type d'engrais, est à oublier pour l'instant, surtout pour un sol léger et pauvre en MO. Toutefois, la dose à 50% a donné des rendements aussi élevés que la dose 100% et apporte une quantité de N légèrement supérieure aux prélèvements de N les plus élevés mesurés. Enfin, quoique la position idéale des deux tubes de GàG dans la butte ne puisse pas faire l'objet de recommandations, l'impact positif de l'ajout d'un 2^e tube a été démontré et ouvre la porte à une diminution importante des apports en fertigation. Toutefois, le débit par goutteur et la gestion des apports en eau sont à revoir. À court terme, en minimisant l'impact pour l'entreprise, le témoin 'engrais conv. à la volée + 100 % fertigation + 1 tube de GàG' demeure la stratégie évaluée la plus intéressante. Toutefois, l'ajout d'un 2^e tube de GàG et la diminution de 50 % de la dose de fertigation, en supprimant un épisode sur deux, s'avèrerait les composantes d'une stratégie très prometteuse.

Table des matières

1	INTRODUCTION	1
1.1	Mise en contexte.....	1
1.2	Objectif général	3
1.3	Objectifs spécifiques	3
2	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	4
2.1	Site expérimental, matériel végétal et régie de culture	4
2.2	Collecte des données	5
2.2.1	Caractérisation initiale du site.....	5
2.2.2	Conditions météorologiques	6
2.2.3	Suivi du statut hydrique du sol.....	6
2.2.4	Prélèvements en N par la culture	7
2.2.5	N résiduel du sol à la récolte et répartition du nitrate dans la butte.....	8
2.2.6	Récolte des fruits.....	8
2.3	Traitements, dispositifs expérimentaux et analyses statistiques	9
2.4	Schéma de la butte de sol	11
2.5	Dispositif expérimental et analyses statistiques	12
3	RÉSULTATS ET ANALYSE	15
3.1	Conditions météorologiques.....	15
3.2	Rendements en fruits saison 2012.....	18
3.3	Rendements en fruits saison 2013.....	21
3.3.1	Poids total et vendable en fruits	21
3.3.2	Nombre de fruits produits et poids moyen de ces derniers	22
3.4	Azote	23
3.4.1	Prélèvement de l'azote par la culture.....	23
3.4.2	Reliquat d'azote dans le sol en fin de saison	26
3.5	Distribution de l'eau dans la butte.....	29
3.6	Comparer le rendement cumulatif.....	32
3.7	Quelle(s) stratégies choisir?	34
3.7.1	Évaluation des coûts (\$) reliés à l'adoption des différentes stratégies (1 ha).....	34
3.7.2	Synthèse et analyse des paramètres à l'étude en 2013.....	35
4	CONCLUSION.....	37
5	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	38
6	ANNEXE.....	39

Liste des figures

Figure 1. Schéma de la butte de sol avec repères et localisation des éléments propres aux stratégies à l'étude et de leur suivi.....	11
Figure 2. Schéma du dispositif expérimental pour la saison 2012.	13
Figure 3. Pluviométrie (mm) et température minimale, maximale et moyenne (°C) mesurées quotidiennement en 2012.....	16
Figure 4. Pluviométrie (mm) et température minimale, maximale et moyenne (°C) mesurées quotidiennement en 2013.....	16
Figure 5. Évapotranspiration potentielle (ETp) calculée quotidiennement (mm) en 2012.....	17
Figure 6. Évapotranspiration potentielle (ETp) calculée quotidiennement (mm) en 2013.....	17
Figure 7. Rendement total relatif en fruits selon la combinaison de traitements en 2012.....	19
Figure 8. Prélèvement moyen en N_{tot} des fraisiers selon la combinaison de traitements en 2013.	25
Figure 9. Contenu post-récolte en nitrate résiduel de la strate de sol 0-11 po dans la butte selon la combinaison de traitements en 2013 (n.s. à $P = 0,25$).	26
Figure 10. Contenu post-récolte en nitrate de la strate de sol 0-28 cm dans la butte après une incubation de 20 jours selon la combinaison de traitements en 2013 (n.s. à $P = 0,32$).	27
Figure 11. Contenu post-récolte en nitrate selon la zone de la butte et la stratégie en 2013.	28
Figure 12. Densité racinaire moyenne (cm/cm^3 de sol) selon la zone.	29
Figure 13. Rendement cumulatif relatif (%) selon le nombre de tubes de GàG (LC-0%) en 2013.	33
Figure 14. Rendement cumulatif relatif (%) selon le nombre de tubes de GàG (CV-50%) en 2013.	33
Figure 15. Rendement cumulatif relatif (%) selon le type d'engrais incorporé au sol au buttage (0%-2 tubes) en 2013.....	33
Figure 16. Filet protecteur utilisé.....	39

Liste des tableaux

Tableau 1. Dates des principales opérations culturales au cours des deux années du projet.....	4
Tableau 2. Résultats de caractérisation physico-chimique initiale du sol selon la saison.	5
Tableau 3. Périodes de récolte des fruits.	7
Tableau 4. Traitements comparés en 2012.....	10
Tableau 5. Justification du choix des huit traitements qui ont été répétés en 2013.....	20
Tableau 6. Rendement relatif total et vendable en fruits selon la stratégie en 2013.....	21
Tableau 7. Nombre relatif total de fruits selon la stratégie en 2013.	22
Tableau 8. Prélèvement, exportations et différentiels de quantités de N prélevé au total par la culture par rapport à la dose de N apporté par fertilisation selon les traitements, en 2013.	25
Tableau 9. État du statut hydrique du sol en regard des paramètres considérés selon le nombre de tubes de GàG.....	31
Tableau 10. Évaluation des coûts conséquent aux types d’engrais et au nombre de tubes de GàG selon la stratégie.....	34
Tableau 11. Avantages et inconvénients d’un point de vue agronomique, économique et environnemental.....	36

1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

L'azote (N) est un élément essentiel du rendement des cultures et le fraisier ne fait pas exception. Un apport suffisant, répondant à ses besoins, doit donc être assuré pour l'ensemble de la période requérant son utilisation par la plante. En ce qui a trait au fraisier à jours neutres, cette période débute en mai et se termine en octobre. En effet, ces fraisiers sont implantés au printemps sur un sol butté dont la surface est recouverte d'un paillis de polyéthylène noir. De plus, ces fraisiers produisent jusqu'aux premières gelées. Ainsi, d'importantes quantités de N sont exportées en dehors du site de production via les fruits. L'étendue de la période où il y a des besoins en N crée une problématique particulière. Effectivement, sous sa forme nitrate (N-NO₃), le N est très mobile dans le sol, car il n'a pas la capacité de se fixer aux particules qui s'y trouvent. Le N est donc susceptible au lessivage et le risque est d'autant plus présent que la période d'apport, via la fertigation, est longue. Le fait que l'ensemble des superficies de cette production soit irrigué vient aussi ajouter au risque puisque le transport du N dans le sol se fait principalement via le mouvement de l'eau ('mass flow'). De plus, les fertilisants azotés utilisés pour la fertigation sont tous, par définition, très solubles et apportés conjointement avec des quantités d'eau qui se drainent au travers du profil de sol. Ils sont donc particulièrement susceptibles au lessivage et davantage de N risquent d'être appliqués afin de garantir une nutrition azotée adéquate. Puisque ces fertilisants solubles sont dispendieux et que chacun des épisodes requiert de la main-d'œuvre, cette pratique engendre donc des coûts de production non négligeables.

Afin de réduire les coûts conséquents à l'application d'engrais via la fertigation, aux pertes de N par lessivage et pour en minimiser l'impact environnementale, ce secteur de production doit innover. Cette innovation passe par entre autres par l'augmentation de l'efficacité d'utilisation des fertilisants. Une des avenues possibles pour y parvenir est le recours aux engrais granulaires à libération contrôlée. Cette alternative a été évaluée dans le cadre d'un projet réalisé en 2010 et 2011 à l'Île d'Orléans (Landry et Boivin 2012). Ce projet avait comme principal objectif d'évaluer le potentiel d'utilisation de l'engrais à libération contrôlée dans la culture de la fraise à jours neutres. Les résultats ont démontré que l'utilisation de ce type d'engrais permet de réduire l'apport de N par la fertigation et valident par le fait même, le potentiel d'utilisation de ces derniers. Toutefois, ce type d'engrais est plus dispendieux et le placement de celui-ci dans le sol s'avère un facteur primordial à considérer pour en améliorer l'efficacité d'utilisation. En effet, pour être efficace (libération des nutriments), cet engrais doit être dans un sol dont la température minimale est de 21°C. Ce même projet a d'ailleurs permis d'identifier les zones de sol dans la butte qui répondent au mieux à cet impératif.

Cependant, la répartition des températures dans le sol n'est pas la seule contrainte à considérer. Pour être disponible au fraisier, l'azote doit aussi être à la portée des apports en eau du système d'irrigation et accessible aux racines des plants. À ce sujet, un projet réalisé en 2009 et 2010, à

l'Île d'Orléans, qui portait sur l'irrigation du fraisier à jours neutres a démontré qu'il peut exister une problématique de la répartition de l'eau dans le sol à l'intérieur de la butte, surtout en sol drainant (Boivin et Deschênes, 2011). En effet, avec un système d'irrigation goutte à goutte (GàG), le nombre de points de contact entre l'apport en eau (goutteurs) et le sol est minime comparativement à un système par aspersion (en l'absence de paillis de plastique). Pour que la butte soit bien humidifiée, il faudrait que l'eau se répartisse horizontalement dans la butte afin que le sol en périphérie du tube de GàG soit humidifié. Toutefois, les résultats de ce projet ont démontré que seule une zone restreinte de sol sous le goutteur est impactée par un apport en eau par l'irrigation. Conséquemment, certaines zones de sol s'assèchent au fur et à mesure que celles-ci sont colonisées par les racines. Ces zones de sol renferment des éléments nutritifs qui pourront difficilement être valorisés par la culture.

Puisque le transport du N vers les racines dépend du mouvement de l'eau et que son prélèvement, passif, est aussi assuré par l'absorption de l'eau par les racines, la nutrition azotée du fraisier devient donc impossible dans un sol sec, même en présence de fortes teneurs en nitrates disponibles. Le projet de Landry et Boivin (2012), cité plus haut, a d'ailleurs démontré que de fortes teneurs en nitrates résiduels se retrouvent dans les zones situées dans la partie supérieure de la butte, ainsi que dans les côtés (jusqu'à 200 mg N-NO₃/g de sol sec) au terme de la saison. Les zones de sol situées au centre de la butte, quant à elles, sont « vidées » de leur contenu en N-NO₃ (moins de 6 mg N-NO₃/g de sol sec). Toutefois, Boivin et Deschênes (2011) ont aussi rapporté que la problématique d'assèchement du sol peut être atténuée en augmentant le nombre de goutteurs en contact avec la surface de sol, en utilisant des tubes de GàG dont l'espace entre deux goutteurs est plus petit. Une autre façon d'augmenter le nombre de points d'apport en eau est l'ajout d'un second tube de GàG. Toujours lors de ces essais, l'arrangement spatial des racines était plus uniforme et les rendements étaient plus élevés durant certaines périodes avec un système à doubles tubes. De plus, ce projet a démontré qu'au terme de la saison, bien que l'ensemble du volume de sol de la butte ait été colonisé par les racines, ces dernières étaient principalement concentrées au centre, soit l'endroit qui est à la portée des apports en eau et en fertilisants par le système de GàG conventionnel à un tube. Enfin, en moyenne, 50 % du sol butté était hors de portée des apports en eau en présence d'un seul tube de GàG. Conséquemment, pour contrer ces problématiques, une gestion raisonnée de l'irrigation et des apports de fertilisants devraient être considérés.

1.2 Objectif général

Exploiter la synergie liant la disponibilité en eau, la température et la distribution racinaire dans la butte de sol afin de maximiser l'efficacité d'utilisation de l'azote des engrais par la fraise à jours neutres.

1.3 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques du projet visent notamment à comparer différentes stratégies de fertilisation en termes:

- Du rendement en fruits produits par le fraisier;
- De l'azote prélevé par la culture durant la saison;
- Du reliquat d'azote dans la butte de sol en fin de saison;
- De l'impact sur le bénéfice net de l'entreprise.

De plus, l'issue du projet permettra d'évaluer l'impact d'une meilleure distribution de l'eau dans la butte par l'utilisation de deux tubes de goutte-à-goutte en termes d'efficacité d'utilisation du N des engrais. À terme, la ou les stratégies qui concilient au mieux les gains économiques et environnementaux seront proposées.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Site expérimental, matériel végétal et régie de culture

Les essais terrains ont eu lieu chez une entreprise spécialisée dans la production commerciale de fraises à jours neutres. Cette entreprise est située à St-Laurent, l'Île d'Orléans (Canada, Québec) (46° 52' N, 71° 01' O). L'implantation de la fraisière (cv. Seascape) a été réalisée le 13 mai, en 2012 et le 11 mai en 2013 à une densité de plantation de 54 362 fraisiers/ha. Il est à noter que les essais ont été réalisés dans un champ distinct d'une saison à l'autre.

Les fraisiers étaient cultivés sur des buttes de sol dont la surface était recouverte de paillis de polyéthylène noir. L'apport en eau par l'irrigation et l'apport d'engrais par la fertigation était effectué via un système d'irrigation par goutte à goutte (GàG). Hormis l'implantation et la gestion phytosanitaire, la régie de culture était sous la responsabilité de l'équipe de recherche de l'IRDA. Les dates auxquelles ont été réalisées les principales opérations culturales sont présentées au Tableau 1.

Tableau 1. Dates des principales opérations culturales au cours des deux années du projet.

Opérations	2012	2013
Application des engrais au buttage	30 avril	4 mai
Plantation	13 mai	11 mai
1 ^{re} fertigation ¹	22 juin	18 juin
1 ^{re} récolte	5 juillet	5 juillet
Dernière fertigation ¹	27 septembre	16 septembre
Dernière récolte	9 octobre	8 octobre

¹ Applicable aux traitements où il y a des apports de fertilisants par la fertigation.

2.2 Collecte des données

2.2.1 Caractérisation initiale du site

En 2012 et 2013, une caractérisation physico-chimique du sol a d'abord été effectuée au printemps de chacune des années (Tableau 2). Pour ce faire, les sols ont été échantillonnés dans la strate de 0-20 cm. Ceux-ci ont ensuite été tamisés à 2 mm puis séchés à l'air à 21 °C. La granulométrie a été déterminée par la méthode de l'hydromètre en six points suivis d'un tamisage des sables (Gee et Bauder, 1986). Le pH_{eau} a été mesuré dans un rapport sol/eau 1:1 (CPVQ, 1988). Le C_{total} et le N_{total} ont été déterminés au LECO. Le contenu en MO totale a été calculé selon le contenu en C_{total} avec un facteur de 1,724. Le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et l'aluminium (Al) ont été extraits dans une solution Mehlich-3 (Tran et Simard, 1993) et dosés à l'ICP optique.

Tableau 2. Résultats de caractérisation physico-chimique initiale du sol selon la saison.

Saison	Texture	pH	Gravier	M.O.	N_{total}																
						N			P			K			Ca			Mg			Al
					(%)	mg/kg															
2012	Loam argileux	7,2	28,8	2,6	0,126	1260	482	537	5353	304	980										
2013	Loam sableux grossier	6,4	26,3	2,9	0,13	1298	242	203	1812	87	1197										

2.2.2 Conditions météorologiques

Une station météorologique a permis de mesurer la température et l'humidité relative (HC-S3, Campbell Scientific), la radiation solaire (LI-200SZ, LI-COR) ainsi que la vitesse et la direction du vent (*Wind monitor*, Young Model 05103-10). Ces données étaient enregistrées dans un acquiiseur de données (CR10X, Campbell Scientific) (mesures moyennes enregistrées aux 15 minutes provenant de mesures effectuées aux 15 secondes). L'équation de Penman-Montheith (ASCE, 2005) a été utilisée pour calculer les valeurs d'évapotranspiration potentielle (Etp). La pluviométrie a été mesurée avec un pluviomètre HOBO, modèle RG3-M.

2.2.3 Suivi du statut hydrique du sol

2.2.3.1 Suivi du statut hydrique par tensiométrie

La tension de l'eau dans le sol de chacune des parcelles expérimentales a été mesurée tout au long du projet avec des tensiomètres Hortau (modèle Tx80) afin de gérer les épisodes d'irrigation. Toutes ces données étaient enregistrées en temps réel dans un ordinateur à l'aide du logiciel Irrolis-Light (version 3) de Hortau.

2.2.3.2 Suivi de la distribution de l'eau dans la butte

L'intérieur de la butte de sol de 4 parcelles expérimentales du bloc 3 était muni de 16 sondes TDR CS605-L ou CS610-L de Campbell Scientific mesurant en temps réel et en continu (mesures ponctuelles aux 5 minutes entre 6 h et 18 h et aux heures entre 18 h et 6 h) la valeur de la teneur en eau volumique (cm^3 d'eau/ cm^3 de sol) (Figure 1). Les données produites étaient enregistrées dans un acquiiseur de données CR1000 de Campbell Scientific. Ces dernières étaient recueillies au moins une fois par semaine pour sauvegarde et interprétation. Ces données ont permis de déterminer les zones de sol de la butte qui étaient influencées par les irrigations.

2.2.4 Prélèvements en N par la culture

À quatre reprises en saison, soit tout juste avant le début de la fertigation, avant la modification de la recette de fertigation, à la fin août en pleine production et à la toute fin des récoltes, des plants entiers (3 par parcelle) ont été prélevés afin de mesurer leur contenu en N_{total} . Les plants étaient prélevés et conservés dans une glacière à 4 °C jusqu'à leur réception au laboratoire où ils étaient mis à sécher à 65 °C et broyées à 100 mesh. Le N_{total} était alors extrait selon la méthode Kjeldahl (Isaac et Johnson, 1976) et dosé par colorimétrie automatisée sur autoanalyseur Technicon. Avant leur broyage, leur masse sèche (MS) était aussi mesurée. Il était ainsi possible de calculer par la suite les prélèvements en N par les plants. Il est à noter que ces prélèvements sont valides pour chacune des dates, mais ne peuvent être additionnés puisque les plants demeurent les mêmes sur toute la saison et, donc, chaque dosage contient en bonne partie ce qui a déjà été dosé à la date précédente. À trois reprises en saison, des fruits ont aussi été récoltés, en plus de ceux servant à établir les rendements, dans le but d'estimer les exportations (EXP) de N_{total} par la récolte. Il est important de considérer que cette variable est une estimation puisqu'il était impossible de doser le N_{total} de tous les fruits de chacune des récoltes effectuées sur la saison. La production totale a donc été divisée en trois périodes pour lesquelles un prélèvement en N_{total} a été attribué. Pour ce faire, des fraises ont été échantillonnées à la mi-temps de chacune de ces périodes (Tableau 3). Elles ont ensuite été préparées et analysées pour le N_{tot} tel que décrit pour les plants. Les calculs des prélèvements et des exportations de N_{total} ont par la suite été réalisés comme suit :

Quantité de N_{total} retrouvé dans les plants à chacune des dates :

$$PVL N_{total} \text{ plant} = MS \text{ plant} * \text{concentration en } N_{total} \text{ plants}$$

Quantité totale estimée de N_{total} prélevé par les fruits et exporté pendant la saison :

$$EXP N_{total} \text{ période} = (MS * \text{concentration en } N_{total}) \text{ fraise vendable période} \\ + (MS * \text{concentration en } N_{total}) \text{ fraise non vendable période}$$

$$EXP N_{total} \text{ totale} = EXP N_{total} \text{ période 1} + EXP N_{total} \text{ période 2} + EXP N_{total} \text{ période 3}$$

Quantité totale estimée de N_{total} prélevé pour l'ensemble de la saison :

$$PVL N_{total} \text{ total} = PVL N_{total} \text{ plant } 3^{\text{e}} \text{ date} + EXP N_{total} \text{ totale}$$

Tableau 3. Périodes de récolte des fruits.

No.	Périodes		Récoltes (nombre)	Proportion saison (%)
	Début	Fin		
1	5 juillet	12 août	15	32
2	14 août	30 août	6	26
3	3 septembre	8 octobre	10	42

2.2.5 N résiduel du sol à la récolte et répartition du nitrate dans la butte

En automne, lors du démantèlement du dispositif suivant la dernière récolte, un échantillonnage de sol (0 – 11 po) a été effectué dans chacune des parcelles, directement sur la butte entre les plants au travers du paillis de plastique, afin de doser le nitrate résiduel. Les analyses de sol ont été réalisées sur des échantillons composites de 6 sous-échantillons. Dans tous les cas, les sols prélevés étaient placés dans une glacière et conservés à 4 °C jusqu'à leur analyse au laboratoire. Tous les sols ont été tamisés à 2 mm, puis séchés à l'air à 21 °C. Le N-NO₃ des échantillons de sol a été extrait au KCl 2 M (Isaac et Johnson, 1976) et déterminé par colorimétrie au Technicon AA-II. Une partie de ce même échantillon de sol a aussi été incubée en laboratoire afin de connaître la quantité résiduelle de N pouvant encore être libéré sous forme de N-NO₃. Le sol a été incubé 20 jours à température contrôlée dans un contenant fermé. Le N-NO₃ libéré a ensuite été extrait et dosé tel que décrit précédemment. De plus, une coupe transversale de butte permettant le prélèvement d'une « tranche de butte » a été effectuée dans les cinq traitements suivants : CV-100%-1 tube, CV-50%-1 tube, CB-50%-1 tube, CV-50%-2 tubes et LC-0% 2 tubes (la description de ces traitements est présentée au point 0). Chaque tranche de sol était subdivisée en 14 zones, les mêmes que pour le suivi avec les sondes TDR (Figure 1). Chaque zone était analysée individuellement pour son contenu en N-NO₃ tel que décrit précédemment. Au printemps, une tranche de sol par mode de fertilisation (libération contrôlée en bande (LC) et granulaire conventionnel à la volée (CV) et en bande (CB)) avait aussi été réalisée comme profil témoin.

2.2.6 Récolte des fruits

L'ensemble des récoltes effectuées durant la saison a permis de mesurer la production totale et vendable en fruits en termes de poids, de nombre et de poids moyen par fruit. Durant la période de production, les parcelles ont été recouvertes d'un filet (maille de 4,5 cm) afin d'empêcher la cueillette accidentelle des fruits par les employés de l'entreprise (Figure 16, annexe). Les récoltes étaient effectuées à deux ou trois reprises, hebdomadairement.

2.3 Traitements, dispositifs expérimentaux et analyses statistiques

Le type d'engrais, le mode d'application, le nombre de tubes de goutte à goutte et le niveau d'apport en fertilisants par la fertigation étaient à l'étude. Les deux types d'engrais incorporés au buttage étaient le conventionnel granulaire et le libération contrôlée par la chaleur (ACERnt 17-7-10 courte durée). Ces derniers étaient appliqués à la volée avant le buttage (Conventionnel à la volée : CV) ou en bande à la main lors du buttage (Conventionnel en bande : CB et Libération contrôlée en bande : LC). La combinaison « libération contrôlée et application à la volée » n'a pas été testée pas car elle est inefficace. En effet, cet engrais est plus dispendieux et il a tout intérêt à être appliqué dans une zone de la butte de sol où la température est suffisamment chaude pour la libération des fertilisants et à la portée des apports en eau par l'irrigation (Landry et Boivin, 2012). Le nombre de tubes de GàG était de 1 ou 2. Enfin, les doses d'engrais apportées par la fertigation représentaient une proportion de la dose généralement apportée dans la fraise à jours neutres (0, 50 et 100 %). Les 18 combinaisons possibles de traitements qui ont été comparés en 2012 sont présentées au Tableau 4. Parmi les 18 traitements comparés en 2012, 8 ont été répétés en 2013 et sont présentés au Tableau 5. La justification du choix de ces derniers est présentée à la section 3.

De façon plus détaillée, dans le cas des engrais d'implantation, des quantités les plus égales possible de N, P et K disponibles ont été apportées afin que le type d'engrais soit le facteur testé et non la disponibilité des éléments fertilisants. Les quantités visées ont été basées, selon l'analyse de sol du producteur, sur les recommandations d'apports d'engrais du champ utilisé. Ainsi, la totalité du phosphore (P) a été apportée à l'implantation au taux de 21 kg P₂O₅/ha. Pour le N et le potassium (K), des doses d'implantation identiques pour tous les types d'engrais, de 50 kg N/ha et 31 kg K₂O/ha ont été appliquées. Par la suite, des doses complémentaires de N et K₂O étaient apportées par fertigation. Ces doses équivalaient à 0 % (eau seulement), 50 % et 100 % de la dose généralement utilisée. En cours de saison, elles étaient ajustées à une reprise afin de hausser le N et diminuer le K. Quoiqu'il en soit, la dose à 50 % représentait toujours la moitié de la dose à 100 %. La dose de 100 % équivalait au total à 83 kg N/ha. Dans le cas du K₂O, celle-ci était de 63 kg/ha. Au total sur la saison, les plants ont donc reçu 133 kg N ha⁻¹ et 94 kg K₂O/ha.

Tableau 4. Traitements comparés en 2012.

No.	Type d'engrais	Méthode d'application au buttage	GàG (Nombre de tubes)	Dose de fertigation (%)
1	Conventionnel granulaire (C)	Volée (V)	1	0
2	C	Bande (B)	1	0
3	C	V	2	0
4	C	B	2	0
5	Libération contrôlée (LC)	B	1	0
6	LC	B	2	0
7	C	V	1	50
8	C	B	1	50
9	C	V	2	50
10	C	B	2	50
11	LC	B	1	50
12	LC	B	2	50
13 ²	C	V	1	100
14	C	B	1	100
15	C	V	2	100
16	C	B	2	100
17	LC	B	1	100
18	LC	B	2	100

Tableau 2. Traitements comparés en 2013.

No.	Type d'engrais	Méthode d'application au buttage	GàG (Nombre de tubes)	Dose de fertigation (%)	Traitement (Nom)
1	LC	B	1	0	LC-0%-1 tube
2	C	V	2	0	CV-0%-2 tubes
3	LC	B	2	0	LC-0%-2 tubes
4	C	V	1	50	CV-50%-1 tube
5	C	B	1	50	CB-50%-1 tube
6	C	V	2	50	CV-50%-2 tubes
7 ²	C	V	1	100	CV-100%-1 tube
8	C	B	2	100	CB-100%-2 tubes

² Traitement représentatif d'une régie conventionnelle.

2.5 Dispositif expérimental et analyses statistiques

En 2012, trois facteurs étaient à l'étude dans ce projet. En parcelles principales, il y avait le type d'engrais combiné au mode d'application au buttage (Conventionnel + Volée, Conventionnel + Bande et Libération contrôlée + Bande). En sous-parcelles, il y avait le nombre de tubes de GàG (1 ou 2). Enfin, en sous-sous-parcelles, il y avait le niveau d'engrais apporté par la fertigation (0, 50 ou 100 %). Le dispositif expérimental était un split-split-plot et était composé de trois blocs. Chacune des 18 combinaisons de traitements a ainsi été répétée 3 fois pour un total de 54 unités expérimentales ou parcelles. Une parcelle était composée de 18 fraisiers.

En 2013, les huit combinaisons de traitements retenues ont été randomisées à l'intérieur d'un plan en blocs complets aléatoires. Composé de 8 traitements et 3 blocs, pour un total de 24 unités expérimentales ou parcelles. Chacune des parcelles était composée de 18 fraisiers.

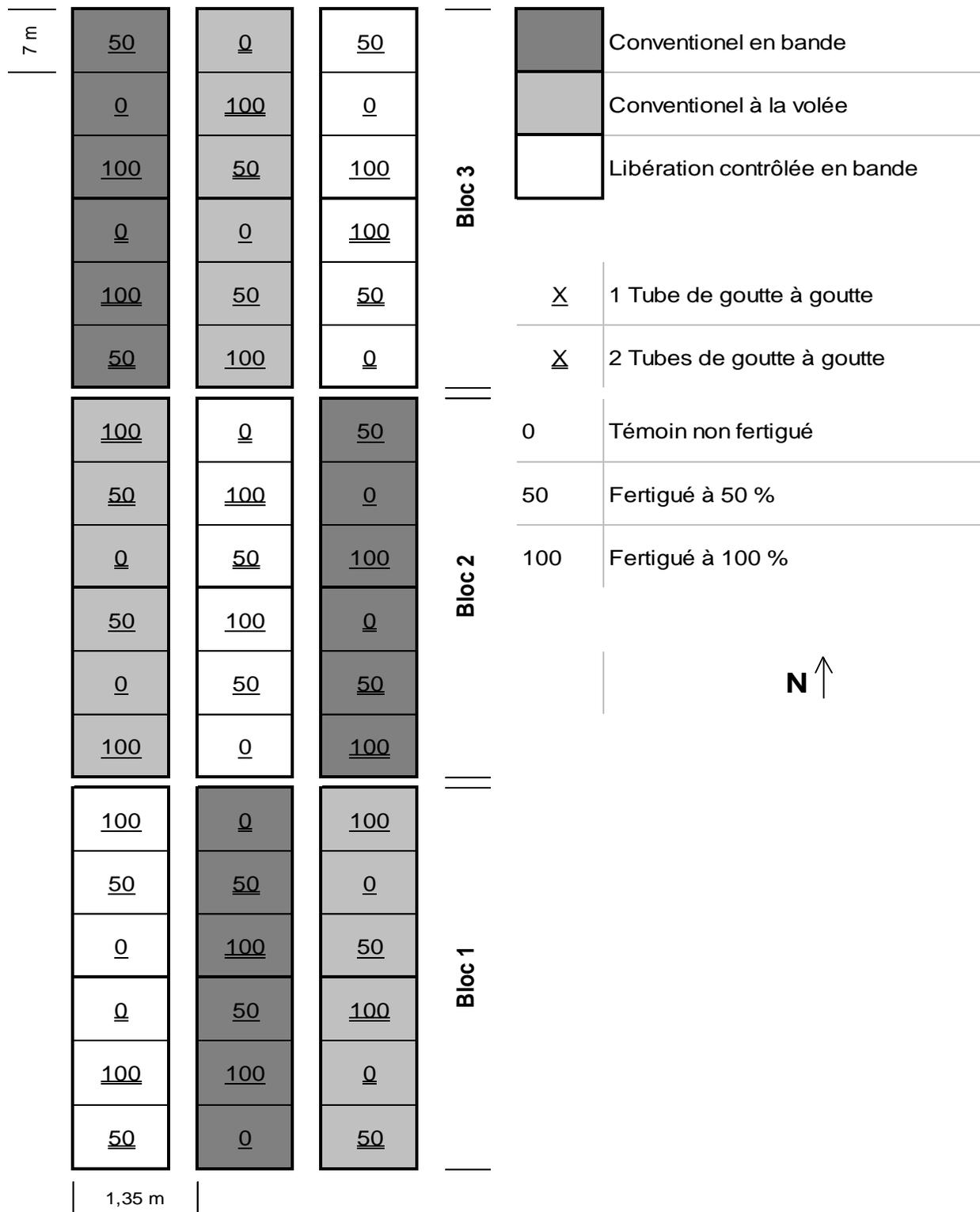


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental pour la saison 2012.

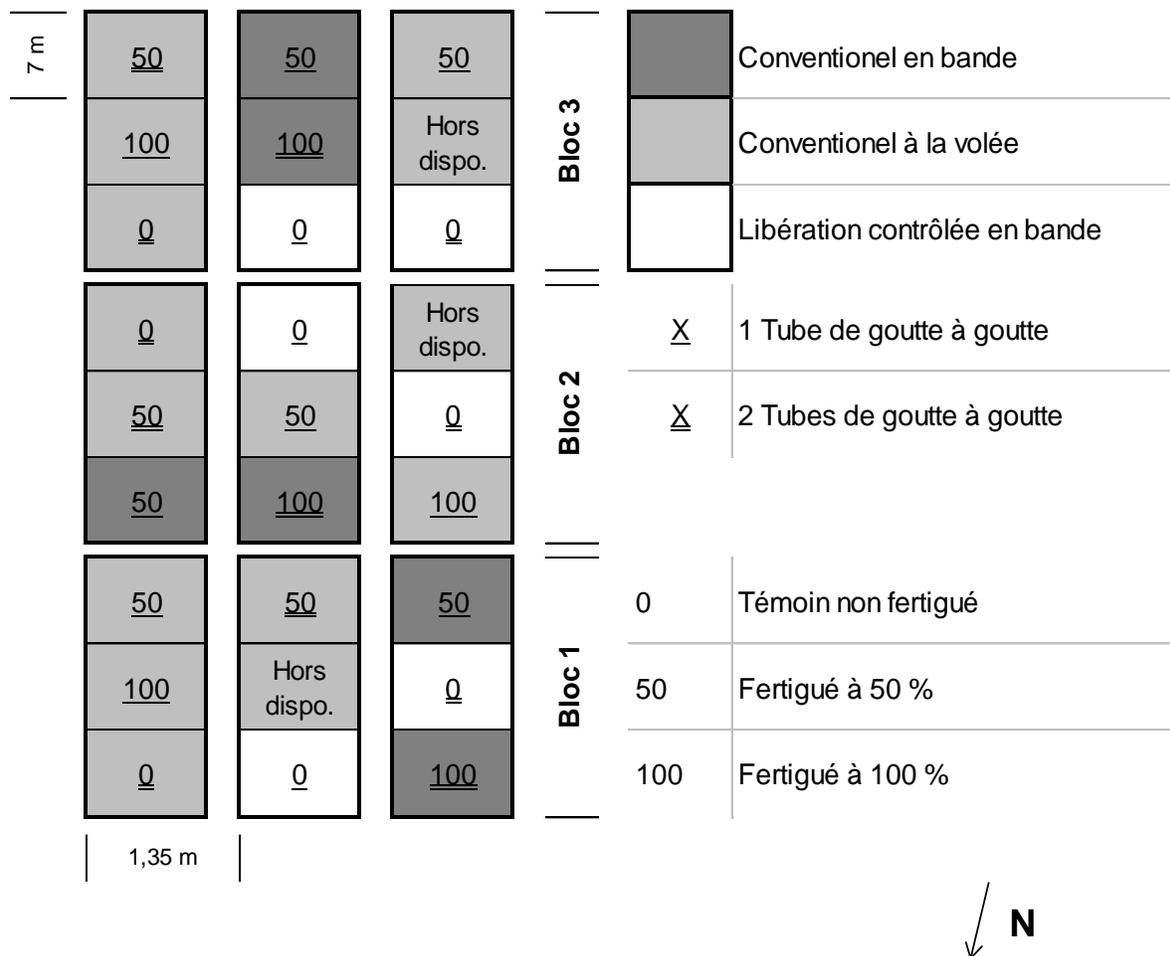


Figure 3. Schéma du dispositif expérimental pour la saison 2013.

3 RÉSULTATS ET ANALYSE

3.1 Conditions météorologiques

La pluviométrie et la température minimale, maximale et moyenne ont été mesurées quotidiennement en 2012 et 2013 et les valeurs sont présentées graphiquement aux Figure 3 et Figure 4. De plus, les valeurs quotidiennes d'évapotranspiration potentielle (ETp), calculées avec les données issues de la station météorologique sont également présentées graphiquement aux Figure 5 et Figure 6. La valeur d'ETp est une indication de la hauteur d'eau dans le sol qui est perdue via l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration de l'eau via la plante. Le volume d'eau perdu est fonction de l'intensité des conditions météorologiques. À partir du moment où la demande en ETp excède ce que la plante peut facilement utiliser, cette dernière peut se retrouver en situation de stress hydrique et thermique.

Lorsque les valeurs d'ETp quotidiennes des deux saisons sont comparées, il appert que le nombre de journées où le risque que la plante ait pu subir un stress hydrique est supérieur en 2012. Effectivement, du 1^{er} juin au 1^{er} octobre, le nombre de jours où la demande en ETp était située entre 2 et 4 mm et surtout, entre 4 et 6 mm est plus grand en 2012. Conséquemment, le développement du plant a possiblement été plus à risque d'être perturbé en 2012 qu'en 2013. Enfin, le nombre et la répartition des épisodes de pluie étaient davantage favorables au maintien du statut hydrique du sol en 2013.

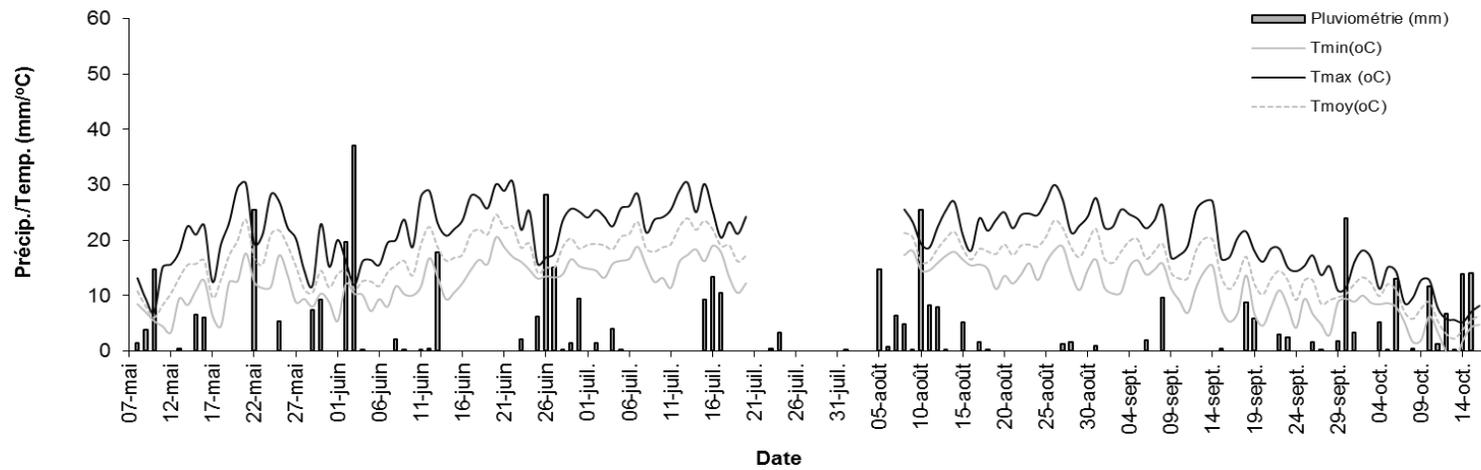


Figure 3. Pluviométrie (mm) et température minimale, maximale et moyenne (°C) mesurées quotidiennement en 2012.

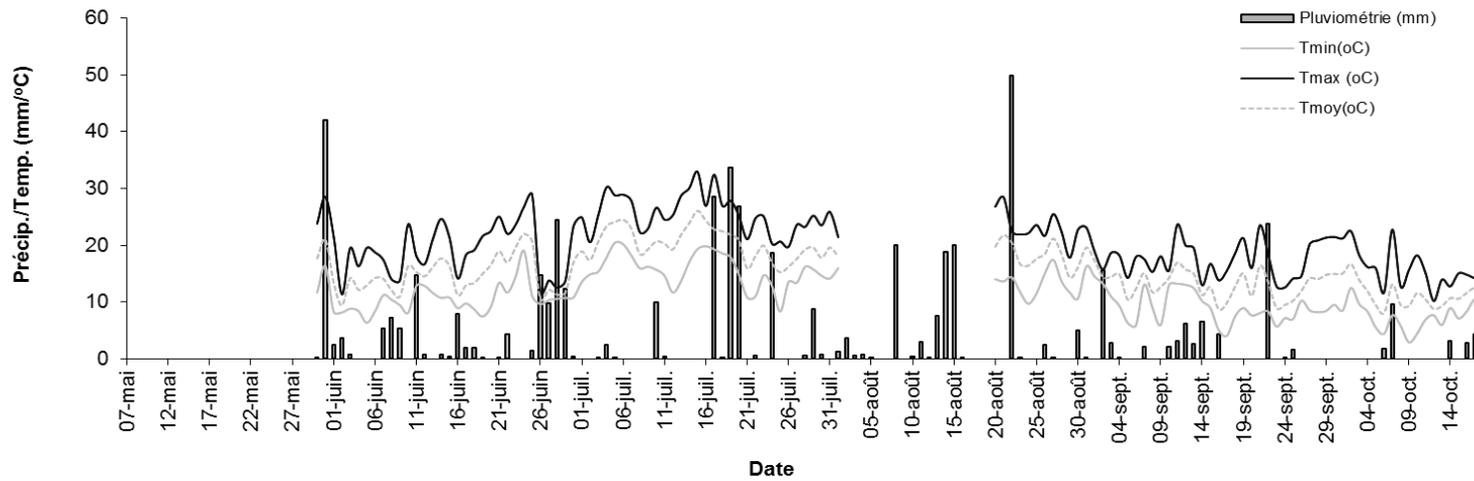


Figure 4. Pluviométrie (mm) et température minimale, maximale et moyenne (°C) mesurées quotidiennement en 2013.

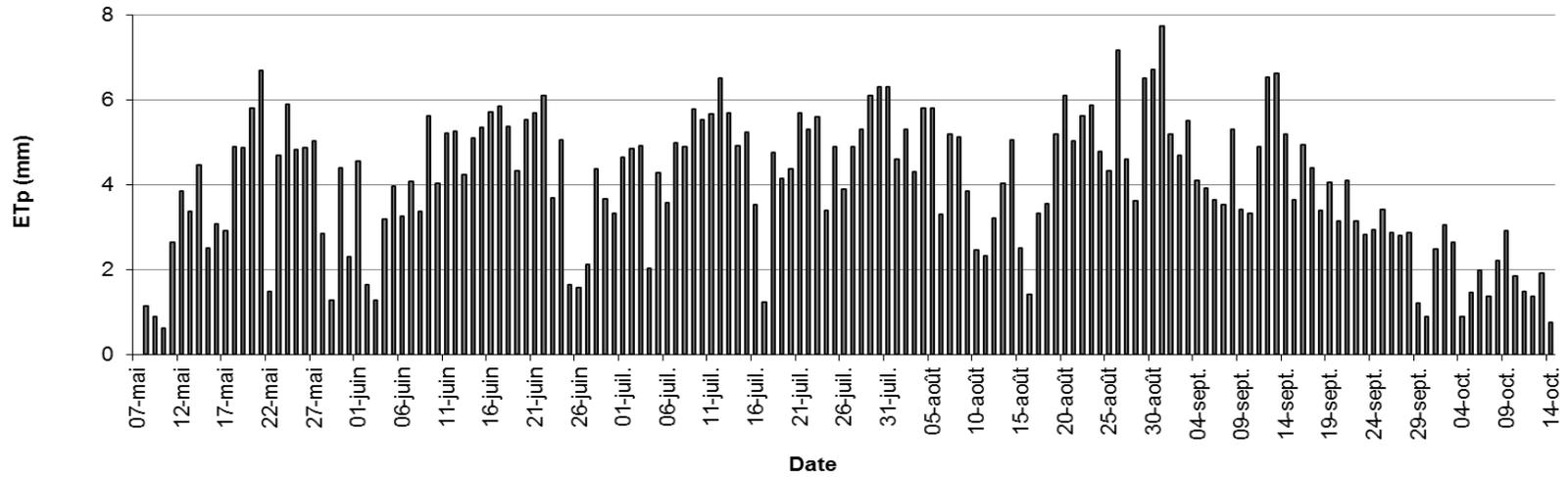


Figure 5. Évapotranspiration potentielle (ETp) calculée quotidiennement (mm) en 2012.

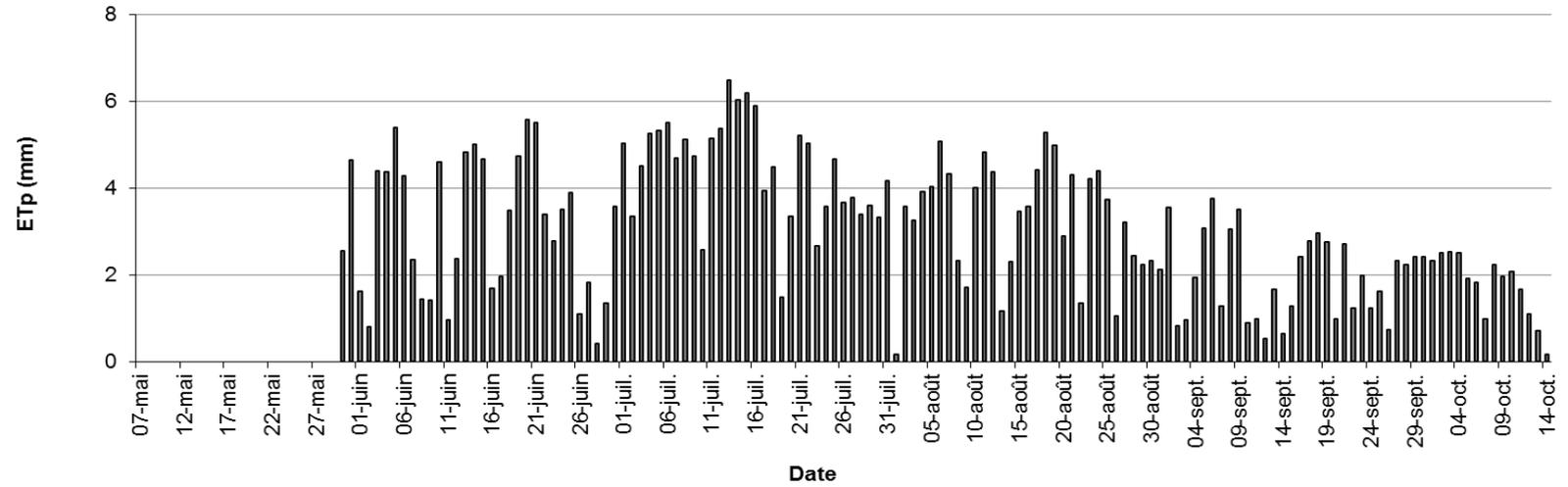


Figure 6. Évapotranspiration potentielle (ETp) calculée quotidiennement (mm) en 2013.

3.2 Rendements en fruits saison 2012

Le rendement total relatif des 18 traitements comparés en 2012 est présenté à la Figure 7. Parmi ceux-ci, huit ont été retenus et répétés en 2013. Les barres qui correspondent aux rendements des traitements retenus sont identifiées avec une couleur différente du gris et l'intérieur de la barre est texturé. De plus, la barre correspondant à la régie témoin est encadrée par un trait noir. La justification du choix des huit traitements qui ont été répétés en 2013 est résumée au Tableau 5. Il est à noter que l'ordre de présentation des justifications adopte une approche « gauche à droite » et reprend les mêmes couleurs que celles utilisées à la Figure 7, afin de faciliter la compréhension.

Globalement, l'ajout de fertilisants par la fertigation a permis de réaliser des gains en rendements avec la plupart des combinaisons de traitements en 2012, lorsque comparé à leur vis-à-vis non fertigués (doses 50 et 100 % versus 0). Toutefois, peu de différences ont été observées entre les doses 50 et 100 %. Cette tendance pourrait indiquer que la dose de fertilisants apportée avec la fertigation pourrait être coupée de moitié sans devoir modifier le système cultural. Toutefois, d'autres alternatives sont prometteuses. C'est le cas des stratégies auxquelles il y a eu l'ajout d'un deuxième tube de GàG dans le groupe des « Conv Volée », qui semble être profitable par rapport à leurs vis-à-vis qui n'ont qu'un seul tube. En ce qui a trait au groupe des « Conv Bande » les rendements observés ont été comparables aux autres groupes. Enfin, le groupe des « LC Bande » a très bien performé et les rendements des deux combinaisons non fertiguées sont similaires avec le rendement obtenu avec le témoin.

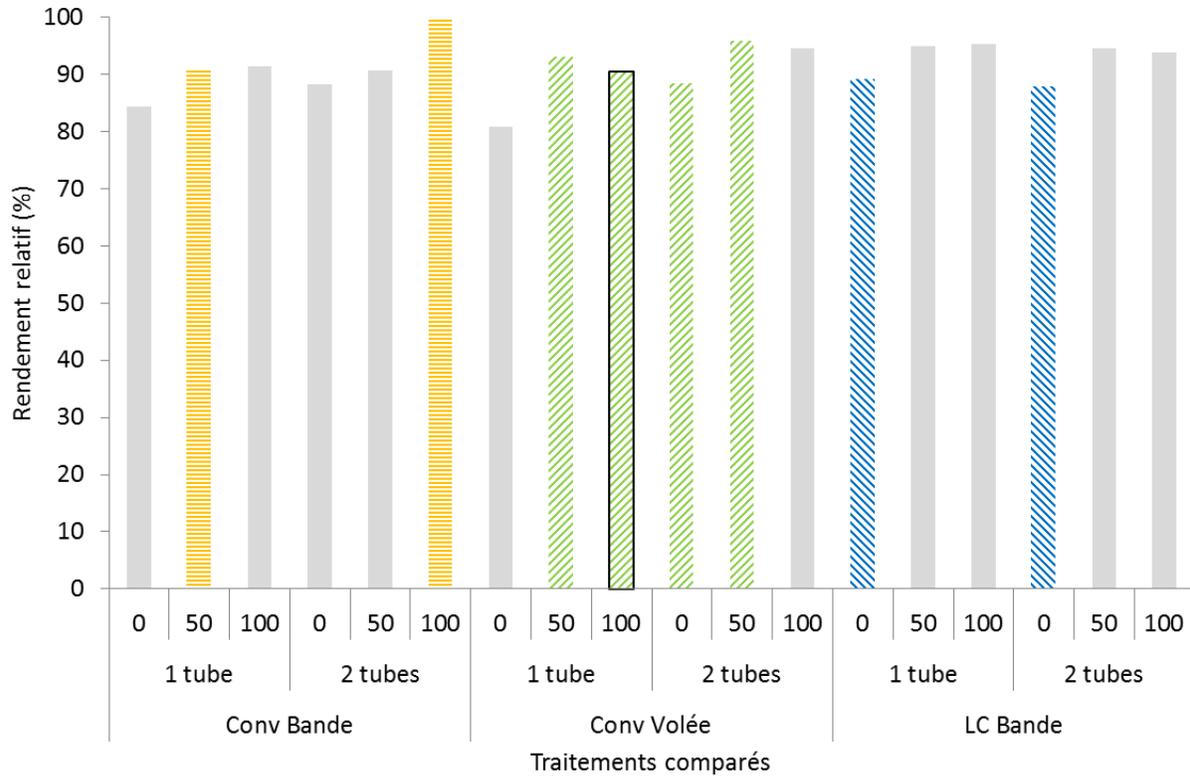


Figure 7. Rendement total relatif en fruits selon la combinaison de traitements en 2012.

Tableau 5. Justification du choix des huit traitements qui ont été répétés en 2013.

<p>CB-50%-1 tube (T8)³ : Ce traitement a été retenu, car il s’agit de celui qui a le plus grand potentiel du groupe « engrais conventionnel appliqué en bande » et qui requiert le moins d’intrants (fertilisants et tube de GàG).</p>
<p>CB-100%-2 tubes (T16) : Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec ce traitement.</p>
<p>CV-50%-1 tube (T7) : Ce traitement a bien performé et il pourrait être une alternative intéressante, car il ne diffère du traitement Témoin (CV-100N-1 tube) que par la dose de fertigation qui est coupée de moitié (100 % vs 50 %).</p>
<p>CV-100%-1 tube (T13) : Ce traitement sert de témoin comparable à une régie comparable à celle utilisée par les producteurs.</p>
<p>CV-0%-2 tubes (T3) : Ce traitement n’a reçu aucun apport de fertilisants par la fertigation. Il devient également un témoin intéressant pour évaluer l’impact d’une meilleure distribution de l’eau dans le sol sur l’efficacité de prélèvement des éléments nutritifs déjà présents dans la butte.</p>
<p>CV-50%-2 tubes (T9) : Ce traitement a été parmi les plus performants. De plus, comparé à son vis-à-vis à 1 tube (CV-50N-1 tube), il sera possible d’évaluer l’impact d’une meilleure distribution de l’eau et des fertilisants dans la butte de sol.</p>
<p>LC-0%-1 tube (T5) : Ce traitement sans apport de fertilisants par la fertigation a bien performé et présente un potentiel intéressant.</p> <p>L’intérêt d’utiliser de l’engrais à libération contrôlée réside surtout dans le potentiel d’éliminer les apports de fertilisant par la fertigation. En 2012, les combinaisons avec apport en fertigation ont très bien performé, mais des niveaux comparables de rendements ont été obtenus avec l’engrais conventionnel. Autrement dit, recommander de l’engrais à libération contrôlée avec deux tubes de GàG et fertigué avec une dose 100 % est contraire aux objectifs de ce projet, dans un contexte où d’autres alternatives moins « gourmandes » en intrants performant également.</p>
<p>LC-0%-2 tubes (T6) : Ce traitement est utilisé comme témoin à son vis-à-vis avec 1 tube de GàG (LC-0N-1 tube) pour évaluer l’impact d’une meilleure distribution de l’eau dans le sol.</p>

³Numéro de traitements présentés au Tableau 4.

3.3 Rendements en fruits saison 2013

3.3.1 Poids total et vendable en fruits

Le rendement total et vendable en fruits de toute la saison, pour chacun des huit traitements comparés en 2013, est présenté au Tableau 6. L'analyse statistique révèle une différence significative entre les traitements, tant pour le Total ($P = 0,0092$) que pour le Vendable ($P = 0,0047$). Les résultats sont présentés sous forme relative. Ainsi, le rendement mesuré pour un traitement en particulier correspond à une proportion du rendement obtenu pour le traitement ayant produit le poids en fruits le plus élevé. Par exemple, pour le rendement total, une valeur de 100 % est attribuée au traitement CV-50%-2 tubes, car la plus haute valeur a été obtenue avec ce dernier. La valeur attribuée au traitement LC-0%-1 tube est de 82 %, car le rendement de ce dernier correspond à 82 % de celui obtenu avec le CV-50%-2 tubes.

Tableau 6. Rendement relatif total et vendable en fruits selon la stratégie en 2013.

Stratégies	Rendement relatif (%)	
	Total	Vendable
LC-0%-1 tube	82 b	81 b
CB-100%-2 tubes	88 ab	88 b
LC-0%-2 tubes	93 ab	93 a
CV-50%-1 tube	95 a	95 a
CV-0%-2 tubes	96 a	95 a
CB-50%-1 tube	97 a	97 a
CV-100%-1 tube	99 a	98 a
CV-50%-2 tubes	100 a	100 a

Maintenant, en ce qui a trait à l'analyse statistique du rendement total (total des fruits vendables et non vendables produits en 2013), statistiquement parlant, seul le traitement avec l'engrais à libération contrôlée sans apports de fertilisants par la fertigation et avec un seul tube de GàG (LC-0%-1 tube) est significativement différent de tous les autres traitements ($P = 0,1$). Toutefois, le rendement de ce dernier est comparable à celui du CB-100%-2 tubes et LC-0%-2 tubes ($P = 0,1499$ et $0,1966$). Pour le rendement vendable, les conclusions sont similaires à celles du rendement total, à la différence près que le CB-100%-2 tubes s'ajoute au LC-0%-1 tube en ce qui a trait aux stratégies significativement différentes des autres ($P = 0,1$) et le LC-0%-2 tubes devient significativement différent de ces deux stratégies ($P = 0,1090$).

Par ailleurs, un taux de déclassement d'environ 8 % a été observé pour l'ensemble des stratégies sans écart significatif entre elles. Conséquemment, une différence de poids en fruits entre les traitements ne peut s'expliquer que par un nombre de fruits différents et un poids moyen des fruits différent. Ces résultats sont discutés au point suivant (3.3.2).

3.3.2 Nombre de fruits produits et poids moyen de ces derniers

Le nombre total de fruits et le poids moyen de ces derniers sont présentés sous forme relative et selon le traitement au Tableau 7. L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative entre les traitements ($P = 0,1300$ et $P = 0,1383$) pour le nombre et le poids moyen, respectivement. Toutefois, à ces valeurs de P , les résultats seront discutés comme des tendances.

En ce qui a trait au nombre de fruits, les deux traitements qui ont tendance à en avoir un nombre inférieur aux autres traitements, sont les mêmes qui tendent à avoir un poids total en fruits le plus faible (Tableau 6), soit le LC-0%-1 tube et le CB-100%-2 tubes. Le nombre de fruits produits par les fraisiers, donc le nombre de fruits qui devra être récolté, à un impact économique pour l'entreprise. Cette dernière souhaite avoir, à rendements égaux, le moins de fruits possible à récolter donc, avec un poids moyen le plus élevé possible. À ce titre, le traitement qui tend avoir produit des fruits au poids moyen le plus faible est le LC-0%-1 tube.

Tableau 7. Nombre relatif total de fruits selon la stratégie en 2013.

Stratégies	Nombre relatif de fruits (%)	Poids moyen relatif des fruits (%)
LC-0%-1 tube	85	94
CB-100%-2 tubes	88	98
LC-0%-2 tubes	92	99
CV-50%-1 tube	93	100
CV-0%-2 tubes	95	99
CB-50%-1 tube	97	97
CV-100%-1 tube	100	97
CV-50%-2 tubes	97	100

3.4 Azote

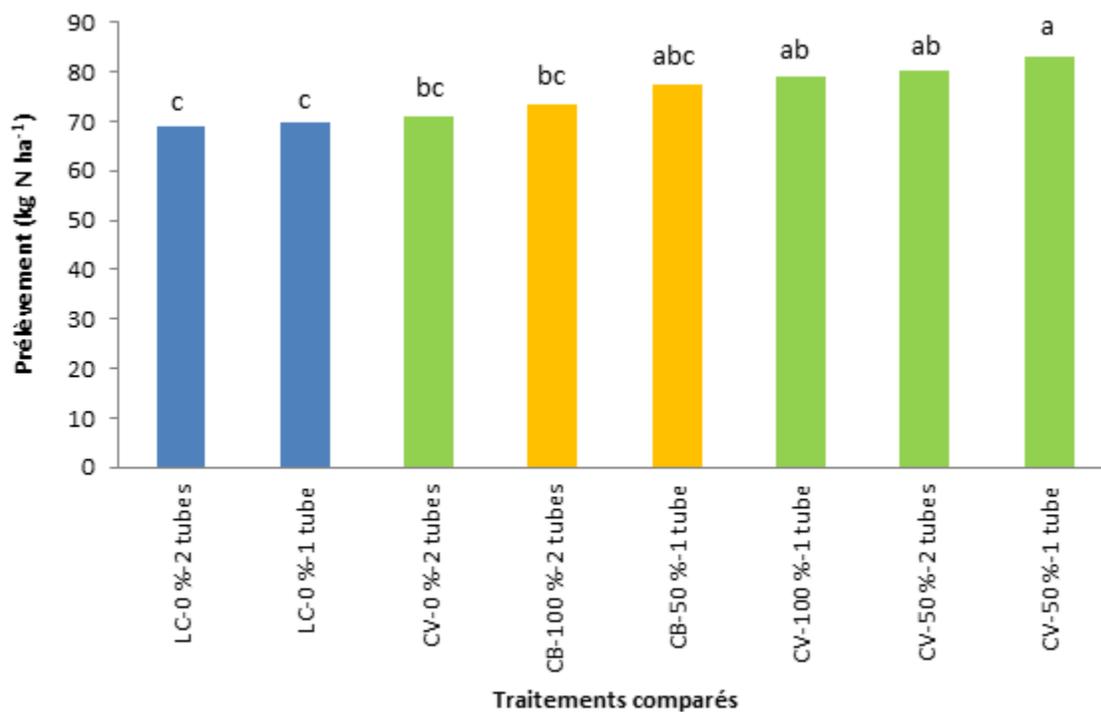
3.4.1 Prélèvement de l'azote par la culture

La Figure 8 présente les prélèvements totaux en N des fraisiers (plants et fruits) mesurés en 2013. Pour la partie « plants », le prélèvement en N du dernier échantillonnage de la saison (8 octobre 2013) a été retenu, car il présentait les valeurs maximales. Celui-ci a été additionné aux prélèvements en N des fruits des trois périodes de récolte de fraises pour donner les prélèvements totaux en N des fraisiers. Ces données, exprimées par une unité de surface (ha), révèlent tout d'abord que globalement, la quantité totale de N prélevé se situe bien en dessous de la quantité usuelle apportée de 133 kg N/ha, avec un prélèvement maximal, tout traitements confondus, de 83 kg N/ha et une quantité minimale de 69 kg N/ha. Ainsi, tel que rapporté au Tableau 8, dans le cas des traitements fertilisés avec 100 % de la dose usuelle, le différentiel entre la dose de N apporté par les engrais et le prélèvement total en N par les fraisiers atteints en moyenne 57 kg N/ha. Autrement dit, en moyenne, 43 % de la quantité totale de N apporté par les engrais ne se reflètent pas dans les prélèvements. Ceci explique probablement pourquoi les traitements à 50 % ont tous permis d'obtenir des rendements intéressants, incluant le rendement relatif total et vendable le plus élevé. Les 3 stratégies à 50 % (CV-50%-2 tubes, CB-50%-1 tube et CV-50%-1 tube), apportant 92 kg N/ha (50 kg plantation + 42 kg fertigation) équivalent effectivement dans les faits à une quantité très proche de la plus grande quantité prélevée, soit 83 kg N/ha.

Il pourrait ainsi être hasardeux de descendre à la dose 0 % sur une base courante puisque celle-ci apporte uniquement 50 kg N/ha à la plantation, ce qui est nettement inférieur à la plus grande quantité effectivement prélevée. D'autant plus que la proportion des prélèvements en N qui a été comblée par le sol s'appuie probablement en partie sur la réserve en N de celui-ci, réserve qui viendrait à s'épuiser si les prélèvements de N dépassaient aussi largement les apports de N de façon répétée annuellement. Toutefois, dans la situation de sol testé, qui semble en mesure de fournir une bonne quantité de N, si l'on compare le rendement des trois stratégies à 0 % avec celui ayant produit le plus haut rendement, on constate que les deux stratégies à 0 % qui avaient 2 tubes de GàG (CV-0%-2 tube et LC-0%-2 tubes) ont produit des rendements vendables non significativement différents du meilleur rendement (CV-50%-2 tubes), ce qui n'est pas le cas de celui qui n'avait qu'un GàG (LC-0%-1 tube). Le traitement ayant produit le meilleur rendement, avec seulement 50 % de la dose (CV-50%-2 tubes), avait d'ailleurs également 2 tubes de GàG. Ainsi, dans le cas des deux stratégies à 0 % qui avaient 2 tubes de GàG, les prélèvements par la culture ont dépassé en moyenne de 20 kg N/ha les apports totaux de N par la fertilisation. Cette partie ne pouvant venir que du sol, ceci suggère que celui-ci a contribué pour au moins 30 % du prélèvement en N de la culture. Ainsi, en présence d'une plus grande disponibilité de l'eau et d'un sol avec une texture similaire, la culture pourrait tirer davantage profit de la fertilité du sol, probablement parce qu'elle peut exploiter du N disponible provenant de zones dans la butte qui habituellement sont trop sèches pour pouvoir contribuer à la fourniture en N du sol.

En regard des exportations, il appert que ceux-ci oscillent entre 36 et 44 kg N/ha. La quantité maximale de N exportée du site de production et non disponible pour la prochaine culture est donc très proche de la dose de fertilisation à la plantation (50 kg N/ha). C'est donc entre 44 et 49 % de la dose de N prélevé (30 à 39 kg N/ha) qui retournent au sol et demeurent au site de production. Une fertilisation visant à remplacer uniquement la partie exportée du N tournerait donc autour de 50 kg N/ha. Cependant, comme le N qui retourne au sol par la sénescence des plants n'est pas directement disponible et demandera une étape de minéralisation, une partie de ce N doit aussi être comblée par fertilisation, d'autant plus grande que le potentiel de minéralisation du sol est bas. Par ailleurs, si les valeurs d'exportation de N sont très liées aux rendements (à 85 %), ce n'est pas le cas des prélèvements des plants (à 21 %). Ainsi, il est intéressant de constater que le traitement CV-50%-2 tubes ayant produit le rendement relatif n'est pas celui dont les plants ont prélevé le plus de N. De même, le traitement LC-0%-1 tube ayant produit les plus bas rendements n'est pas non plus celui ayant présenté les plus grands prélèvements de N par les plants. Sa contre-performance ne semble donc pas liée à une surconsommation du N par les parties végétatives au détriment de la production de fruits.

Enfin, selon la Figure 8, les deux stratégies LC testés (bleu) sont tous deux ceux présentant les deux plus bas prélèvements totaux de N, tandis que trois des quatre traitements CV (vert) sont ceux présentant les plus hauts, les traitements CB (jaune) présentant des valeurs intermédiaires. En moyenne, les plants fertilisés au LC ont donc, en moyenne, prélevé 11,4 kg N/ha de moins que les plants des trois traitements CV. Cependant, tel que discuté précédemment, il n'y a pas de lien avec les rendements produits. De plus, tel que discuté ci-bas, le différentiel de prélèvement de N ne se reflète pas significativement au niveau des quantités résiduelles de nitrate.



Les valeurs ne portant pas la même lettre sont statistiquement différentes au seuil de $P = 0,1$.

Figure 8. Prélèvement moyen en N_{tot} des fraisiers selon la combinaison de traitements en 2013.

Tableau 8. Prélèvement, exportations et différentiels de quantités de N prélevé au total par la culture par rapport à la dose de N apporté par fertilisation selon les traitements, en 2013.

Stratégies ¹	Quantité de N prélevé par les plants	Quantité de N exportée par la récolte	Quantité totale de N prélevé	Différentiel ² : Dose N apporté - Pvl total N
	(kg/ha)			
LC-0%-1 tube	34	36	70 c	- 20
CB-100%-2 tubes	35	39	74 bc	+ 60
LC-0%-2 tubes	30	39	69 c	- 19
CV-50%-1 tube	39	44	83 a	+ 7
CV-0%-2 tubes	31	40	71 bc	- 21
CB-50%-1 tube	37	41	77 abc	+ 13
CV-100%-1 tube	35	44	79 ab	+ 54
CV-50%-2 tubes	36	44	80 ab	+ 10

¹ Les stratégies sont en ordre de rendements relatifs, du plus bas au plus haut.

² Différence entre le N apporté par les engrais au total et le prélèvement total en N par les fraisiers (plants + fruits). Les doses de N apportées par les engrais sont de 50, 92 et 133 kg N/ha pour les doses 0, 50 et 100%, respectivement.

3.4.2 Reliquat d'azote dans le sol en fin de saison

Le contenu en nitrate résiduel de la strate 0-28 cm (0-11 po) de sol à la récolte ne montre pas de différence significative en fonction des stratégies (Figure 9). Cela est dû en partie à la grande variabilité des données, avec des erreurs-types valant entre 1 et 62 % de la moyenne. Tous traitements confondus, la quantité résiduelle moyenne de N-NO₃ dans la butte est donc de 3,5 mg N-NO₃/kg sol b.s. ou de 8,7 kg N-NO₃/ha b.h. au taux moyen d'humidité de 14,5 % pour une densité de 1,029 sur 28 cm. C'est donc peu en regard de la dose de N apporté par fertilisation, variant entre 50 et 133 kg N/ha, surtout considérant que les quantités prélevées étaient bien en-deça des quantités apportées. Les incubations de sol, visant à vérifier le potentiel de libération de N-NO₃ du sol de la butte, n'ont pas non plus présenté de différence significative en fonction des stratégies. Malgré des erreurs-types beaucoup plus faibles et constantes de 12 % en moyenne, sauf pour le traitement LC-0%-1 tube qui présente une erreur-type de 35 %. Ainsi, bien qu'une libération plus importante de nitrate était attendue dans les traitements LC, cela n'a pas été le cas significativement malgré le fait que dans les deux types d'analyses, le LC-0%-1 tube semblait présenter le plus haut contenu en nitrate résiduel et potentiellement libérable (Figure 10).

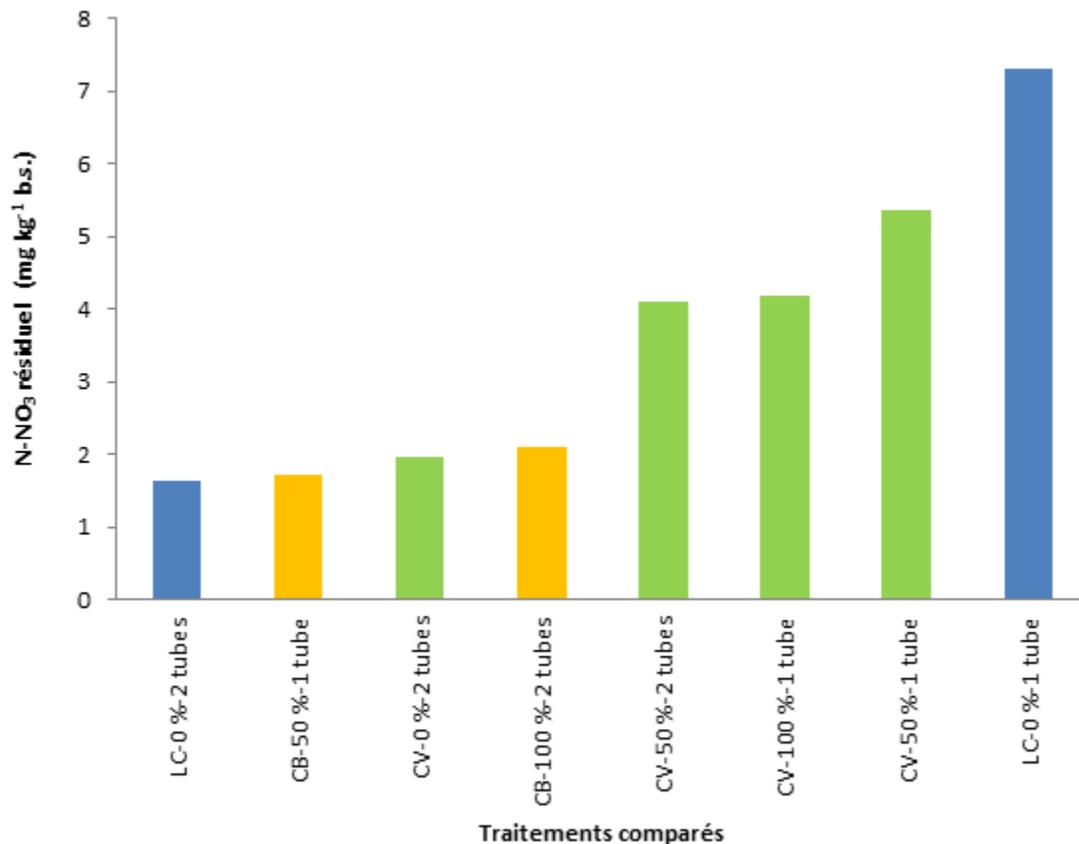


Figure 9. Contenu post-récolte en nitrate résiduel de la strate de sol 0-11 po dans la butte selon la combinaison de traitements en 2013 (n.s. à $P = 0,25$).

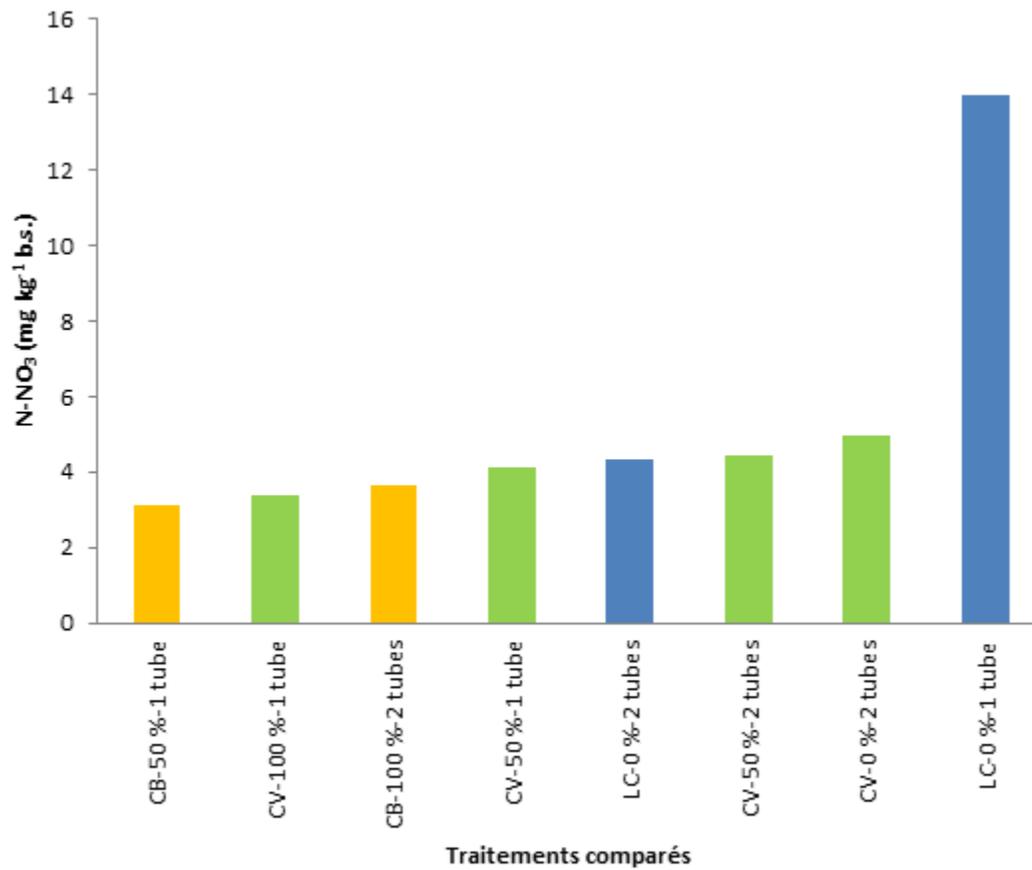


Figure 10. Contenu post-récolte en nitrate de la strate de sol 0-28 cm dans la butte après une incubation de 20 jours selon la combinaison de traitements en 2013 (n.s. à $P = 0,32$).

L'analyse visuelle des zones de buttes ne permet pas non plus de faire ressortir une plus grande concentration de nitrate résiduel en fonction des types ou du placement de l'engrais (Figure 11). Par contre, on y distingue nettement les zones les moins bien exploitées de la butte qui sont les cubes de chacun des côtés et plus spécialement ceux des coins supérieurs. Toutefois, dans le cas des buttes équipées de deux lignes de GàG, le sol semble avoir été mieux exploité, surtout dans les cubes des coins supérieurs. Dans le cas du traitement LC-0%-2 tubes, cette différence peut aussi être attribuée au fait que l'engrais a été appliqué en bande, et donc ne devrait pas se retrouver dans les coins. Par contre, dans le cas du traitement CV-50%-2 tubes, l'engrais se retrouvait partout dans la butte puisque celui-ci a été appliqué à la volée avant buttage. La différence pourrait peut-être aussi par le fait que l'apport d'eau supplémentaire ait entraîné davantage de lessivage du nitrate. Cependant, si tel est le cas, cela n'a pas nui au rendement puisque le traitement CV-50%-2 tubes est aussi celui ayant démontré la plus grande productivité.

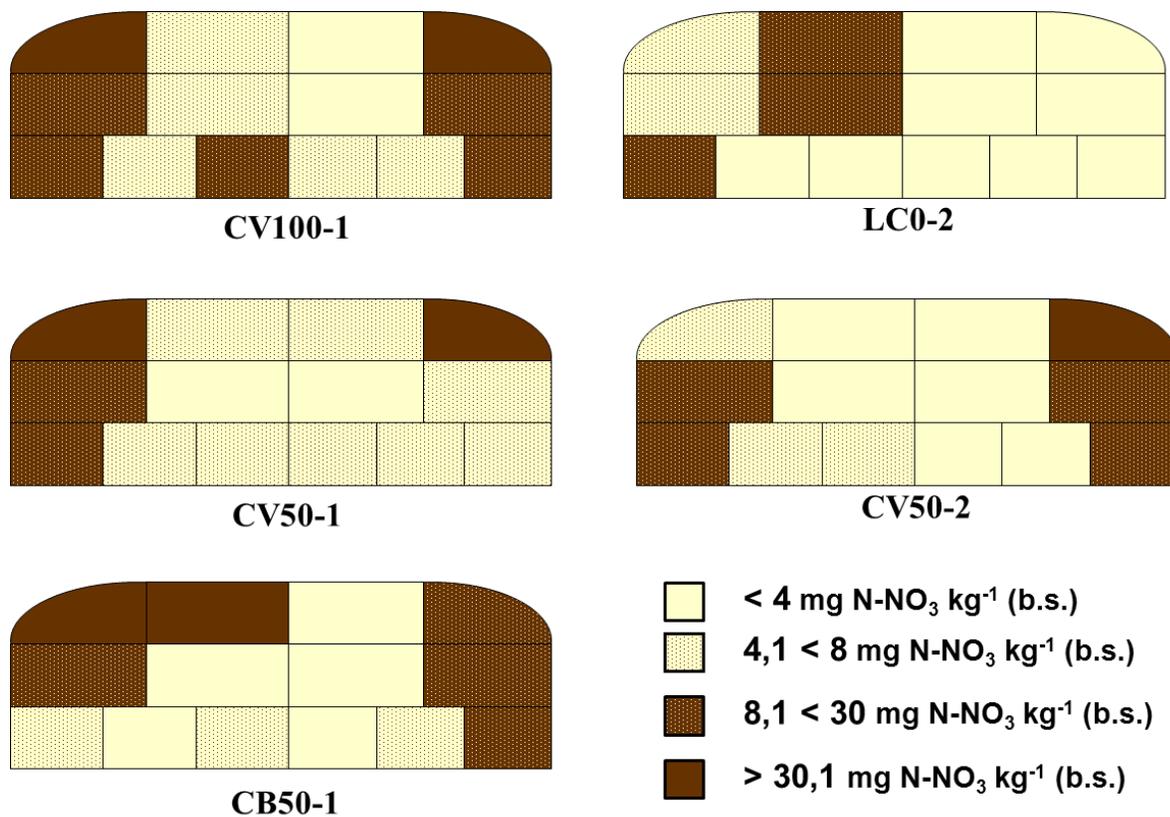


Figure 11. Contenu post-récolte en nitrate selon la zone de la butte et la stratégie en 2013.

3.5 Distribution de l'eau dans la butte

Avant de discuter de la distribution de l'eau dans la butte de sol selon le nombre de tubes de GàG utilisés, il est primordial d'aborder la densité racinaire selon les 14 zones de la butte (Figure 1). Les fraisiers sont implantés en quinconce sur la butte à une distance sur le rang d'environ 30 cm, soit la même longueur que les sondes TDR qui ont été utilisées pour mesurer la distribution de l'eau dans le sol. Ainsi, à tour de rôle, lorsqu'un fraisier se retrouve « au-dessus » de la zone 12, le fraisier suivant sera « au-dessus » de la zone 13. Dans ce projet et tous ceux réalisés par notre équipe de recherche dans un contexte comparable à celui-ci, la sonde TDR qui est insérée dans la zone 13 est toujours située directement en dessous d'un fraisier. De plus, vue d'en haut, ce dernier se retrouve au centre de la sonde. Conséquemment, la densité racinaire présente dans la partie « gauche » (zones 12 et 8) est plus faible que dans la partie droite (zones 13 et 9) de la butte. À titre indicatif, la densité racinaire (longueur totale des racines en cm présente dans un cm^3 de sol), a été mesurée au terme de la saison dans le cadre d'un projet qui s'est terminé en 2010 (1 tube de GàG), dans la fraise à jours neutres au même site que celui du présent projet (Boivin et Deschênes, 2011). La densité racinaire moyenne mesurée en 2010 est présentée à la Figure 12 et démontre des valeurs plus élevées dans la partie de droite (zones 13 et 9).

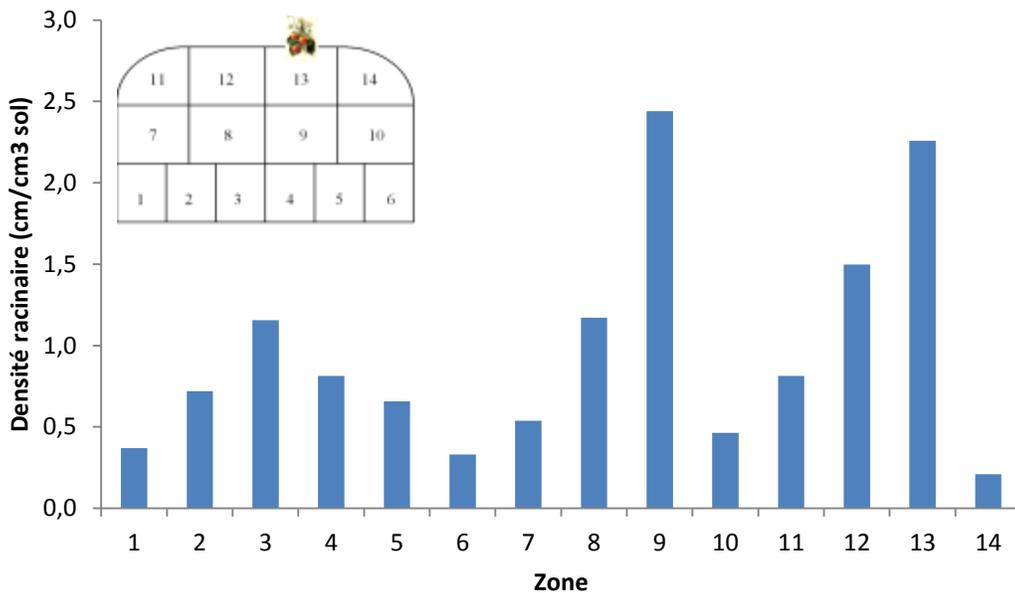


Figure 12. Densité racinaire moyenne (cm/cm^3 de sol) selon la zone⁴.

⁴ Tiré de Boivin et Deschênes (2011)

Maintenant, la distribution de l'eau dans la butte sera discutée à partir des variations de la teneur en eau mesurée par les sondes TDR, et ce, pour la moitié droite seulement de la butte (zones 4-5-6, 9-10 et 13-14). De plus, à partir des résultats du projet Boivin et Deschênes (2011), l'hypothèse suivante sera faite, à savoir que l'ensemble du sol correspondant aux 14 zones de la butte est colonisé par les racines, du moins vers la fin de la saison. Le premier paramètre présenté au Tableau 9 est la portée des apports en eau par l'irrigation selon qu'il y ait eu 1 ou 2 tubes de GàG. Les zones sous le tube de GàG (4-9-13) sont à la portée du système d'irrigation, peu importe le nombre de tubes. Toutefois, seule la stratégie avec deux tubes rejoint la zone 5, qui est plus éloignée du centre de la butte. De plus, l'ensemble des zones sont à la portée des précipitations, quoique plus difficilement pour les zones 6-10-14. En effet, l'augmentation de la teneur en eau, consécutive à un événement de précipitation, est plus faible et requiert un volume plus important. Les zones hors de portée pour le système à 1 tube (5-6-10-14), et celui à 2 tubes (6-10-14), s'assèche alors au fur et à mesure que la saison avance. Les précipitations étant la source d'approvisionnement en eau, ces dernières ne suffisent pas à compenser les prélèvements. Cette eau parvient d'abord à pénétrer dans la butte via les trous de plantation du fraisier, le plant agissant comme un entonnoir qui facilite grandement l'exercice. Les trous de plantation étaient plus près des côtés de la butte que les deux tubes de GàG, cela suggère qu'un positionnement des deux tubes davantage près des extrémités serait possiblement plus efficace en termes de nombre de zones de sol à la portée de l'irrigation. Enfin, les zones près de l'entre-rangs profitent aussi des apports par la pluie.

Une demande en eau particulièrement forte a été mesurée par les sondes TDR entre le 15 et le 30 août. Cette période ne coïncide pas particulièrement avec une période de forte demande en évapotranspiration (Figure 6), mais plutôt avec un pic de production en fruits équivalent à près de 30 % du poids total de la saison. Aussi, les prélèvements en eau les plus importants étaient situés dans les mêmes zones qui sont à la portée du système d'irrigation et qui avaient la plus grande densité racinaire. Cette densité plus élevée s'explique possiblement, en partie du moins, par un approvisionnement adéquat en eau.

Ces informations nous indiquent que le contenu en éléments nutritifs des zones de sol qui s'assèchent ne peut pas contribuer efficacement au système cultural. De plus, le volume du réservoir en eau, qui est déterminé par l'étendu du système racinaire n'est pas utilisé à pleine capacité. Ainsi, avec un réservoir au volume plus petit, davantage d'épisodes d'irrigation seront nécessaires pour soutenir la consommation en eau de la plante.

Tableau 9. État du statut hydrique du sol en regard des paramètres considérés selon le nombre de tubes de GàG.

Situation considérée	Nb de tubes de GàG	Zone 20-30 cm			Zone 10-20 cm		Zone 0-10 cm	
		4	5	6	9	10	13 ⁵	14
À la portée des apports en eau d'irrigation	1 ⁶	√			√		√	
	2 ⁷	√	√		√		√	
À la portée des précipitations	1 et 2	++	++	+	++	+	++	+
Assèchement graduel	1		√	√		√		√
	2			√		√		√
Indication du statut hydrique moyen du sol (teneur en eau volumique du sol (%))	1	27-33	25-30	30	20-25	20-25	20	20-25
	2	30	25	30-35	25-30	25-30	20-25	15-20
Assèchement en période de production intense (15-30 août)	1	++	++	+	++	+	++	+
	2	++	++	+	++	+	++	+
Prélèvements importants en eau (amplitude de la variation de la teneur en eau)	1	√			√		√	
	2	√	√		√		√	
Indication de la densité racinaire ⁸	cm/cm ³ sol	0,81	0,66	0,33	2,44	0,46	2,26	0,21
	relatif	33	27	14	100	19	93	9

⁵ Le fraisier est directement au-dessus de cette zone

⁶ Stratégie: CV-100%-1 tube

⁷ Stratégie : CV-50%-2 tubes

⁸ Projet Boivin et Deschênes (2011)

3.6 Comparer le rendement cumulatif

Afin de mesurer l'impact potentiel d'une meilleure distribution de l'eau d'irrigation dans la butte de sol, des paires de traitements ont été formées et le poids total en fruits produits par ces derniers est comparé aux Figure 13 à Figure 15. Le poids en fruits est présenté sous forme relative et cumulative d'une récolte à une autre. Ainsi, la valeur présentée à une date de récolte spécifique inclut la somme du poids en fruits des récoltes précédentes au quelle s'ajoute le poids de la période courante. Cette addition se poursuit jusqu'à la dernière récolte du 8 octobre 2013. De plus, la valeur cumulée de chacune des récoltes correspond à une proportion (%) de la valeur totale du traitement avec le poids en fruits le plus élevé, soit le CV-50%-2 tubes.

Par exemple, à la Figure 13, le rendement cumulatif du traitement LC-0%-1 tube est comparé à son vis-à-vis à 2 tubes (LC-0%-2 tubes). Ainsi, seul le nombre de tubes de GàG diffère d'un traitement à l'autre. Conséquemment, une différence de rendement pourrait être attribuable à une meilleure distribution de l'eau dans la butte. D'abord, la valeur présentée au 8 octobre représente la proportion du poids produit par le traitement en question comparativement au poids produit par le traitement CV-50%-2 tubes (100 %). Ainsi, le LC-0%-2 tubes et le LC-0%-1 tube ont respectivement produit 92,9 et 81,9 % du poids total produit par le CV-50%-2 tubes. Jusqu'au 16 août, les deux courbes de rendements sont très près l'une de l'autre. Toutefois, à partir de la mi-août l'écart de rendement entre les deux traitements grandit. Alors que le LC-0%-2 tubes atteint 50 % du total vers le 26 août, il faut attendre au 3 septembre pour que son vis-à-vis à un tube atteigne ce même niveau de production.

Le même exercice se répète avec les traitements CV-50% à 1 et 2 tubes (Figure 14). Cette fois-ci il y a apport de fertilisant par la fertigation. Dans un cas la dose est entièrement distribuée par un seul tube de GàG et dans l'autre cas, la même dose est répartie en deux pour être distribuée par les 2 tubes. Au terme de la saison, le poids total en fruits produit par le traitement avec 1 tube atteint 95,5 % de celui produit par le traitement à 2 tubes (CV-50% 2 tubes).

Pour le dernier exemple, les deux traitements ont chacun 2 tubes de GàG et ne reçoivent aucun apport en fertilisants par la fertigation. Ce qui distingue les deux traitements est le type d'engrais incorporé lors du buttage. Donc, toujours comparé avec le traitement ayant produit le poids total en fruits le plus élevés (CV-50% 1 tube), le traitement avec de l'engrais à libération contrôlée (LC-0% 2 tubes) a produit 92,9 % de ce rendement, alors que celui avec l'engrais conventionnel, 95,9 %.

Enfin, il est intéressant de constater qu'un pic important de production est survenu entre le 15 et le 30 août où près de 30 % de la production (poids) totale a été réalisée.

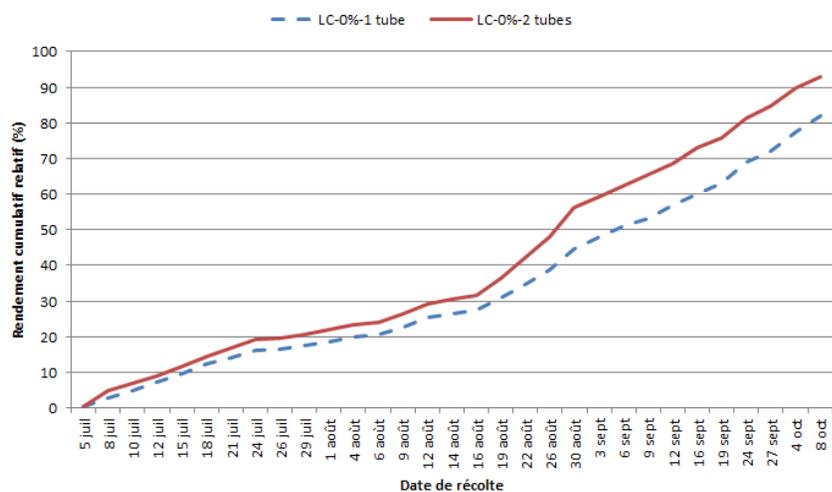


Figure 13. Rendement cumulé relatif (%) selon le nombre de tubes de GàG (LC-0%) en 2013.

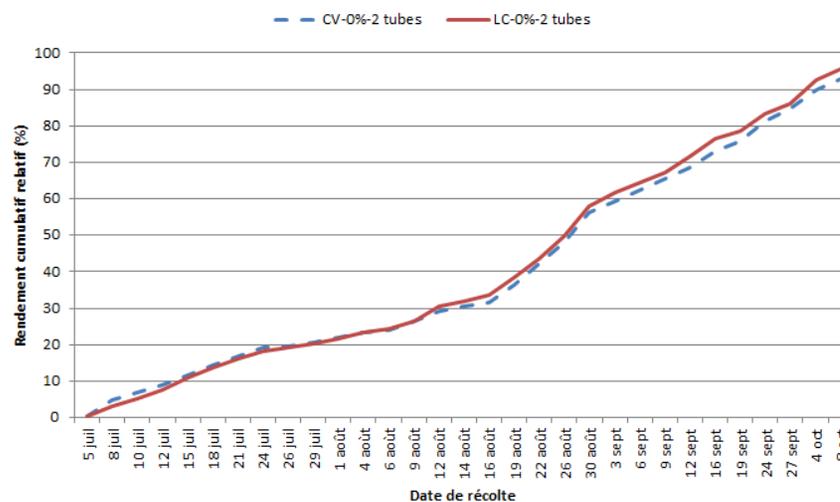


Figure 15. Rendement cumulé relatif (%) selon le type d'engrais incorporé au sol au buttage (0%-2 tubes) en 2013.

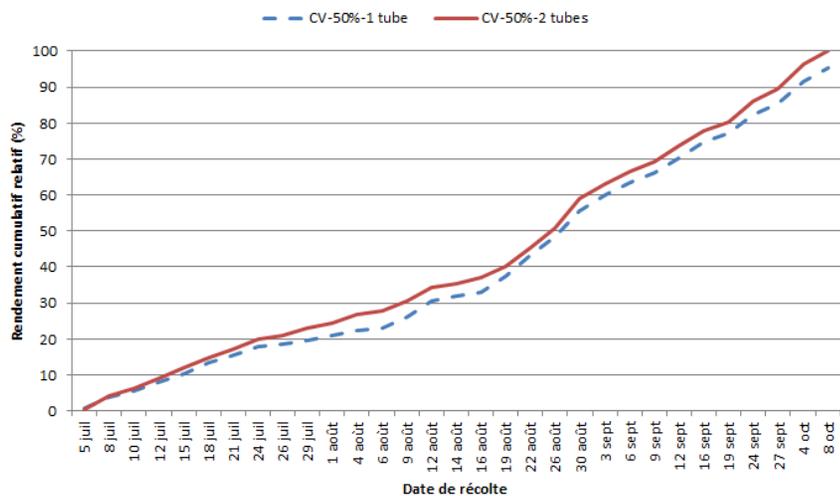


Figure 14. Rendement cumulé relatif (%) selon le nombre de tubes de GàG (CV-50%) en 2013.

3.7 Quelle(s) stratégies choisir?

3.7.1 Évaluation des coûts (\$) reliés à l'adoption des différentes stratégies (1 ha).

Les coûts reliés à l'achat du GàG, de l'engrais appliqué au buttage et pour la fertigation ont été évalués pour une superficie d'un hectare et rapportés au Tableau 10. Donc, pour une superficie d'un hectare, selon la largeur des buttes, 609 \$ sont nécessaires pour un tube de GàG, alors que le montant double pour l'ajout d'un 2^e tube, soit 1218 \$. Maintenant, le coût attribué à l'achat de l'engrais granulaire conventionnel incorporé au sol au buttage est de 263 \$, alors qu'il est de 1130 \$ si ce dernier est remplacé par de l'engrais à libération contrôlée. Enfin, la fertigation engendrerait, selon l'évaluation, 319 \$ avec la stratégie incluant 50 % de la dose et 638 \$ si 100 % de la dose est utilisée. Conséquemment, la stratégie dont les coûts reliés à l'achat d'intrants sont les plus élevés est LC-0%-2 tubes, suivie de CB-100%-2 tubes et CV-50%-2 tubes. Toutefois, ces coûts doivent être aussi analysés en fonction des modifications qui devront être apportées au système cultural et à la machinerie existante. Par exemple, l'ajout d'un deuxième tube de GàG sans intervenir dans les caractéristiques du système (débit par goutteur, durée irrigation, utilisation simultanée des deux tubes) implique un besoin en volume d'eau multiplié par deux. De plus, l'application d'engrais en bande nécessite des modifications à la machinerie existante. Toutefois, la diminution de la dose de fertilisants apportée par la fertigation pourrait réduire le temps de manipulation, si la réduction passe par un intervalle plus grand entre deux applications, plutôt qu'une diminution de la dose avec l'intervalle actuelle.

Tableau 10. Évaluation des coûts conséquents aux types d'engrais et au nombre de tubes de GàG selon la stratégie.

Stratégies	GàG ⁹		Types d'engrais		Dose fertigation			Total (\$)	Total (%)
	(nb de tubes)		au buttage		(%)				
	1	2	Conv.	ACERnt ¹⁰	0	50	100		
LC-0%-1 tube	609			1130				1739	74
CB-100%-2 tubes		1218	263				638	2119	90
LC-0%-2 tubes		1218		1130				2348	100
CV-50%-1 tube	609		263			319		1191	51
CV-0%-2 tubes		1218	263		0			1481	63
CB-50%-1 tube	620		263			319		1191	51
CV-100%-1 tube	620		263				638	1510	64
CV-50%-2 tubes		1218	263			319		1800	77

⁹ Aquatraxx 0834, 8 mil. d'épaisseur, bobine de 7500' à 185\$/bobine.

¹⁰ ACERnt 17-7-10 à 76,95 \$ le sac de 20 kg.

3.7.2 Synthèse et analyse des paramètres à l'étude en 2013.

Les résultats ayant trait aux facteurs à l'étude ont été regroupés au Tableau 11 selon que leur performance agronomique, économique ou environnementale soit interprétée comme un inconvénient ou un avantage. Cet exercice est réalisé afin de faciliter l'identification des stratégies qui semblent avoir le plus grand potentiel.

Utilisée telle quelle, la régie conventionnelle (Témoin CV-100%-1 tube) se présente comme la meilleure option dans le contexte étudié. Le gain de rendement à obtenir pour adopter le CV-50%-2 tubes est trop faible pour justifier les coûts reliés à l'achat des intrants et aux modifications à apporter au système cultural. En termes d'économies de coûts réalisés en diminuant la dose de fertigation avec le CB-50%-1 tube, la faible baisse de rendement pourrait possiblement être favorable à l'adoption de cette stratégie, mais l'application de l'engrais en bande en diminue l'attrait. Le prochain candidat, soit la 4^e meilleure stratégie en termes de rendement est très intéressante (CV-0%-2 tubes). L'application de l'engrais au buttage demeure la même que la stratégie témoin, mais il n'y a aucun apport de fertilisant par la fertigation. Le secret réside possiblement en partie dans l'ajout d'un 2^e tube de GàG qui améliore la distribution de l'eau dans la butte et par conséquent, l'efficacité d'utilisation des ressources à la portée du système racinaire de la plante. Toutefois, l'ajout d'un 2^e tube peut occasionner des problèmes lors de la plantation, car l'espace disponible étant restreint, ces derniers se retrouvent dangereusement près des fraisiers et risquent d'être endommagés lors de la plantation. De plus, cette stratégie a utilisé une quantité de N supérieure à ce qui a été apporté, tout comme les deux autres stratégies avec 0 % (LC-0%-1 tube et LC-0%-2 tubes). Conséquemment, une partie de la nutrition azotée de la culture a été fournie par le sol. Cette situation serait fort probablement différente dans un contexte de sol à la texture plus légère et au taux de MO plus faible. Un compromis pourrait être envisageable dans le positionnement des différents « items ». L'idée de « couper » totalement la fertigation n'est pas une composante de la stratégie proposée, mais une diminution serait certes profitable. Une autre stratégie confirme l'intérêt et les gains à avoir une meilleure distribution de l'eau d'irrigation dans la butte, soit le LC-0%-2 tubes. Ainsi, comparés avec son vis-à-vis à 1 tube (LC-0%-1 tube), les rendements, quoiqu'inférieurs au témoin, demeurent plus élevés. Maintenant, d'un point de vue environnemental, la régie témoin (CV-100%-1 tube) est moins intéressante que sa vis-à-vis à 50 % (CV-50%-1 tube). En effet, le différentiel entre la quantité de N apporté et celle prélevée par la culture est de seulement 10 % pour le CV-50%-1 tube, alors qu'il est de 41 % pour la régie témoin.

Donc, sans modifier quoi que ce soit aux stratégies à l'étude et en minimisant l'impact pour l'entreprise, le témoin CV-100%-1 tube demeure la stratégie la plus intéressante. Toutefois, l'ajout d'un 2^e tube de GàG et la diminution de la dose de fertigation à 50 % (garder la dose à 100 %, mais supprimer un épisode sur deux) s'avèrerait une stratégie très prometteuse.

Tableau 11. Avantages et inconvénients d'un point de vue agronomique, économique et environnemental.

	Type d'engrais au buttage	Tableau de référence	CV 0	CV 50	CV 50	CV 100	CB 50	CB 100	LC 0	LC 0
	Dose de fertigation (%)		2	1	2	1	1	2	1	2
	Nombre de tubes de GàG									
Inconvénients										
Performance agronomique										
	Rendement < 95	Tableau 6						√	√	√
	Nombre de fruits tend à être élevé > 94	Tableau 7	√		√	√	√			
	Poids moyen des fruits tend à être bas < 95	Tableau 7							√	
	Différentiel dose N apporté – prélèvement (Valeur négative)	Tableau 8	√						√	√
Performance économique										
	Modification à l'applicateur d'engrais au buttage						√	√	√	√
	Modification au système cultural		√		√			√		√
Performance environnementale										
	Risque de perte de N par lessivage (Diff. Élevé)	Tableau 8				√		√		
Avantages										
Performance agronomique										
	Rendement > 94	Tableau 6	√	√	√	√	√			
	Nombre de fruits tend à être faible < 95	Tableau 7		√				√	√	√
	Poids moyen tend à être élevé > 94	Tableau 7	√	√	√	√	√	√		√
Performance économique										
	Aucune modification au système cultural			√		√	√		√	
	Économie de temps (manipulation, gestion, entreposage)		√						√	√
	Coûts pour l'achat des intrants < 75	Tableau 10	√	√		√	√		√	
Performance environnementale										
	Risque moindre de perte de N par lessivage	Tableau 8	√	√	√		√		√	√

4 CONCLUSION

L'application en bande, au buttage, de l'engrais conventionnel est difficile à justifier avec les résultats obtenus, comparativement à un mode d'application à la volée. En effet, au terme de la saison 2013, seul le rendement vendable du traitement LC-0%-1 tube et CB-100%-2 tubes est significativement plus bas que tous les autres traitements ($P = 0,1$). Toutefois, le LC-0%-2 tubes, sans apports supplémentaires de N par la fertigation, est une stratégie inenvisageable de par le prélèvement en N par la culture qui est supérieure aux apports (déficits de 19 kg N/ha). En d'autres termes, la culture puise dans les réserves du sol. Pour la même raison, éliminer les apports de N par la fertigation, peu importe le type d'engrais est à oublier pour l'instant, surtout pour un sol de texture légère avec un faible taux de MO.

Par ailleurs, quoique la position idéale de deux tubes de GàG dans la butte ne puisse pas faire l'objet de recommandations, son impact positif sur la distribution de l'eau a été démontré avec les stratégies sans apport de fertilisant par la fertigation (0%) et ouvre la porte à une diminution importante des apports par la fertigation. Toutefois, le débit par goutteur et la gestion des apports en eau seront à revoir.

À court terme, en minimisant l'impact pour l'entreprise, le Témoin (CV-100%-1 tube) demeure la stratégie évaluée la plus intéressante. Toutefois, l'ajout d'un 2^e tube de GàG et la diminution de 50 % la dose de fertigation, en supprimant un épisode sur deux, s'avèrerait les composantes d'une stratégie très prometteuse.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

American Society of Civil Engineering (ASCE), 2005. *The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation*. Report of ASCE Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee, American Society of Civil Engineering, 59 p.

Boivin, C. et P. Deschênes. 2011. *Stratégies d'irrigation dans la fraise à jours neutres*. Rapport final déposé au CDAQ (no. 6348). IRDA. 98 p.
http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/boivin-et-deschenes-428_rapport_strategies_irrigation_fraise_2011.pdf

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2011. *Fertilisants et amendements – Prix*. AGDEX 540/855. CRAAQ. Juillet 2011. 1 page.

Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). 1988. *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux*. Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). Québec. Agdex 533, méthode SS-1.

Gee, G.W. et J.W. Bauder, J.W. 1986. *Particle-size analysis*. p. 383-411. In A. Klute (ed) *Methods of soil analysis*. Part 1. ASA. Monograph No 9. 2nd edition. Madison, WI.

Isaac, R.A. et Johnson, W.C. 1976. Determination of total nitrogen in plant tissues using a block digester. *J. Ass. Off. Anal. Chem.* 69:98-101.

Landry, C. et C. Boivin. 2012. *Performance des fertilisants à libération contrôlée et d'origine organique dans la fraise à jours neutres fertiguée*. Rapport final déposé au MAPAQ (no. PSIH10-1-355). IRDA. 53 p.
http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/landry-boivin-479_rapport_elc_fraise_2012.pdf

Tran, T. S. et R. R. Simard. 1993. *Mehlich III-extractable nutrients*. Pages 43–50 dans M. R. Carter, ed. *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publishers, London, UK.

6 ANNEXE



Figure 16. Filet protecteur utilisé.