



Sources alternatives d'azote en maraîchage biologique

Projet : 05-BIO-03

Rapport Final

Présenté au

Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec

dans le cadre du

Programme de soutien au développement de l'agriculture biologique

par le

Centre de recherche agroalimentaire de Mirabel

Février 2010

- Mise à jour Juin 2010 -

Introduction

En agriculture biologique, les apports en azote visant à combler les besoins des cultures exigeantes (solanacées, crucifères...) proviennent essentiellement de trois sources, soit (1) les composts, (2) les fumiers et (3) les déchets d'abattoir (farines de plumes, d'os et de sang). Cependant, les composts et les fumiers apportent généralement trop de phosphore (Sharpley 1999). Pour cette raison, les sols en production maraîchère biologique sont souvent trop riches en phosphore, ce qui pose un problème environnemental. Par ailleurs, les farines de plumes et de sang coûtent très cher, ce qui limite leur utilisation comme source d'azote.

Un autre possibilité pour les producteurs maraîchers est d'augmenter la fertilisation azotée de leurs champs grâce à l'utilisation des engrains verts de légumineuses implantés en culture dérobée (Ebelhar et al. 1984, Evans & Taylor 1987, Ranells & Wagger 1996). En effet, grâce à une association symbiotique avec des bactéries *Rhizobium* spp., les légumineuses ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique (N₂) (Dixon & Wheeler 1986, Peoples et al. 1995a). La plupart de l'azote fixé par symbiose est utilisé pour la croissance de la légumineuse et est donc accumulé comme matière organique (Peoples et al. 1995b). Les légumineuses ainsi cultivées peuvent ensuite être enfouis : lors de la décomposition du couvre-sol, l'azote accumulé par les légumineuses sera rendu disponible pour la culture suivante (Vaughan & Evanlyo 1998). Le compost et le fumier seraient alors utilisés en petites quantités comme source complémentaire d'azote et comme source principale de phosphore et de potasse. L'utilisation d'engrais vert en agriculture biologique aurait donc pour avantage de limiter l'enrichissement des sols en phosphore.

En plus de l'apport en azote, les autres bénéfices possibles des couvres-sols sont l'amélioration de la structure du sol et la protection contre l'érosion, l'accumulation supplémentaire d'énergie solaire (transformée en nourriture pour la pédofaune) et l'augmentation de l'évapotranspiration du sol (Dabney et al. 2001). Aussi, les couvres-sol permettent un contrôle

des mauvaises herbes (Ilnicki et Enache 1992, Bärberi & Mazzoncini 2001). Enfin, les couvres-sol peuvent être utilisés pour prendre en charge l'azote résiduel à l'automne qui autrement pourrait être lessivé sous forme de NO_3^- (Shipley et al. 1992) ou pourrait être perdu au cours de la nitrification en NO et N_2O ou de la dénitrification en N_2 (Jenkinson 2001). Les couvres-sol de graminées ou de crucifères sont particulièrement adaptés pour ce dernier usage (Kuo & Jellum).

Bien que l'utilisation d'engrais vert soit courante en grandes cultures, peu d'information existe sur la quantité d'azote que cette pratique peut fournir. Cette quantité est fonction de la biomasse de l'engrais vert, mais également de la date à laquelle il a été enfoui. Pour le moment il est donc impossible d'estimer la quantité d'azote que de tels engrais verts peuvent réellement fournir à une culture subséquente. Aussi, il n'existe pas de travaux permettant de décider de la meilleure période d'enfouissement pour les engrais verts au Québec.

Puisqu'il n'existe actuellement pas de réelle alternative à l'utilisation de composts, de fumiers et de déchets d'abattoir comme source d'azote en production biologique, il est important d'effectuer des projets de recherche permettant d'évaluer le potentiel d'utilisation des engrais verts. Les réponses apportées par la mise en œuvre de tels projets permettraient de conseiller les producteurs agricoles sur les techniques à suivre pour l'utilisation efficace d'engrais verts de légumineuses comme source alternative d'azote, et ainsi limiteraient l'enrichissement des sols en phosphore causé par l'utilisation excessive de fumiers et de composts.

Les engrais verts qui ont été utilisés dans le cadre de ce projet étaient la vesce et le pois (deux plantes appartenant à la famille des légumineuses) : la vesce est l'un des engrais vert qui emmagasinent le plus d'azote, alors que la semence du pois est de taille importante et germe plus facilement dans les conditions sèches fréquemment rencontrées à la mi-été.

Parmi les légumineuses étudiées, la vesce velue est une des espèces qui capture le plus d'azote atmosphérique pour ensuite le libérer rapidement dans le sol (Ranells & Wagger 1996).

L'apport des résidus provenant d'un couvre-sol de vesce velue a été évalué à 132 kg d'azote par hectare, après 8 semaines de décomposition au champ (Ranells & Wagagger 1996).

Objectifs du projet

L'objectif général de ce projet était d'évaluer deux types d'engrais verts à base de légumineuses (la vesce et le pois) en culture dérobée et deux périodes d'enfouissement de ces engrais verts (automne et printemps) en vue de fournir une quantité suffisante d'azote à la culture suivante.

Plus spécifiquement, ce projet visait à : (1) déterminer la période idéale d'enfouissement en sol léger (automne ou printemps), (2) situer le pic de minéralisation et de « redistribution » de l'azote venant des résidus de l'engrais vert selon le type de sol et la date d'enfouissement, (3) maximiser la quantité d'azote rendue à la culture suivante par des engrais verts de légumineuse et (4) déterminer si l'apport d'azote par les engrais verts contribue significativement au rendement d'une culture exigeante.

Méthodologie

Dispositif expérimental

Le projet s'est déroulé du printemps 2006 à l'automne 2009. La date prévue initialement pour la fin du projet était en 2008, mais a été repoussée à la fin 2009 dû au retard associé à une des séries expérimentales (voir tableau 1).

Les expériences ont été réalisées sur deux sites aux sols différents, soit (1) en sol lourd (ou argileux) et (2) en sol léger (ou sablonneux). Les expériences en sol lourd se déroulaient sur

les terres du *Centre de formation agricole de Mirabel* (Mirabel, secteur Sainte-Scholastique), alors que les expériences en sol léger se déroulaient sur les terres de l'entreprise *Les serres Michel Jetté et Réjeanne Huot* (Mirabel, secteur Saint-Canut).

Pour chaque type de sol, l'effet des traitements a été évalué en établissant une succession de cultures. (1) Dans un premier temps, des laitues étaient cultivées dans les parcelles destinées à recevoir les futurs traitements, et ce, afin de s'assurer qu'il n'y avait pas de différence préalable entre les parcelles. (2) Dans un deuxième temps, les engrains verts étaient cultivés. (3) Dans un troisième temps, des choux (2007) ou des brocolis (2008 et 2009) étaient cultivés afin de déterminer l'effet des différents traitements sur le rendement des ces cultures exigeantes en azote. (4) Enfin, dans un dernier temps, des céréales étaient cultivés afin de déterminer si les effets des différents traitements perduraient au-delà de la culture de crucifères. Deux de ces séries de cultures ont été entreprises pour chaque type de sol.

Six traitements expérimentaux ont été comparés en sol léger, soit (1) une fertilisation à base de farine de plumes (*Farine de plumes*), (2) une fertilisation à l'aide d'un engrais vert de pois enfoui à l'automne précédant la saison de culture des crucifères (*Pois-Automne*), (3) une fertilisation à l'aide d'un engrais vert de vesce enfoui à l'automne précédant la saison de culture des crucifères (*Vesce-Automne*), (4) une fertilisation à l'aide d'un engrais vert de pois enfoui au printemps, tout juste avant la culture des crucifères (*Pois-Printemps*), (5) une fertilisation à l'aide d'un engrais vert de vesce enfoui au printemps, tout juste avant la culture des crucifères (*Vesce-Printemps*) et (6) une absence de fertilisation (*Témoin*).

En sol lourd, l'entrée au champ est souvent difficile tôt au printemps. Pour cette raison, en sol lourd, l'enfouissement des engrais verts n'a été réalisé qu'à l'automne. Ainsi, 4 traitements ont été comparés en sol lourd, soit (1) une fertilisation à base de farine de plumes (*Farine de plumes*), (2) une fertilisation à l'aide d'un engrais vert de pois enfoui à l'automne précédant la saison de culture des crucifères (*Pois-Automne*), (3) une fertilisation à l'aide d'un engrais vert de

vesce enfoui à l'automne précédent la saison de culture des crucifères (*Vesce-Automne*) et (4) une absence de fertilisation (*Témoin*).

Les densités de semis utilisées pour les engrains verts ont été de 30 kg / ha (2006 et 2007) et de 80 kg / ha (2008) pour la vesce et de 125 kg / ha pour le pois. En 2008, la densité de semis pour la vesce a été augmentée suite aux faibles biomasses d'engrais verts observées au cours des années précédentes. En 2006, la vesce velue *Vicia villosa* Roth a été utilisée, alors qu'en 2007 et 2008 la vesce commune *Vicia sativa* L. a été utilisée afin de tenter d'augmenter la biomasse. Pour les mêmes raisons, la variété de pois *Pisum sativum* L. utilisée était le pois de grande culture en 2006 , mais ce dernier a été remplacé par le pois fourrager en 2007 et 2008. Les semis ont été effectués manuellement. Chaque parcelle, composée de 10 rangs, mesurait 3 x 6 mètres. Au moment convenu, les engrains verts ont été enfouis par un labour (charrue).

Les parcelles destinées à recevoir les traitements *Farine de plumes* et *Témoins* étaient laissées libres et désherbées jusqu'à la culture des crucifères. La farine de plumes a été appliquée selon les doses déterminées par les grilles de fertilisation du CRAAQ. Ainsi, une application de 769 kg / ha avant l'implantation des crucifères et une application en bande de 452 kg / ha, 5 semaines après l'implantation, ont été effectuées. Dans les deux cas, le fertilisant a été appliqué et enfoui manuellement.

La série 1 en sol lourd a été abandonnée à la fin de la première année (2006) à cause d'une trop faible production des engrains verts. Cette série a donc été reprise en 2007, entraînant un retard d'un an et un décalage entre les séries expérimentales.

Analyses de sol

Des échantillons de sol ont été prélevés à différentes étapes et analysés afin d'y déterminer le contenu en azote (NO₃). Ces échantillons ont été prélevés (1) à l'automne, juste avant que les engrains des traitements *Pois-Automne* et *Vesce-Automne* ne soient enfouis, (2) au printemps suivant, avant l'implantation des crucifères et (3) à l'automne, à la fin de la culture des

céréales. Pour la série 2 en sol lourd, une analyse a aussi été faite en tout début d'expérience, avant la semence des laitues. Ces analyses étaient effectuées au CRAM à l'aide de l'appareil *Nitracheck*.

Rendement de la laitue

En 2006 et 2007, seules des données de récolte ont été effectuées sur la laitue. Sur les 4 rangs d'une parcelle, seuls 3 mètres des deux rangs centraux étaient récoltés (rangs 2 et 3). Cependant, lorsque ces rangs n'étaient pas représentatifs de la parcelle en général, d'autres rangs étaient utilisés. En 2007, les plants de laitue étaient beaucoup moins uniformes d'une parcelle à l'autre qu'en 2006. La récolte a donc été effectuée lorsque plus de la moitié des plants avaient atteint le diamètre souhaité. À ce moment, plusieurs plants n'étaient pas encore matures (diamètre inférieur à 15 cm).

En 2008, l'évaluation du rendement était effectué sur 10 plants par parcelle, situés sur les deux rangs centraux. Cette évaluation était effectuée une fois par semaine. Le stade BBCH, la hauteur et le nombre de feuilles ont été mesurés. À la récolte, des données de rendement et de biomasse ont été prises sur les deux rangs centraux des parcelles sur une longueur de 3 mètre (au centre de la parcelle). Le nombre de plants dans la section de récolte de chaque parcelle était compté. Ensuite, chaque plant était classé selon les catégories « commercialisable » ou « non commercialisable » et le poids total des plants commercialisables était mesuré. Pour être classés « commercialisable », les plants devaient être exempts de dommages d'insectes et de maladies, et la tête devaient avoir un diamètre minimal de 15cm.

Rendement des engrains verts

En 2006 et 2007, un suivi hebdomadaire des engrains verts a été effectué après le semis. Lors de ce suivi, le stade de développement phénologique a été évalué à l'aide de l'échelle BBCH. Pour le pois, l'échelle BBCH spécifique à cette culture a été utilisée. Cependant, aucune échelle BBCH n'a été développée pour la vesce. Ainsi, l'échelle utilisée pour les mauvaises herbes

(dicotylédones) a été utilisée pour la vesce. En 2008, ces données ont été prises sur 10 plants par parcelle, choisi aléatoirement au centre de la parcelle.

Avant les gels automnaux, la biomasse des engrains verts des parcelles *Pois-Automne* et *Vesce-Automne* a été mesurée avant l'enfouissement. Le printemps suivant, la biomasse des engrains verts des parcelles *Pois-Printemps* et *Vesce-Printemps* a ensuite été mesurée avant l'enfouissement printanier. Dans la série 2 de l'essai en sol léger, les engrains verts semés à l'automne 2007 et qui devaient être enfouis au printemps 2008, n'ont pas repris leur croissance. Aucune donnée de biomasse n'a donc été prise sur ces parcelles.

Rendement des crucifères

En 2007, l'espèce de crucifère cultivée a été le chou, *Brassica oleracea* L. variété *Saratoga*. Lorsque la culture avait 9 feuilles en moyenne (soit environ 4 semaines après la transplantation), un test de sève a été effectué sur 5 feuilles par parcelle (prélevées sur les deux rangs du milieu). Le deuxième apport de farine de plumes a ensuite été fait sur les parcelles concernées. Deux semaines après ce second apport, un autre test de sève a été effectué dans toutes les parcelles. La culture avait 14 feuilles à ce moment. Ces échantillons ont été analysés par le CRAM à l'aide de l'appareil *Nitracheck*.

Lorsque les feuilles centrales des plants ont commencé à se refermer (sans nécessairement former une pomme), leur diamètre a été noté de façon hebdomadaire et ce, dans chacune des parcelles.

Les rendements ont été mesurés tard à l'automne. La culture est restée en place un maximum de temps pour que les choux puissent former leur pomme. L'hiver est cependant arrivé plus tôt que normalement en 2007 ; les choux ont donc été récoltés alors qu'il y avait une couche de neige d'environ 10 cm au sol.

La récolte s'est effectuée sur 3 mètres de chacun des deux rangs du centre. Le nombre de plant a été compté, la proportion de choux commercialisables (choux pommés de plus de 10 cm) a été déterminée et le poids des plants commercialisable a été mesuré.

En 2008 et 2009, le brocoli *Brassica oleracea* var. *italica* L. Plenck a été cultivé. En 2008, la variété *Emerald Pride* a été utilisée, alors qu'en 2009 la variété *Everest* a été utilisée.

Un test de sève a été effectué 4 semaines après la transplantation et un deuxième test de sève deux semaines après le second apport de farine de plume. En 2008, le test de sève a uniquement été effectué en fin de croissance, lorsque les pommes étaient formées. Le test de sève a été effectué sur 5 feuilles par parcelle, prélevées sur les deux rangs du milieu, et ces échantillons ont été analysés par le CRAM à l'aide de l'appareil *Nitracheck*.

Une fois par semaine, 10 plants par parcelle, choisi aléatoirement sur les deux rangs centraux, ont été évalués. Le stade BBCH, la hauteur et le diamètre des têtes ont été mesurés.

Les rendements ont été mesurés à la récolte. Le diamètre de la tête et le poids de tous les plants récoltés ont été mesurés.

En 2008, un plan de brocoli représentatif a été choisi par parcelle et sa biomasse (en poids sec) a été évaluée. En 2009, cette biomasse a été évaluée pour 4 plants par parcelle. Aussi, en 2009, en plus de la biomasse du plant entier, la biomasse de la tête seule a également été évaluée.

Rendement des céréales

En 2008 et 2009, des données de biomasse ont été prises sur l'orge avant les premiers gels importants. Les poids frais et sec de l'orge ont été mesurés afin d'évaluer le quantité de matière sèche dans chacune des parcelles. Pour ce faire, 3 mesures de 50cm x 50 cm ont été prises pour chaque parcelle.

Analyses statistiques

Les données ont été comparées en utilisant la parcelle comme unité expérimentale. Lorsque plusieurs données étaient prises au sein d'une parcelle, la moyenne de ces données était utilisée comme donnée pour la parcelle. Pour les analyses de proportions, les données ont été transformées en appliquant l'arcsinus de la racine carrée des proportions et les analyses ont été effectuées sur ces données transformées. (proportions de plants commercialisables, proportions de cœurs abortés, etc.) Les données ont été comparées à l'aide d'analyses de variance (*ANOVA*) en tenant compte, lorsque possible, des blocs. Les données ont été directement comparées lorsque les résidus étaient distribués normalement (selon le test de *Shapiro-Wilk*). En cas contraire, les tests ont été effectués sur des données transformés afin de rencontrer les conditions de normalité. Lorsqu'il était impossible de rencontrer la condition de la distribution normale des résidus, les données étaient ordonnées en rangs (*ranked averaged*) et les tests étaient effectués sur ces rangs (Zar 1999). Un test de *Brown-Forsythe* était utilisé pour vérifier l'homogénéité de la variance. Lorsque la variance n'était pas homogène, un test de *Welch-ANOVA* était utilisé. Lorsque les tests indiquaient une différence significative entre les traitements, un test de *Tukey* était effectué afin de déterminer les traitements différant les uns des autres. Toutes les données ont été analysées à l'aide du logiciel JMP (SAS Institute 2001).

Tableau 1. Calendrier de réalisation des essais du printemps 2006 à l'automne 2009. La couleur violette (●) correspond à la série 1, la couleur orange (○) correspond à la série 2 et la couleur rouge (●) correspond à la série 1 avortée (en sol lourd).

Période	Sol léger		Sol lourd	
	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2
Juin 2006	Plantation de laitue		Plantation de laitue	
Juillet 2006	Récolte de laitue		Récolte de laitue	
Août 2006	Semis de l'engrais vert		Semis de l'engrais vert	
Octobre 2006	Enfouissement de l'engrais vert			
Novembre 2006			Enfouissement de l'engrais vert	
Juin 2007	Enfouissement de l'engrais vert	Plantation de laitue	Plantation de laitue	
	Plantation du chou			
Juillet 2007		Récolte de laitue	Récolte de laitue	
Août 2007		Semis de l'engrais vert	Semis de l'engrais vert	
Octobre 2007		Enfouissement de l'engrais vert	Enfouissement de l'engrais vert	
Novembre 2007	Récolte du chou			
Juin 2008		Enfouissement de l'engrais vert	Plantation du brocoli	Plantation de laitue
		Plantation du brocoli		
Juillet 2008				Récolte de laitue
				Semis de l'engrais vert
Août 2008		Récolte du brocoli	Récolte du brocoli	
Septembre 2008		Semis de céréale	Semis de céréale	
Octobre 2008				Enfouissement de l'engrais vert
Juin 2009				Plantation du brocoli
Juillet-Août 2009				Récolte du brocoli
Septembre 2009				Semis des céréales

Résultats

À l'origine, les résultats devait être présentés en deux sections, soit (1) série 1 et (2) série 2. Cependant, la série 1 en sol lourd, qui a d'abord débutée en 2006, a dû être réinitialisée en 2007 à cause d'une trop faible biomasse des engrains verts (voir les résultats ci-dessous). Cet abandon a créé un décalage entre les essais en sol léger et en sol lourd de la série 1 et, par conséquent, entre les essais en sol léger et en sol lourd de la série 2 (voir tableau 1).

Les résultats seront donc présentés en trois sections, soit (1) série 1 en sol léger, (2) série 1 en sol lourd et série 2 en sol léger et (3) série 2 en sol lourd. Pour la première section, les premiers résultats obtenus en sol lourd en 2006 (soit le début de la première série 1, par la suite abandonnée) seront également utilisés.

Section 1 – Série 1 en sol léger

En 2006-2007, les essais en sol lourd ont été abandonnées après la culture des engrains verts. Par conséquent, les résultats sont présentés pour les deux types de sol pour la croissance des laitues et des engrains verts, mais seulement pour le sol léger pour la culture des crucifères.

Rendement de la laitue - 2006

Autant en sol léger qu'en sol lourd, il n'y avait pas de différence entre les parcelles destinées aux différents traitements en ce qui a trait au nombre de plants récoltés par 20 pieds de rang (ANOVA; $P > 0,05$), au pourcentage de plants commercialisables (ANOVA; $P > 0,05$) et au poids moyen des plants commercialisables (ANOVA; $P > 0,05$).

Tableau 2. Poids moyens des plants de laitue commercialisables cultivés en 2006. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative ($P > 0,05$).

Traitement	Sol léger	Sol lourd
Plume	$272,81 \pm 45,48$ (a)	$356,87 \pm 59,24$ (a)
Pois-Automne	$332,32 \pm 50,91$ (a)	$355,57 \pm 29,89$ (a)
Vesce-Automne	$286,44 \pm 32,02$ (a)	$292,19 \pm 44,51$ (a)
Pois-Printemps	$230,71 \pm 100,81$ (a)	
Vesce-Printemps	$191,55 \pm 67,31$ (a)	
Témoin	$228,26 \pm 51,76$ (a)	$328,89 \pm 78,31$ (a)

Biomasse des engrais verts enfouis à l'automne 2006

En sol léger, les résultats indiquent que la biomasse en poids sec est supérieure pour la vesce que pour le pois (Tableau 3; *ANOVA* : $P = 0,0013$). En sol lourd, la biomasse en poids sec n'était pas différente entre les traitements en 2006 (*ANOVA* : $P = 0,5380$).

Tableau 3. Poids sec des engrais verts mesuré en 2006 et 2007 en sol léger. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative ($P > 0,05$).

Type d'engrais vert	Poids sec (g)	
	Sol léger	Sol lourd
Pois	$17,97 \pm 0,77$ (b)	$11,65 \pm 3,90$ (a)
Vesce	$22,82 \pm -0,92$ (a)	$16,31 \pm 3,90$ (a)

Évaluation de l'apport d'azote par les engrais verts - 2006

Le tableau 4 indique les résultats de l'analyse foliaire en ce qui a trait aux taux d'azote.

Tableau 4. Teneur en azote des différents engrains verts cultivés en 2006 en fonction du type de sol, exprimée en pourcentage du poids sec.

Type de sol	Type d'engrais vert	Azote (% du poids sec)
Léger	Pois	3,6
	Vesce	3,78
Lourd	Pois	1,89
	Vesce	1,69

Ces pourcentages ont été utilisés pour estimer l'apport potentiel en azote des engrais verts étudiés. Pour ce faire, le poids sec de chaque mesure de poids frais (qui correspond à une surface de 50 cm x 50 cm) a été estimé en appliquant le pourcentage de réduction du poids observé avec chacun des sous-échantillons correspondants. Le poids en azote a ensuite été évalué en appliquant à chacune de ces mesures les pourcentages présentés au tableau 2. Cette mesure, en g / 2500 cm², a ensuite été convertie en kg / ha (Tableau 5). Une analyse statistique de ces estimations indiquent que le type d'engrais vert n'avait pas d'influence (ANOVA; P > 0,05).

Tableau 5. Estimation de l'apport potentiel par les différents engrais verts cultivés en 2006 en fonction du type de sol

Type de sol	Engrais vert	Kg N / ha
Léger	Pois	72,85 ± 13,11
	Vesce	48,62 ± 6,47
Lourd	Pois	8,81 ± 2,95
	Vesce	11,03 ± 2,64

Biomasse des engrais verts enfouis au printemps - 2007

La biomasse des engrais verts non-enfouis à l'automne 2006 a été évaluée le 11 juin 2007 pour la vesce (poids frais de l'échantillon total = 312,73 ± 136,50 g, poids sec du sous-échantillon = 12,65 ± 1,66 g). Cependant, la biomasse du pois n'a pas été évaluée. La comparaison entre les deux types d'engrais vert n'est donc pas possible.

Rendement du chou 2007– Diamètre des pommes de choux

Le diamètre pommes de choux a été évalué à trois reprises au cours de la saison de croissance, soit le 12 septembre, le 16 octobre et le 5 novembre (Fig.1).

Au 12 septembre, les résultats indiquent qu'il n'y avait pas de différence significative entre les traitements (*ANOVA* : $P = 0,0612$). Toutefois, le diamètre des plants cultivés avec de la *Farine de plumes* avait tendance à être supérieur à celui de tous les autres traitements. Au 16 octobre, les résultats indiquent qu'il n'y avait pas de différence significative entre les traitements (*ANOVA* : $P = 0,1854$). Le diamètre des plants cultivés avec de la *Farine de plumes* avait toutefois toujours tendance à être supérieur à celui de tous les autres traitements. Au 5 novembre, les résultats indiquent toujours qu'il n'y avait toujours pas de différence significative entre les traitements (*ANOVA*; $P = 0,2582$). Le diamètre des plants cultivés avec de la *Farine de plumes* avait cependant toujours tendance à être supérieur à celui des autres traitements.

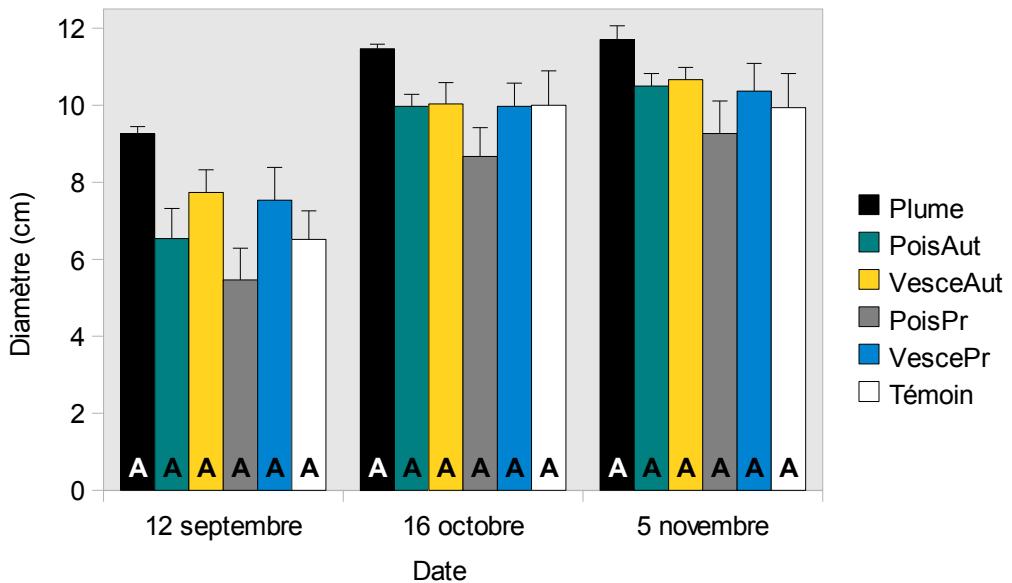


Figure 1. Diamètre des pommes de choux en sol léger en fonction des traitements, tel que mesuré au champ lors de la saison 2007. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements ($P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, PoisPr (●) = Engrais vert de pois enfoui au printemps, VescePr (●) = Engrais vert de vesce enfoui au printemps; Témoin (□).

Rendement du chou 2007– Données de récolte

À la récolte (27 novembre), le nombre de plants de choux récoltés par 6 mètre de rang ne différait pas entre les traitements (*ANOVA* : $P = 0,3534$). En ce qui concerne la proportion de choux immatures (i.e. dont le chou est pommé), l'*ANOVA* indique une différence statistique (*Welch ANOVA*; $P = 0,0326$), mais le test de *Tukey* n'identifie pas de couple différents. La proportion de choux immature avait toutefois nettement tendance à être inférieur dans le traitement *Farine de plumes* que dans tous les autres traitements (Tableau 6).

Tableau 6. Pourcentage de choux immatures en fonction des traitements en sol léger. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative ($P > 0,05$).

Traitements	Sol léger
Plume	$14,32 \pm 1,92$ (a)
Pois-Automne	$38,89 \pm 11,56$ (a)
Vesce-Automne	$40,74 \pm 8,07$ (a)
Pois-Printemps	$77,96 \pm 9,78$ (a)
Vesce-Printemps	$48,74 \pm 11,75$ (a)
Témoin	$60,46 \pm 20,96$ (a)

Les résultats démontrent enfin que le poids moyen des choux commercialisables cultivés avec de la *Farine de plumes* avait tendance à être supérieur à celui des autres traitements, bien que les différences observées n'étaient pas significatives (Tableau 7; *ANOVA* : $P = 0,2285$).

Tableau 7. Poids moyen des choux commercialisables en fonction des traitements en sol léger, tel que mesuré à la récolte de la saison 2007. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative ($P > 0,05$).

Traitements	Poids moyen par chou commercialisable (g)
Farine de plumes	$347,5 \pm 51,75$ (a)
Pois-Automne	$130,49 \pm 10,04$ (a)
Vesce-Automne	$134,99 \pm 9,91$ (a)
Pois-Printemps	$240,5 \pm 109,7$ (a)
Vesce-Printemps	$187,19 \pm 82,21$ (a)
Témoin	$263,07 \pm 59,78$ (a)

Dosage des nitrates dans la sève des choux – 2007

Le dosage des nitrates dans la sève des choux a été effectué à deux reprises, soit le 25 juillet (alors que les choux étaient au stade 9) et le 10 août (alors que les choux étaient au stade 14).

Les résultats indiquent qu'il y a une différence significative au 25 juillet (Tableau 6; *ANOVA_{ranked averaged data}*; P = 0,0306). Cependant, le test de *Tukey* ne permet pas de distinguer des couples statistiquement différents. La tendance démontrent toutefois que la concentration la plus élevée est observée dans le traitement *Farine de plumes*. Au 10 août, il n'y a pas de différence entre les traitements (Tableau 8; *ANOVA* : P = 0,2454).

Tableau 8. Concentrations des nitrates dans les feuilles de choux au 25 juillet et 10 août 2007. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative (*Tukey*; P > 0,05).

Traitements	Concentration des nitrates (ppm)	
	25 juillet	10 août
Farine de plumes	1958,33 ± 430,45 (a)	2217,78 ± 242,14 (a)
Pois-Automne	853,33 ± 247,43 (a)	1397,33 ± 541,15 (a)
Vesce-Automne	906,67 ± 184,76 (a)	1418,67 ± 486,07 (a)
Pois-Printemps	816,67 ± 242,51 (a)	824,89 ± 338,90 (a)
Vesce-Printemps	1428,33 ± 180,56 (a)	2092,44 ± 546,83 (a)
Témoin	735,00 ± 310,42 (a)	909,33 ± 638,84 (a)

Analyses de sol 2006-2007

À l'automne 2006, une analyses a été effectuée avant l'enfouissement des engrains verts des traitements *Pois-Automne* et *Vesce-Automne*. Les conversions des mesures en Kg de N-NO₃ / ha a parfois donné des mesures négatives. Pour les analyses, les mesures négatives ont été transformées en « 0 ». Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence entre les traitements en ce qui concerne les taux de nitrate pour les deux types de sol (*ANOVA* : P > 0,05). Au printemps

2007, avant la culture des choux, les résultats (en sol léger seulement) indiquent qu'il n'y a pas de différence entre les traitements en ce qui concerne les taux de nitrate dans le sol (*ANOVA* : $P = 0,6592$). Après la culture des choux, l'arrivée de l'hiver a empêché la culture des céréales et les analyses de sol de fin de saison.

Section 2 – Série 1 en sol lourd, série 2 en sol léger

Rendement de la laitue – 2007

Autant en sol léger qu'en sol lourd, il n'y avait pas de différence entre les parcelles destinées aux différents traitements en ce qui a trait au nombre de plants récoltés par 20 pieds de rang (*ANOVA* : $P > 0,05$), au pourcentage de plants commercialisables (*ANOVA* : $P > 0,05$) et au poids moyen des plants commercialisables (Tableau 9; *ANOVA* : $P > 0,05$).

Tableau 9. Poids moyens des plants de laitue commercialisable cultivés en 2007. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative ($P > 0,05$).

Traitements	Sol léger	Sol lourd
Farine de plumes	$264,04 \pm 65,16$ (a)	$219,05 \pm 22,05$ (a)
Pois-Automne	$189,32 \pm 17,22$ (a)	$278,72 \pm 4,99$ (a)
Vesce-Automne	$228,56 \pm 14,74$ (a)	$260,37 \pm 35,78$ (a)
Pois-Printemps	$190,17 \pm 33,18$ (a)	
Vesce-Printemps	$236,40 \pm 65,64$ (a)	
Témoin	$223,26 \pm 31,11$ (a)	$252,66 \pm 24,23$ (a)

Biomasse des engrains verts enfouis à l'automne 2007

En sol léger, il n'y avait pas de différence de poids sec entre les engrains verts (Tableau 10; *ANOVA* : $P = 0,1692$). En sol lourd, la biomasse en poids sec de la vesce était supérieure à celle du pois (*ANOVA* : $P = 0,0179$).

Tableau 10. Poids sec des engrains verts mesuré en 2007 en sol léger et en sol lourd. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative ($P > 0,05$).

Type d'engrais vert	Poids sec (g)	
	Sol léger	Sol lourd
Pois	$15,35 \pm 0,71$ (a)	$11,03 \pm 0,46$ (b)
Vesce	$17,17 \pm 0,77$ (a)	$15,05 \pm 0,37$ (a)

Évaluation de l'apport en azote par les engrais verts - 2007

Le tableau 11 indique les résultats de l'analyse foliaire en ce qui a trait aux taux d'azote.

Tableau 11. Teneur en azote des différents engrais verts cultivés en 2007 en fonction du type de sol, exprimée en pourcentage du poids sec.

Type de sol	Type d'engrais vert	Azote (% du poids sec)
Léger	Pois	2,73
	Vesce	3,34
Lourd	Pois	2,81
	Vesce	3,23

Ces pourcentages ont été utilisés pour estimer l'apport potentiel en azote des engrais verts de la même façon qu'au cours du volet précédent (Tableau 12). Une analyse statistique de ces estimations indiquent qu'il n'y a pas de différence entre les traitements pour les deux types de sol (ANOVA : $P > 0,05$).

Tableau 12. Estimation de l'apport potentiel par les différents engrais verts cultivés en 2007 en fonction du type de sol

Type de sol	Engrais vert	Kg N / ha
Léger	Pois	110,71 ± 4,30
	Vesce	102,58 ± 6,32
Lourd	Pois	137,87 ± 17,22
	Vesce	137,51 ± 17,11

Biomasse des engrais verts enfouis au printemps 2008

Suite à l'hiver 2007, les engrais verts n'ont pas repoussé au printemps 2008. Les analyses de biomasse n'ont donc pas pu être effectuées pour les engrais verts des traitements *Pois-Printemps* et *Vesce-Printemps*.

Rendement du brocoli en sol léger 2008 – Hauteur des plants

En sol léger, la hauteur des plants a été comparée entre les traitements le 30 juin, le 23 juillet et le 4 août (Fig.2). Au 30 juin, aucune différence n'a été observée entre les traitements (ANOVA : P = 0,6333).

Au 23 juillet la hauteur des plants dans le traitement *Farine de plumes* était supérieure à celle de tous les autres traitements, mais cette différence n'était pas significative (ANOVA : P = 0,0715).

Au 4 août (ANOVA : P = 0,0306), les plants du traitement *Farine de plumes* étaient significativement plus grands que ceux du traitement *Témoin*. Il n'y avait pas de différence significative entre les autres traitements.

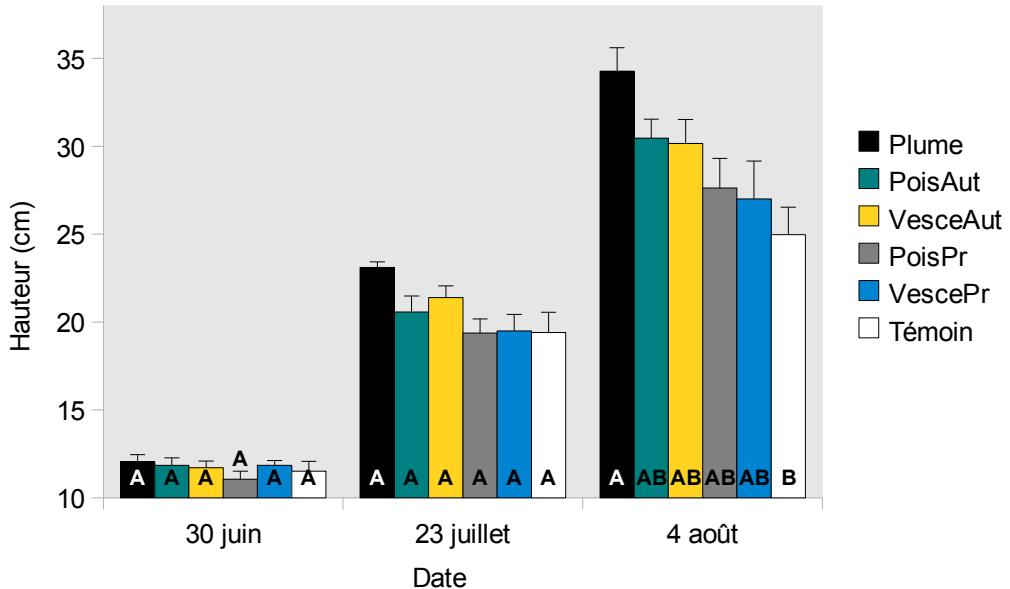


Figure 2. Hauteur des brocolis en sol léger en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, PoisPr (●) = Engrais vert de pois enfoui au printemps, VescePr (●) = Engrais vert de vesce enfoui au printemps, Témoin (○).

Rendement du brocoli en sol léger 2008 - Diamètre des têtes

Le diamètre des têtes a été comparé entre les traitements le 28 juillet et le 4 août (Fig.3). Le 28 juillet, les résultats indiquent une différence significative (ANOVA : $P = 0,0371$), mais le test de Tukey ne trouve pas de couple statistiquement différents. Les tendances indiquent que le diamètre de la tête des plants des traitements *Farine de plumes* et *Pois-Automne* semblait supérieur à celui des plants des traitements *Témoin*, *Vesce-Printemps* et *Pois-Printemps*.

Le 4 août (ANOVA : $P = 0,0082$), le diamètre des tête était significativement supérieur pour le traitement *Farine de plumes* que dans les traitements *Vesce-Printemps*, *Pois-Printemps* et *Témoin*.

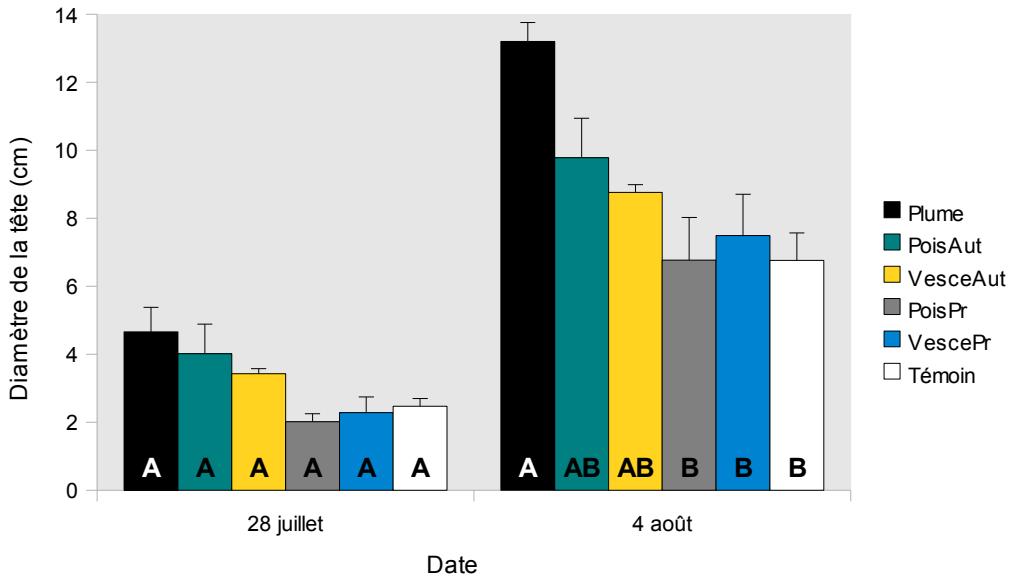


Figure 3. Diamètre des têtes de brocolis en sol léger en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, PoisPr (●) = Engrais vert de pois enfoui au printemps, VescePr (●) = Engrais vert de vesce enfoui au printemps, Témoin (○).

Rendement du brocoli en sol léger 2008 – Stades phénologiques

Les stades BBCH ont été évalués du 16 juin au 19 août. À titre indicatif, le tableau 13 présente les stades BBCH moyen au 16 juin, 23 juillet et 11 août.

Tableau 13. Stade BBCH moyen au 16 juin, 23 juillet et 19 août 2008 en fonction des différentes traitements.

Traitements	16 juin	23 juillet	11 août
Farine de plumes	$14,23 \pm 0,09$	$29,10 \pm 1,70$	$47,43 \pm 0,44$
Pois-Automne	$13,70 \pm 0,17$	$22,23 \pm 0,64$	$48,23 \pm 0,29$
Vesce-Autome	$14,00 \pm 0,30$	$21,43 \pm 0,50$	$48,23 \pm 0,41$
Pois-Printemps	$13,73 \pm 0,26$	$21,73 \pm 1,16$	$48,53 \pm 0,18$
Vesce-Printemps	$13,60 \pm 0,06$	$21,20 \pm 0,45$	$47,93 \pm 0,19$
Témoin	$14,13 \pm 0,34$	$20,77 \pm 0,09$	$46,43 \pm 1,62$

Rendement du brocoli en sol léger 2008 – Données de récolte

La récolte des brocolis a été effectuée du 5 au 19 août 2008. À chaque date de récolte, les brocolis ayant un diamètre de tête de 10 cm ou plus ont été récoltés. Les analyses à la récolte ont été effectuées sur ces brocolis (les données des différentes dates de récolte ont été mises en commun).

Le poids frais des brocolis récoltés dans les parcelles *Farine de plumes* était significativement supérieur à celui des brocoli récoltés dans tous les autres traitements (Fig.4; ANOVA : $P = 0,0052$). Le poids des brocolis ne diffère pas entre les autres traitements. La moyenne pour le traitement *Témoin* démontrait néanmoins une tendance à être inférieure que pour les autres traitements.

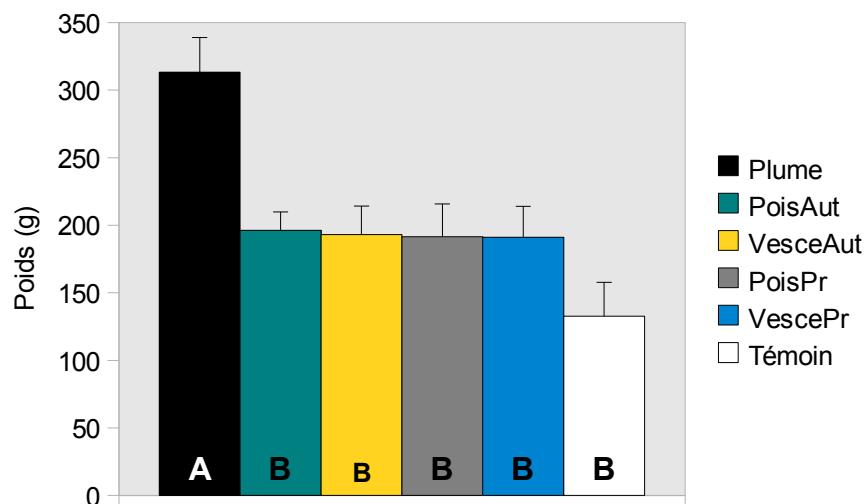


Figure 4. Poids des brocolis en sol léger en fonction des traitements tel que mesurée lors de la récolte de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, PoisPr (●) = Engrais vert de pois enfoui au printemps, VescePr (●) = Engrais vert de vesce enfoui au printemps, Témoin (□).

Les têtes des brocolis récoltées dans les parcelles *Farine de plumes* étaient significativement plus grosses que celles des brocolis des traitements *Pois-Automne*, *Pois-Printemps* et *Témoin* (Fig.5; ANOVA : P = 0,0095).

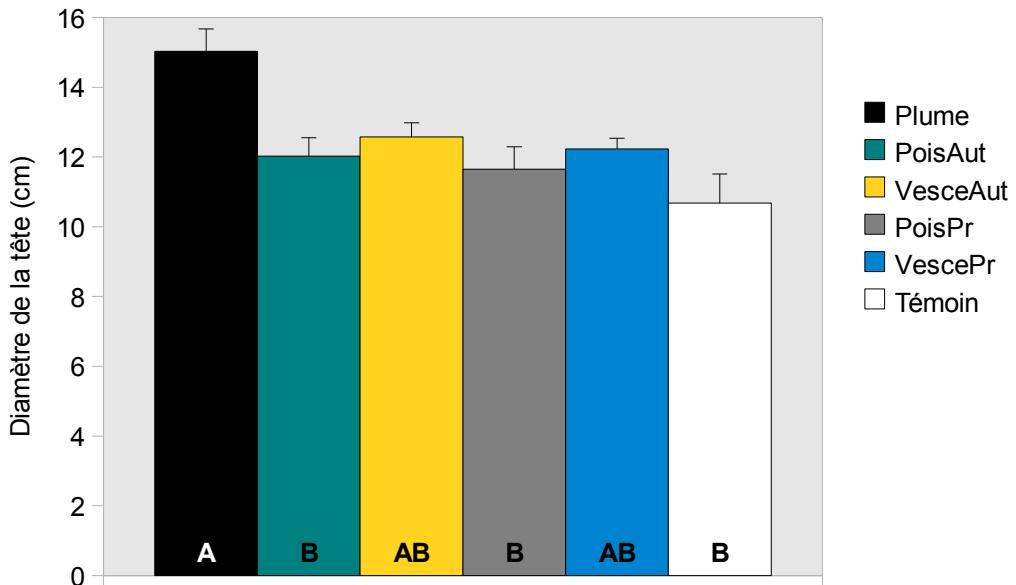


Figure 5. Diamètre des têtes de brocolis en sol léger en fonction des traitements tel que mesurée lors de la récolte de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; P > 0,05). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, PoisPr (●) = Engrais vert de pois enfoui au printemps, VescePr (●) = Engrais vert de vesce enfoui au printemps, Témoin (◻).

La distribution des récoltes démontrent que la majorité des brocolis ont été récoltés plus tôt dans le traitement *Farine de plumes* que dans les autres traitements (Fig.6). Au 15 août, 89,09% des brocolis avaient été récoltés dans le traitement *Farine de plumes*, alors que de 50,00% à 68,00% des brocolis avaient été récoltés dans les autres traitements (ces pourcentages sont calculés en prenant le plant, et non la parcelle, comme unité expérimentale).

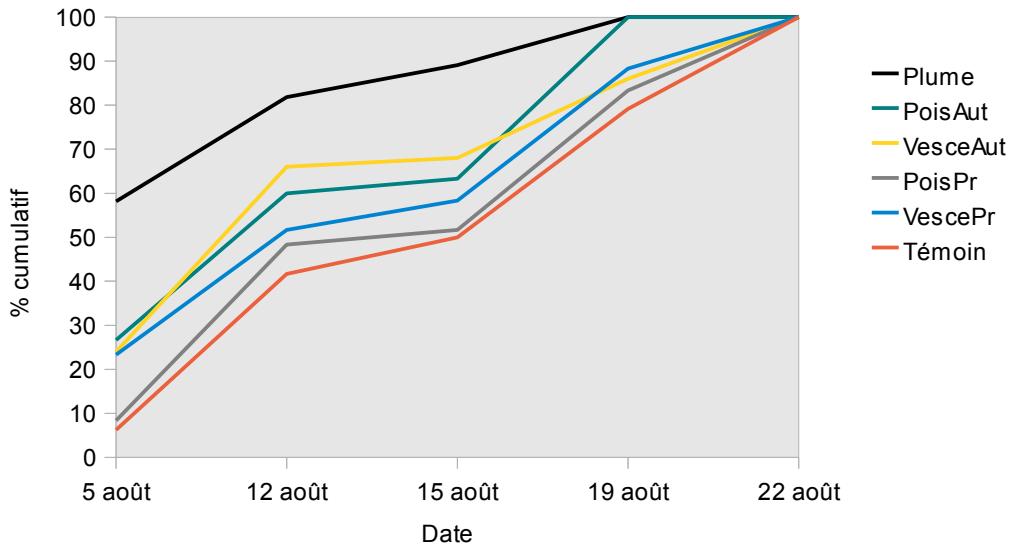


Figure 6. Distribution dans le temps du pourcentage du total des récoltes de 2008 en sol léger en fonction des traitements. Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, PoisPr (●) = Engrais vert de pois enfoui au printemps, VescePr (●) = Engrais vert de vesce enfoui au printemps, Témoin (●).

Rendement du brocoli en sol lourd 2008 – Hauteur des plants

En sol lourd, la hauteur des plants a été comparée entre les traitements le 30 juin, le 23 juillet et le 11 août (Fig.7). Au 30 juin, au 23 juillet et au 11 août, il n'y avait pas de différence significative entre les traitements, mais la moyenne était supérieure pour le traitement *Farine de plumes* ($ANOVA_{30juin}$; $P = 0,0697$; $ANOVA_{23juillet}$; $P = 0,0682$; $ANOVA_{11août}$; $P = 0,2241$).

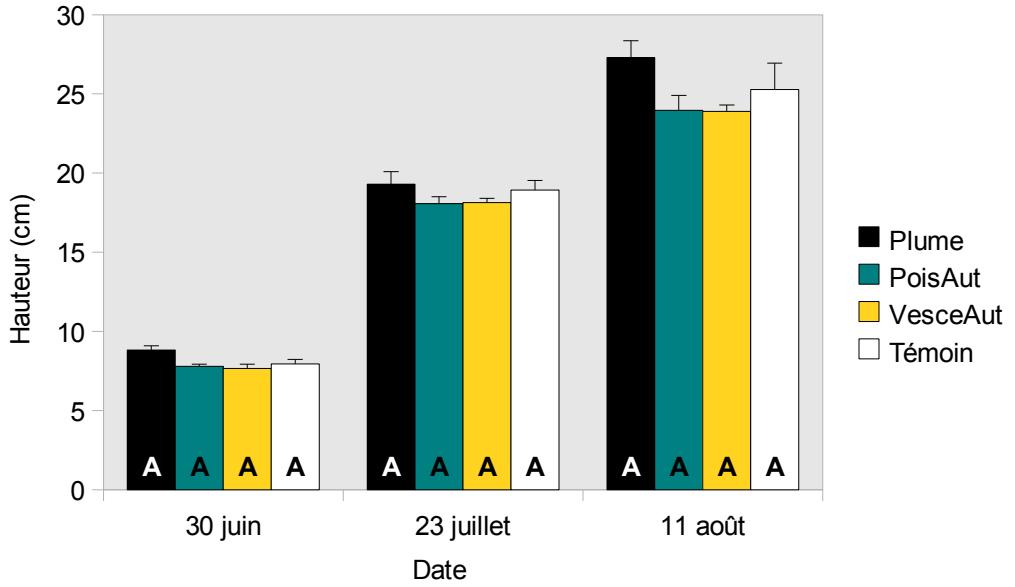


Figure 7. Hauteur des brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (◻).

Rendement du brocoli en sol lourd 2008 - Diamètre des têtes

En sol lourd, le diamètre des têtes a été évalué le 11 août (Fig.8). Les résultats indiquent le 11 août les têtes des plants du traitement *Farine de plumes* étaient significativement plus grosses que celles des plants des traitements *Vesce-Automne* et *Pois-Automne* (ANOVA : $P = 0,0211$).

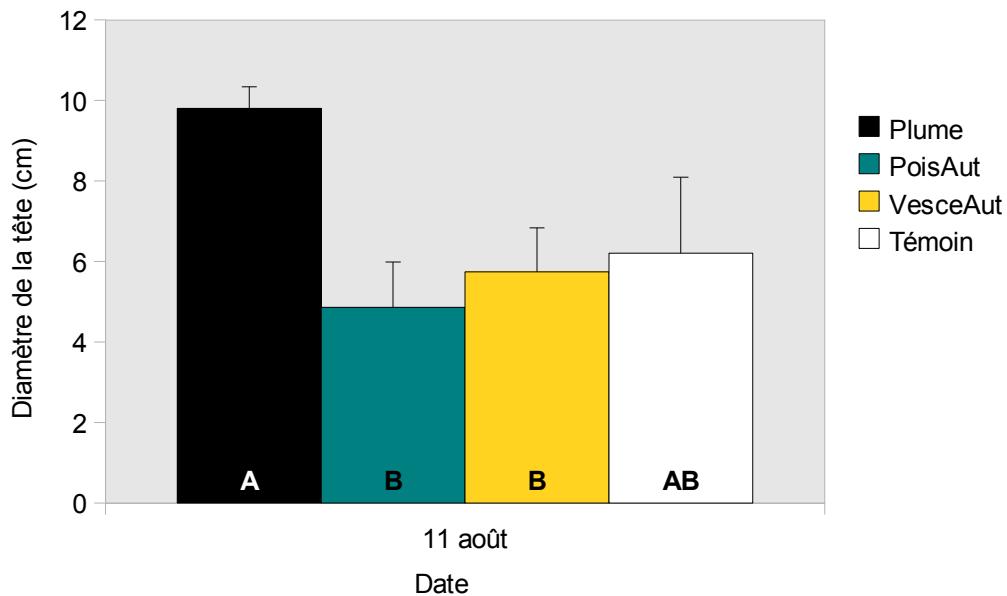


Figure 8. Diamètre des têtes de brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey-type test; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (□).

Rendement du brocoli en sol lourd 2008 – Stades phénologiques

Les stades BBCH ont été évalués du 25 juin au 20 août. À titre indicatif, le tableau 14 présente les stades BBCH moyen au 25 juin, 23 juillet et 20 août.

Tableau 14. Stade BBCH moyen au 16 juin, 23 juillet et 19 août 2008 en fonction des différentes traitements.

Traitement	25 juin	23 juillet	20 août
Farine de plumes	$15,23 \pm 0,17$	$21,53 \pm 0,67$	$48,43 \pm 0,43$
Pois-Automne	$14,83 \pm 0,18$	$19,93 \pm 0,38$	$47,63 \pm 0,66$
Vesce-Automne	$15,07 \pm 0,18$	$20,23 \pm 0,17$	$47,77 \pm 0,47$
Témoin	$15,23 \pm 0,03$	$20,23 \pm 0,30$	$48,17 \pm 0,24$

Rendement du brocoli en sol lourd 2008 – Données de récolte

En sol lourd, la récolte des brocolis a été effectuée du 12 au 25 août 2008. À chaque date de récolte, les brocolis ayant un diamètre de tête de 10 cm ou plus ont été récoltés. Les analyses à la récolte ont été effectuées sur ces brocoli (les données des différentes dates de récolte ont été mises en commun).

Le résultats indiquent qu'il n'y avait pas de différence significative dans le poids frais des brocolis récoltés dans les différente parcelles, même si la moyenne était supérieur pour le traitement *Farine de plumes* (Fig.9; ANOVA : P = 0,1067).

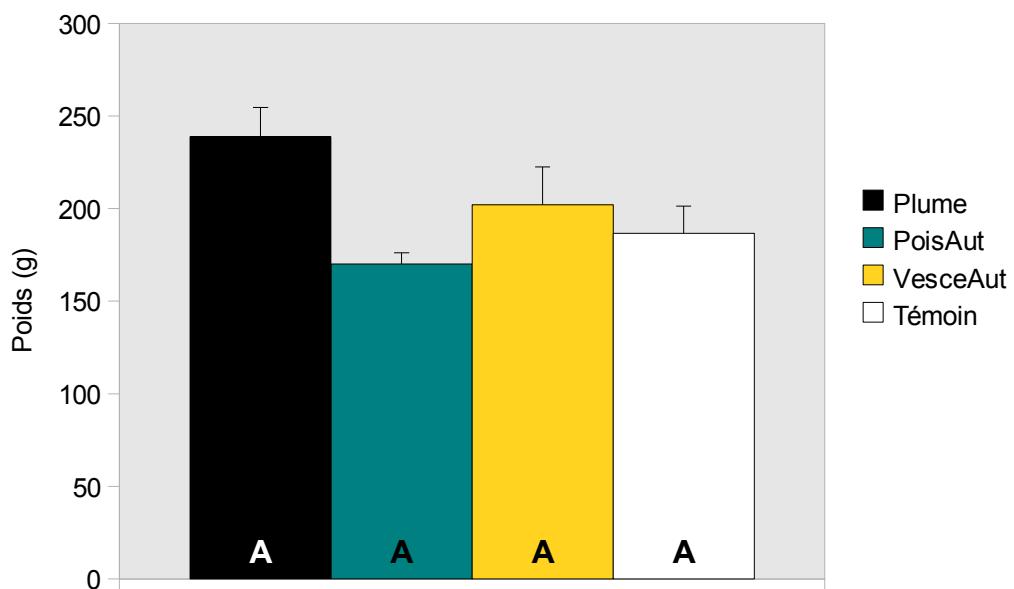


Figure 9. Poids des brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée lors de la récolte de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

Les têtes de brocolis récoltées dans les parcelles *Farine de plumes* étaient significativement plus grosses que celles des brocolis du traitement *Pois-Automne* (Fig.10; ANOVA : P = 0,0439).

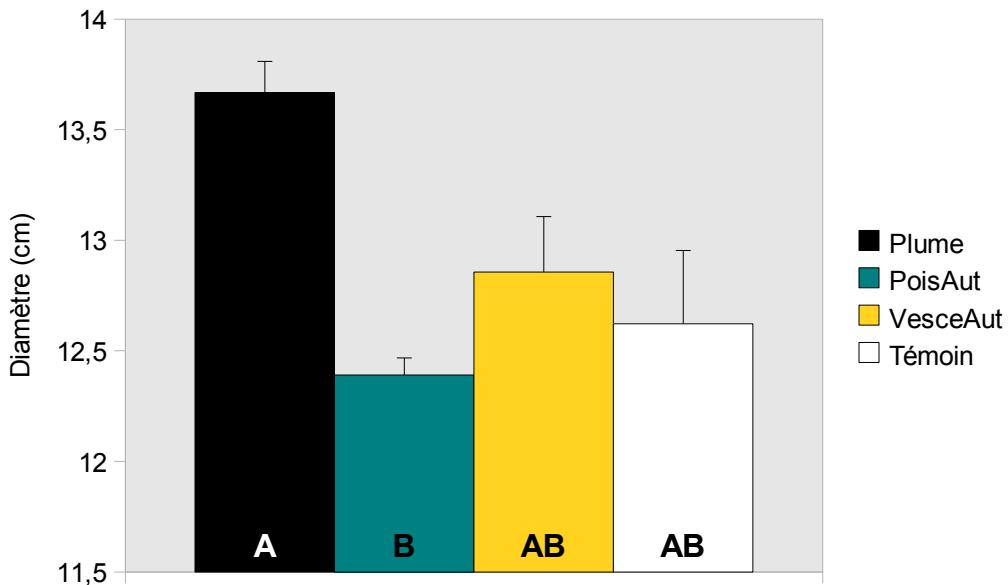


Figure 10. Diamètre des têtes de brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée lors de la récolte de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; P > 0,05). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

La distribution des récoltes démontrent que la majorité des brocolis ont été récoltés plus tôt dans le traitement *Farine de plumes* que dans les autres traitements (Fig.11). Au 15 août, 70,59% des brocolis avaient été récoltés dans le traitement *Farine de plumes*, alors que de 13,33% à 22,73% des brocolis avaient été récoltés dans les autres traitements (ces pourcentages sont calculés en prenant le plant, et non la parcelle, comme unité expérimentale).

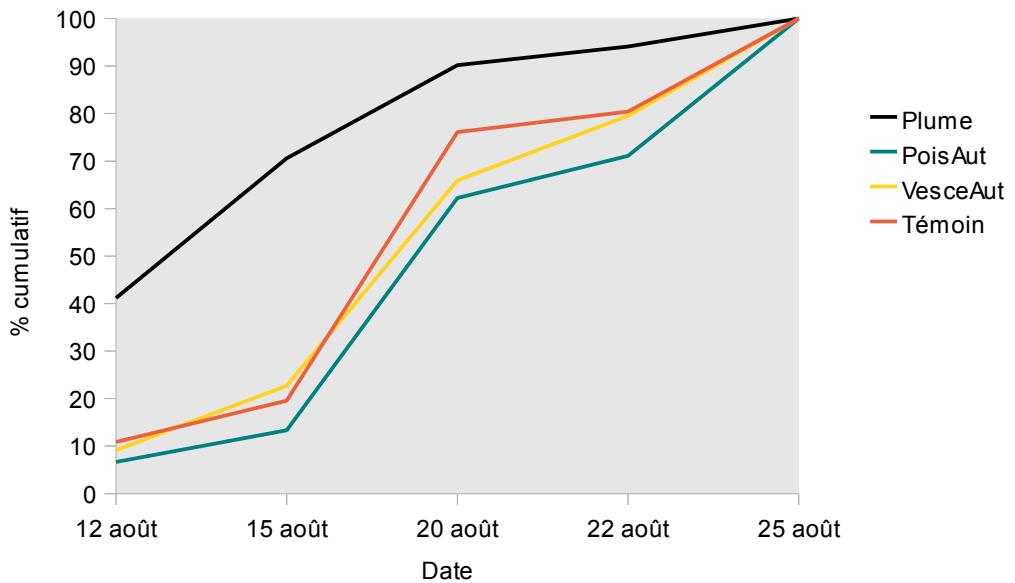


Figure 11. Distribution dans le temps du pourcentage du total des récoltes de 2008 en sol lourd en fonction des traitements. Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (●).

Dosage des nitrates dans la sève des brocolis – 2008

En 2008, le dosage des nitrates dans la sève des brocolis n'a été effectué qu'à une seule reprise, soit le 16 juillet (alors que les brocolis étaient aux stades 16-21). Aussi, en 2008, les lectures étalons utilisées pour évaluer le dosage des nitrates en sol lourd n'ont pas été prises. En conséquence, la moyenne des lectures étalons de 2009 a été utilisée.

En sol lourd, le taux de nitrate était significativement plus élevé dans les feuilles des brocolis du traitement *Farine de plumes* que dans les feuilles des brocolis provenant des autres traitements (Tableau 15; *ANOVA* : $P = 0,0005$). En sol léger, il n'y avait pas de différence entre les traitements (*ANOVA*; $P = 0,0835$).

Tableau 15. Concentrations des nitrates dans les feuilles de brocolis au 16 juillet 2008. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative (Tukey; $P > 0,05$).

Traitement	Concentration des nitrates (ppm)	
	Sol léger	Sol lourd
Farine de plumes	$210,53 \pm 95,42$ (a)	$357,45 \pm 42,25$ (a)
Pois-Automne	$97,22 \pm 20,51$ (a)	$223,49 \pm 22,19$ (b)
Vesce-Automne	$64,33 \pm 12,03$ (a)	$215,74 \pm 23,20$ (b)
Pois-Printemps	$83,33 \pm 19,78$ (a)	
Vesce-Printemps	$253,65 \pm 83,85$ (a)	
Témoin	$40,21 \pm 1,46$ (a)	$195,99 \pm 18,13$ (b)

Rendement des céréales 2008

En sol léger, le poids frais de l'orge a été évalué le 17 octobre. Les résultats indiquent qu'il n'y avait pas de différence entre les traitements (Fig.12; *ANOVA* : $P = 0,2121$).

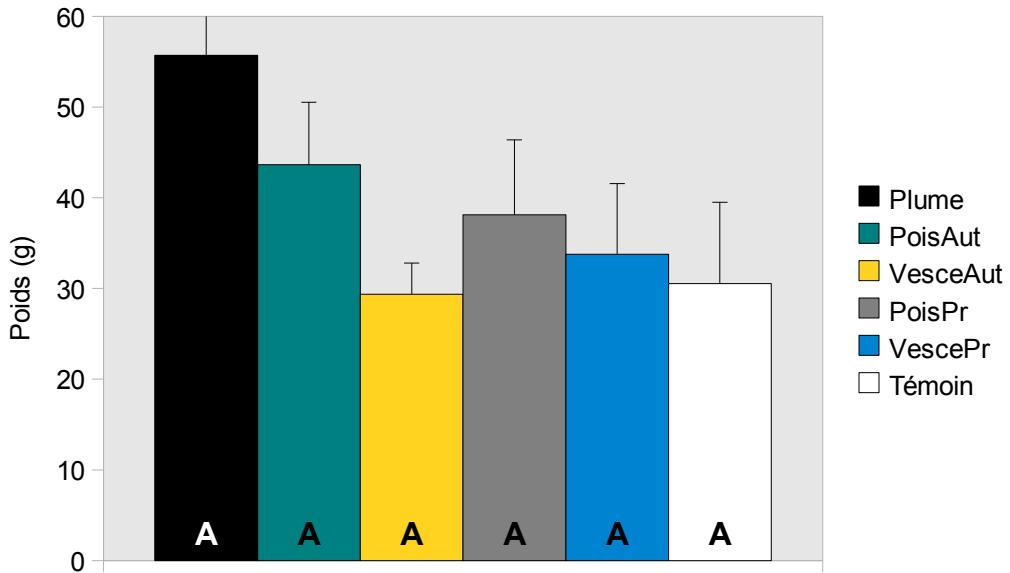


Figure 12. Poids frais de l'orge en sol léger en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, PoisPr (●) = Engrais vert de pois enfoui au printemps, VescePr (●) = Engrais vert de vesce enfoui au printemps, Témoin (□).

En sol lourd, le poids frais de l'orge a été évalué le 15 octobre. Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significatives entre les traitements, malgré la moyenne supérieur observé dans le traitement *Farines de plumes* (Fig.13; ANOVA : $P = 0,0947$).

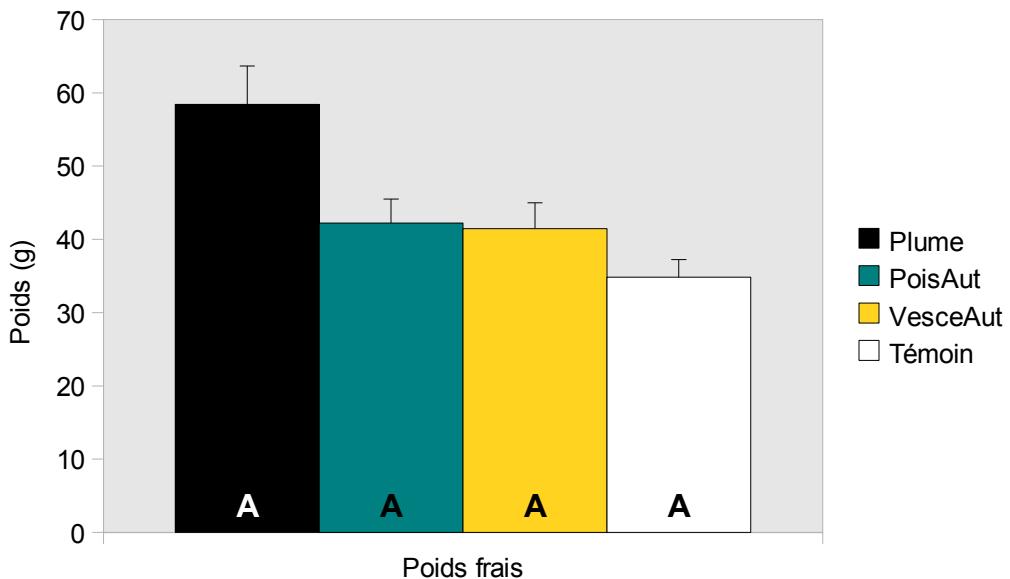


Figure 13. Poids frais de l'orge en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2008. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (□).

Analyses de sol 2007-2008

À l'automne 2007 (au moment d'enfouir les engrains verts des traitements *Pois-Automne* et *Vesce-Automne*), les analyses ne démontrent pas de différence statistique entre les traitements en sol léger (Tableau 15: *Welch-ANOVA* : $P = 0,1948$), malgré une moyenne supérieur dans le traitement *Farine de plumes*. En sol lourd, les analyses de sol indiquent toutefois une différence entre les traitements en ce qui concerne les taux de nitrate dans le sol (*ANOVA* : $P < 0,0001$). Le taux de nitrate était significativement plus élevé dans le sol du traitement *Farine de plumes* que dans celui de tous les autres traitements (*Tukey* : $P < 0,05$). Aussi, le taux de nitrate est significativement plus élevé dans le traitement *Témoin* quand dans les traitements *Vesce-Automne* et *Pois-Automne* (*Tukey* : $P < 0,05$).

Tableau 15. Taux d'azote dans le sol à l'automne 2007 (avant l'enfouissement des engrais verts) en fonction des traitements et du type de sol. Le taux d'azote est exprimé en Kg de N-NO₃ / ha. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; P > 0,05).

Traitements	Kg N-NO₃ / ha	
	Sol léger	Sol lourd
Plume	12,75 ± 5,82 (a)	64,43 ± 5,26 (a)
Pois-Automne	4,34 ± 2,66 (a)	13,79 ± 1,96 (c)
Vesce-Automne	1,41 ± 1,61 (a)	8,61 ± 1,15 (c)
Pois-Printemps	3,63 ± 1,87 (a)	
Vesce-Printemps	- 0,24 ± 2,28 (a)	
Témoin	2,54 ± 0,86 (a)	41,79 ± 3,47 (b)

Au printemps 2008 (Tableau 16), les analyses de sol ne démontrent plus de différences significatives entre les traitements, que ce soit en sol léger (*ANOVA* : P = 0,1024) ou en sol lourd (*ANOVA* : P = 0,3695).

Tableau 16. Taux d'azote dans le sol au printemps 2008 (avant la culture des brocolis) en fonction des traitements et du type de sol. Le taux d'azote est exprimé en Kg de N-NO₃ / ha. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; P > 0,05).

Traitements	Kg N-NO₃ / ha	
	Sol léger	Sol lourd
Plume	10,04 ± 4,19 (a)	8,28 ± 0,35 (a)
Pois-Automne	22,26 ± 5,09 (a)	8,7 ± 2,26 (a)
Vesce-Automne	14,77 ± 2,52 (a)	12,13 ± 2,07 (a)
Pois-Printemps	9,44 ± 2,81 (a)	
Vesce-Printemps	9,34 ± 3,69 (a)	
Témoin	7,67 ± 4,56 (a)	11,10 ± 0,64 (a)

Enfin, la dernière analyse de sol, effectuée lors de la culture de céréale, indique également qu'il n'y a pas de différence entre les traitements en sol léger (Tableau 17: ANOVA : $P = 0,4801$). En sol lourd, le test statistique indique une différence significative (*Welch-ANOVA* : $P = 0,0201$). Par contre, le test de *Tukey* ne trouve pas de couple significativement différent, malgré une moyenne supérieur dans le traitement *Farine de plumes*.

Tableau 17. Taux d'azote dans le sol à l'automne 2008 (au moment de la culture de céréales) en fonction des traitements et du type de sol. Le taux d'azote est exprimé en Kg de N-NO₃ / ha. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$).

	Kg N-NO ₃ / ha	
Traitements	Sol léger	Sol lourd
Plume	75,91 ± 20,09 (a)	30,41 ± 0,91 (a)
Pois-Automne	39,98 ± 4,33 (a)	17,99 ± 5,18 (a)
Vesce-Automne	45,69 ± 10,38 (a)	19,12 ± 2,49 (a)
Pois-Printemps	66,56 ± 29,58 (a)	
Vesce-Printemps	45,69 ± 10,38 (a)	
Témoin	28,02 ± 6,33 (a)	15,87 ± 3,45 (a)

Section 3 – Série 2 en sol lourd

Rendement de la laitue – 2008

En 2008, le rendement de la laitue a été évalué en terme de hauteur des plants et de nombre de feuilles. La hauteur des plants a été évaluée les 30 juin, 8 juillet et 14 juillet. Pour chacune de ces dates, il n'y avait pas de différence significative entre les parcelles destinées à recevoir les différents traitements (ANOVA_{30 juin} : $P = 0,9275$, ANOVA_{8 juillet} : $P = 0,4650$, ANOVA_{14 juillet} : $P = 0,7215$). Le nombre de feuilles a été comparé entre les parcelles destinées aux différents traitement le 30 juin. Les résultats indiquent qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les plants des futurs traitement (ANOVA; $P = 0,5734$).

En ce qui concerne les stades phénologiques, toutes les laitues se trouvant dans les parcelles destinées à recevoir le traitement *Vesce-Automne* ont atteint le stade 49 ou 51 au 14 juillet, alors que de 16,67 à 20 % des plants se trouvaient encore au stade 48 dans les autres parcelles (ces pourcentages sont calculés en prenant le plant, et non la parcelle, comme unité expérimentale).

Le nombre de plants récoltés par section de récolte était de 20 pour toutes les parcelles et la proportion de plants commercialisables variait de 90 à 100%. Les résultats de récolte indiquent que le poids des laitues commercialisables avait tendance à être plus élevés dans les parcelles destinées à recevoir le traitement *Vesce-Automne* (Tableau 18), mais qu'il n'y avait pas de différence entre les traitements (*ANOVA* : $P = 0,5854$).

Tableau 18. Poids moyen des laitues commercialisables de la série 2 en sol lourd (2008). Une lettre semblable indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$).

Traitements	Poids / laitue commercialisable (g)
Plume	596,48 ± 30,45 (a)
Pois	610,83 ± 22,19 (a)
Vesce	641,71 ± 6,55 (a)
Témoin	607,19 ± 6,55 (a)

Biomasse des engrains verts enfouis à l'automne 2008

À l'automne 2008, l'analyse de la biomasse des engrains verts a été effectuée le 22 octobre. Une semaine avant cette analyse (le 15 octobre), le pois avait atteint le stade phénologique 78-80, alors que la vesce était au stade phénologique 21-25.

Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significative pour le poids frais (Tableau 19: *ANOVA* : $P = 0,0565$) et le poids sec (*ANOVA* : $P = 0,2663$), malgré une moyenne supérieure pour le pois.

Tableau 19. Biomasse des engrains verts destinés à être enfouis à l'automne, tel que mesuré le 22 octobre 2008. Une lettre semblable indique l'absence de différence significative entre les traitements ($P > 0,05$).

Engrais vert	Poids frais (g)	Poids sec (g)
Pois	$1162,49 \pm 109,40$ (a)	$95,22 \pm 5,36$ (a)
Vesce	$696,46 \pm 49,65$ (a)	$84,09 \pm 3,10$ (a)

Évaluation de l'apport en azote par les engrais verts - 2008

Le tableau 20 indique les résultats de l'analyse foliaire en ce qui a trait aux taux d'azote.

Tableau 20. Teneur en azote des différents engrais verts cultivé en 2008 en fonction du type de sol, exprimée en pourcentage du poids sec.

Type d'engrais vert	Azote (% du poids sec)
Pois	3,01
Vesce	3,69

Ces pourcentages ont été utilisés pour estimer l'apport potentiel en azote des engrais verts de la même façon qu'au cours du volet précédent (Tableau 21). Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significative, malgré une moyenne supérieure pour le pois (*ANOVA* : $P = 0,0931$).

Tableau 21. Estimation de l'apport potentiel par les différents engrais verts cultivés en 2008 en fonction du type de sol

Engrais vert	Kg N / ha
Pois	268,62 ± 28,03
Vesce	177,59 ± 15,60

Rendement du brocoli en sol lourd 2009 – Hauteur des plants

La hauteur des plants a été comparée entre les traitements du 23 juin au 30 juillet (Fig.14). Au 23 juin, il n'y avait pas de différence entre les traitements, mais les plants du traitement *Farine de plumes* avaient tendance à être plus petits (*ANOVA* : $P = 0,0610$).

Au 14 juillet, il n'y avait toujours pas de différence entre les traitements (*ANOVA* : $P = 0,1225$). Au 21 juillet, les plants du traitements *Farine de plumes* étaient significativement plus grands que ceux des traitements *Témoin* et *Vesce-Automne* (*ANOVA* : $P = 0,0290$).

Enfin, au 30 juillet, les résultats indiquent que les différences observées sont tout juste non significative (*ANOVA* : $P = 0,0555$). Les plants du traitement du traitement *Farine de plumes* avaient tendance à être plus grands, particulièrement par rapport au plants *Témoin*.

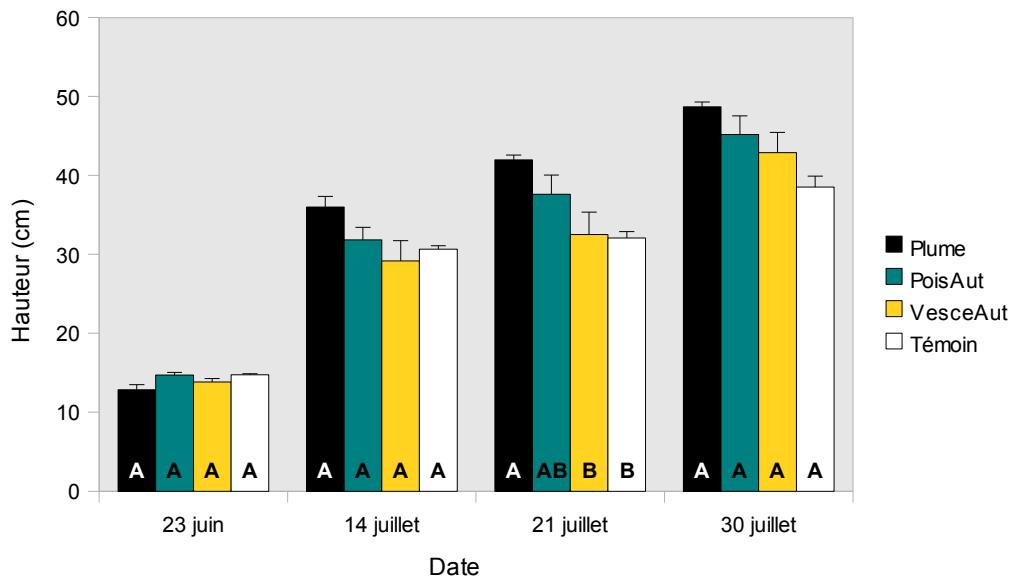


Figure 14. Hauteur des brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2009. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (*Tukey*; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

Rendement du brocoli en sol lourd 2009 - Diamètre des têtes

Le diamètre des têtes a été comparé entre les traitements le 30 juillet. Les résultats indiquent qu'il n'y avait pas de différence entre les traitements en ce qui concerne le diamètre des têtes (Fig.15: *ANOVA* : $P = 0,2359$).

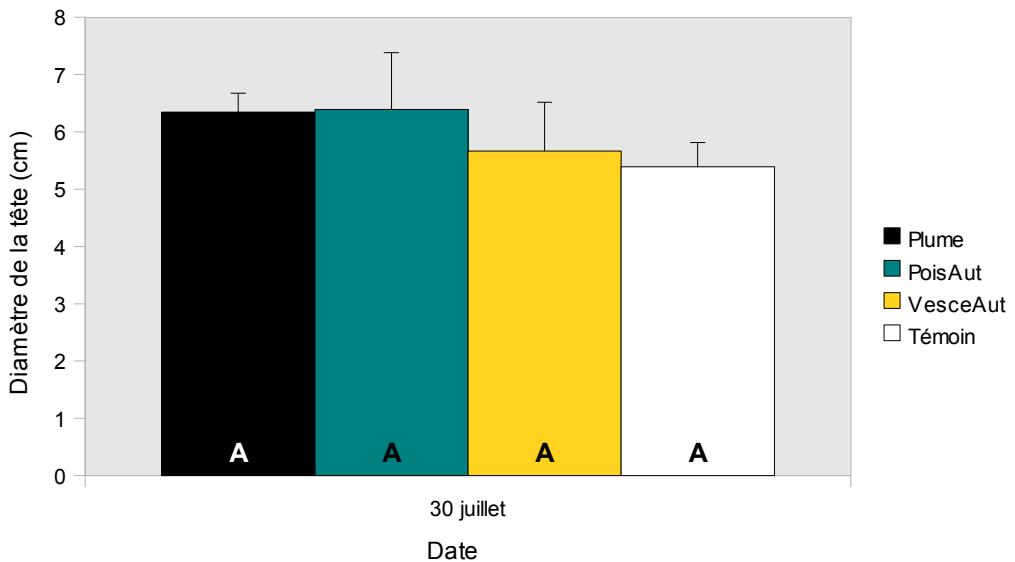


Figure 15. Diamètre des têtes de brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2009. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (□).

Rendement du brocoli en sol lourd 2009 – Données de récolte

La récolte des brocolis a été effectuée du 31 juillet au 7 août 2009. À chaque date de récolte, les brocolis ayant un diamètre de tête de 9-10 cm ou plus ont été récoltés. Au total, 104 brocoli ont été récoltés dans le traitement *Farine de plumes*, 84 brocoli ont été récoltés dans le traitement *Pois-Automne*, 77 brocoli ont été récoltés dans le traitement *Vesce-Automne* et 79 brocoli ont été récoltés dans le traitement *Témoin*. Les moyennes par parcelles ont été effectuées sur l'ensemble de ces brocoli (toutes dates de récolte confondues).

Le poids frais des brocolis récoltés dans les parcelles *Farine de plumes* était significativement supérieur à celui des brocoli récoltés dans tous les autres traitements (Fig.16; *Welch-ANOVA* : $P = 0,0012$).

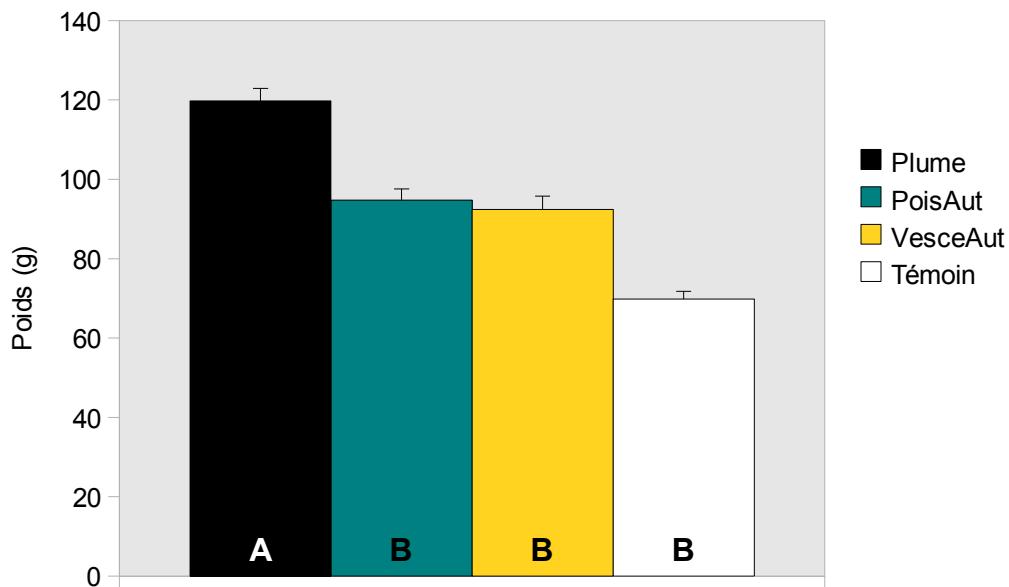


Figure 16. Poids des brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée lors de la récolte de la saison 2009. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

Les têtes de brocolis récoltées dans les parcelles *Farine de plumes* étaient significativement plus grosses que celles des brocolis du traitement *Témoin* (Fig.17; ANOVA : $P = 0,0421$). Il n'y avait pas de différence significative entre les autres traitements.

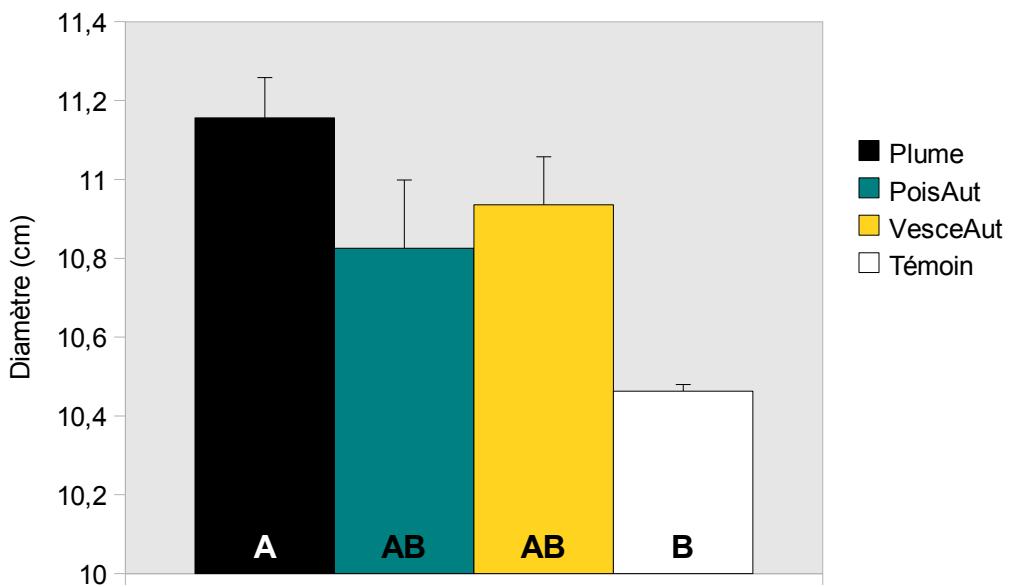


Figure 17. Diamètre des têtes de brocolis en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée lors de la récolte de la saison 2009. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (□).

La distribution des récoltes (Fig.18) démontrent que la majorité des brocolis ont été récoltés plus tôt dans le traitement *Farine de plumes* que dans les autres traitements. Au 3 août, 76,92% des brocolis avaient été récoltés dans le traitement *Farine de plumes*, alors que de 56.963% à 64.94% des brocolis avaient été récoltés dans les autres traitements (ces pourcentages sont calculés en prenant le plant, et non la parcelle, comme unité expérimentale).

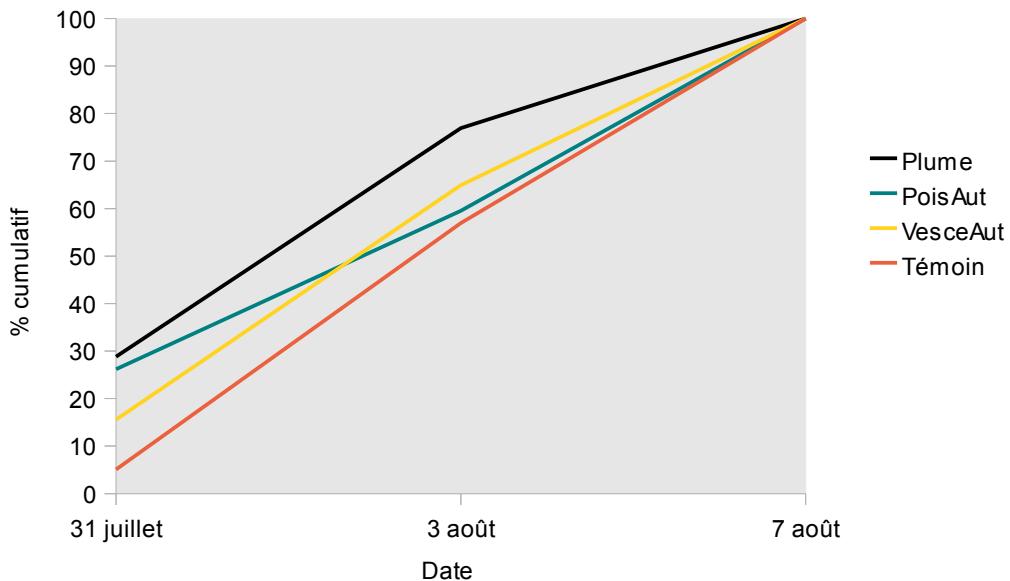


Figure 18. Distribution dans le temps du pourcentage du total des récoltes de 2009 en sol lourd en fonction des traitements. Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (●).

Biomasse des brocoli 2009

La biomasse a été évaluée au 6 août 2009 sur 4 plants représentatifs par parcelle. En ce qui concerne les plants entiers, les résultats indiquent que les poids frais (Fig.19; *Welch-ANOVA* : $P = 0,0012$) et sec (Fig.20; *Welch-ANOVA* : $P = 0,0010$) et des plants du traitement *Farine de plumes* sont supérieurs à ceux des autres traitements.

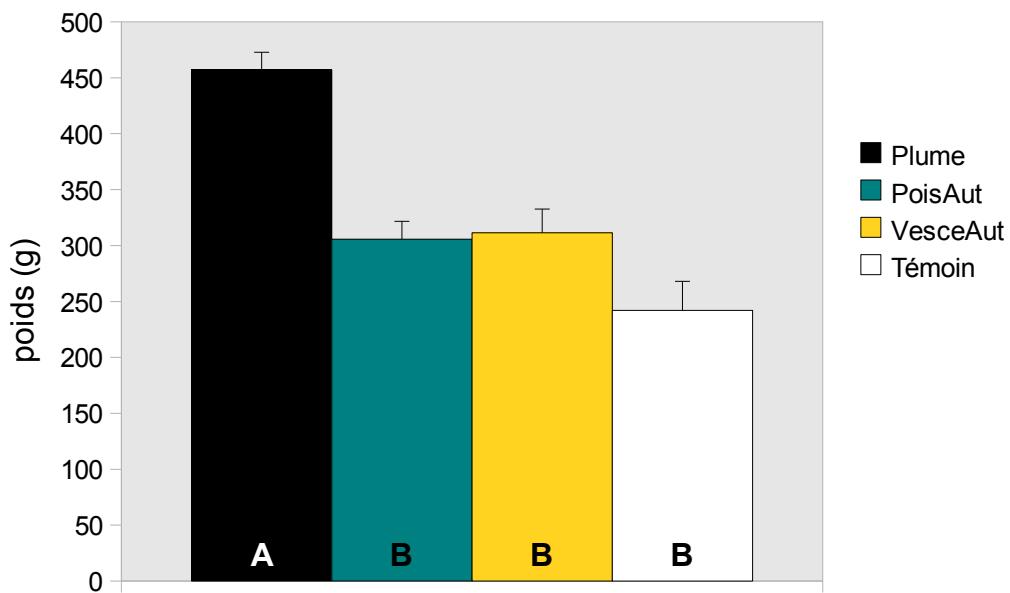


Figure 19. Biomasse en poids frais des plants de brocoli représentatifs sélectionné le 6 août 2009 en sol lourd en fonction des traitements. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

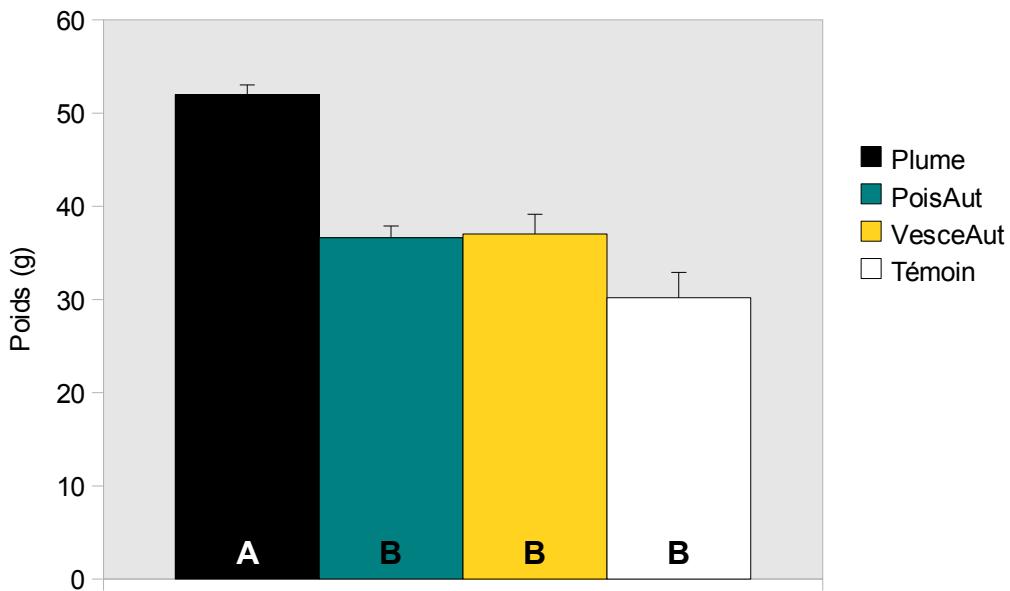


Figure 20. Biomasse en poids sec des plants de brocoli représentatifs sélectionné le 6 août 2009 en sol lourd en fonction des traitements. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (□).

En ce qui concerne les têtes, les résultats de poids frais (Fig.21; *Welch-ANOVA* : $P = 0,0039$) et des poids secs (Fig.22; *Welch-ANOVA* : $P = 0,0046$) indiquent des différences significatives. Dans les deux cas, la biomasse de tête des plants du traitement *Farine de plumes* est significativement supérieure à celle des plants du traitement *Témoin*.

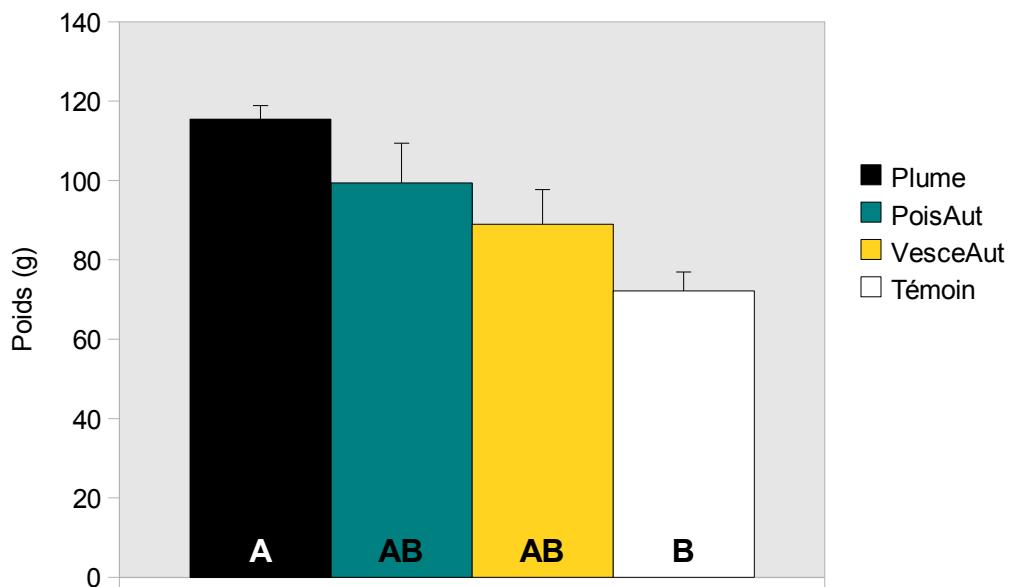


Figure 21. Biomasse en poids frais des têtes de brocoli des plants représentatifs sélectionnés le 6 août 2009 en sol lourd en fonction des traitements. Les poids indiqués comprennent le poids des sacs dans lesquels les têtes ont été pesées. Une lettre semblable en bas des histogrammes indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

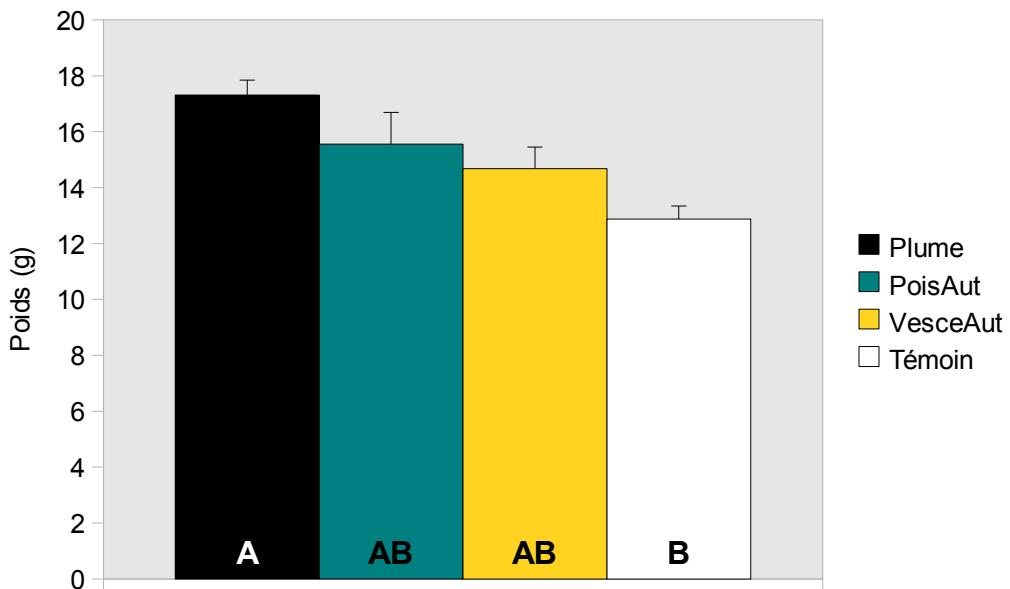


Figure 22. Biomasse en poids sec des têtes de brocoli des plants représentatifs sélectionnés le 6 août 2009 en sol lourd en fonction des traitements. Les poids indiqués comprennent le poids des sacs dans lesquels les têtes ont été pesées. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = Engrais vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = Engrais vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

Dosage des nitrates dans la sève des brocolis – 2009

En 2009, le dosage des nitrates dans la sève des brocolis a été effectué le 20 juillet (alors que les brocolis étaient au stade 19) et le 3 août (alors que les brocolis étaient au stade 43).

Le 20 juillet, le taux de nitrate n'était pas significativement différent entre les traitements, mais de peu (Tableau 22; ANOVA : $P = 0,0521$). Le taux de nitrate avait tendance à être plus élevé dans les feuilles des brocolis du traitement *Farine de plumes*. Au 3 août, il n'y avait pas de différence entre les traitements (ANOVA : $P = 0,1411$).

Tableau 22. Concentrations des nitrates dans les feuilles de brocolis au 20 juillet et au 3 août 2009. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative (Tukey; $P > 0,05$).

Traitement	Concentration des nitrates (ppm)	
	20 juillet	3 août
Farine de plumes	$354,90 \pm 84,99$ (a)	$243,65 \pm 87,12$ (a)
Pois-Automne	$165,17 \pm 48,83$ (a)	$83,27 \pm 9,92$ (a)
Vesce-Automne	$138,55 \pm 69,50$ (a)	$202,02 \pm 79,60$ (a)
Témoin	$58,01 \pm 13,18$ (a)	$50,51 \pm 8,39$ (a)

Rendement des céréales 2009

Le poids frais de l'orge a été évalué le 2 novembre 2009. Les résultats indiquent que le poids frais de l'orge n'était pas différents entre les traitements (Fig23; ANOVA : $P = 0,4683$).

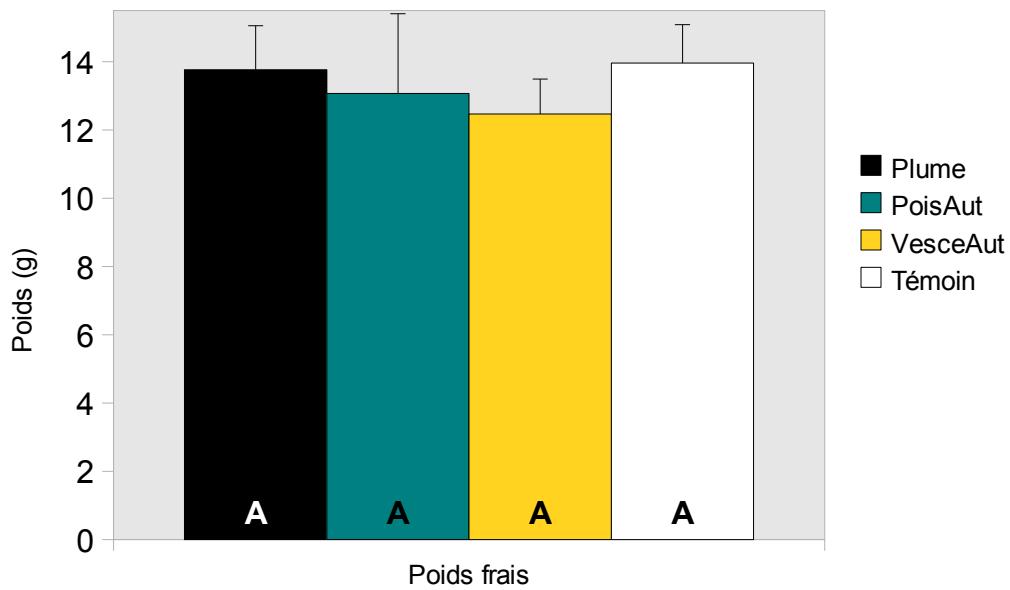


Figure 23. Poids frais de l'orge en sol lourd en fonction des traitements tel que mesurée au champ au cours de la saison 2009. Une lettre semblable en bas des histogrammes d'une date donnée indique l'absence de différence significative entre les traitements (Tukey; $P > 0,05$). Plume (●) = Farine de plumes, PoisAut (●) = engrangis vert de pois enfoui à l'automne, VesceAut (●) = engrangis vert de vesce enfoui à l'automne, Témoin (○).

Analyses de sol 2008-2009

Avant le début des expériences, il n'y avait pas de différence entre les parcelles destinées aux différents traitements en ce qui concerne les taux de nitrate dans le sol (Tableau 23; *Welch-ANOVA* : $P = 0,1456$). À l'automne 2008, l'*ANOVA* indique une différence significative (*ANOVA*; $P = 0,0322$), mais le test de *Tukey* n'indique pas pair significativement différente. Au printemps 2009, les analyses de sol n'indiquent toujours pas de différence entre les traitements (*ANOVA* : $P = 0,4551$). Enfin, à l'automne 2009, au moment de la culture de l'orge, les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence entre les traitements (*Welch-ANOVA* : $P = 0,0515$), mais de peu.

Tableau 23. Taux d'azote dans le sol tout au long de la série 2 en sol lourd, soit du printemps 2008 (avant le début de l'expérience) à l'automne 2009 (au moment de la culture de céréales). Le taux d'azote est exprimé en Kg de N-NO₃ / ha. Dans une colonne, une lettre semblable indique l'absence de différence significative entre les traitements (*Tukey*; $P > 0,05$).

Traitements	Kg N-NO₃ / ha			
	5 juin 2008	15 octobre 2008	8 juin 2009	19 novembre 2009
Farine de plumes	16,88 ± 3,60 (a)	32,59 ± 7,10 (a)	16,97 ± 0,56 (a)	18,55 ± 0,88 (a)
Pois-Automne	7,68 ± 1,39 (a)	8,23 ± 2,02 (a)	19,13 ± 4,97 (a)	11,54 ± 2,37 (a)
Vesce-Automne	6,19 ± 1,81 (a)	5,70 ± 1,37 (a)	22,75 1,73 (a)	13,82 ± 0,81 (a)
Témoin	7,88 ± 2,85 (a)	28,14 ± 6,87 (a)	16,08 ± 1,23 (a)	10,66 ± 1,72 (a)

Discussion

L'objectif de ce projet était d'évaluer le potentiel des engrais verts pour combler les besoins de fertilisation en azote en agriculture biologique. Pour ce faire, deux types d'engrais verts à base de légumineuses (la vesce et le pois) ont été évalués sur deux types de sol (léger et lourd). Aussi, en sol léger, deux périodes d'enfouissement des engrais verts (automne et printemps) ont été comparées. Les engrais verts ont été comparés en mesurant leur impact sur la croissance d'une culture de crucifères subséquente et en prenant des mesures d'azote dans le sol. Aussi, l'impact potentiel de ces engrais verts sur une culture d'orge suivant la culture de crucifères a aussi été évalué. L'impact des engrais verts a été comparé à celui de la fertilisation à base de farine de plumes et à celui de l'absence totale de fertilisation.

De manière générale, que les différences aient été significatives ou non, les résultats indiquent que les meilleurs résultats sont souvent obtenus lorsque la fertilisation est effectuée avec de la farine de plumes. En effet, le rendement des choux et des brocolis est généralement supérieur lorsque la fertilisation est effectuée avec de la farine de plumes que lorsque cette fertilisation est effectuée à l'aide d'engrais verts.

Les engrais verts ont souvent (mais pas tout le temps) donné des rendements intermédiaires entre ceux obtenus à l'aide de farine de plumes et ceux obtenus en absence de fertilisation (bien que les analyses statistiques n'appuie pas toujours cette observation). Les résultats obtenus au cours de cet essai indiquent donc que les engrais verts ont un potentiel intéressant comme source alternative d'azote en maraîchage biologique. Cependant, l'efficacité des engrais verts devrait encore être améliorée afin que ces derniers soient généralement adoptés par la communautés des producteurs biologiques.

Des travaux de recherche portant sur les engrais verts sont donc encore nécessaires. Ces travaux pourraient, par exemple, explorer l'efficacité de d'autres espèces / variétés d'engrais verts ou évaluer différentes combinaisons d'espèces / de variétés. Ces projets pourraient aussi

comparer différentes régies de cultures, tel que la date de semis et / ou la date d'enfouissement. Il a par exemple été démontré que les date de semis des engrains verts pouvaient influencer les taux d'azote dans le sol (Gselman & Kramberger 2008). Il serait aussi intéressant de comparer les engrains verts cultivés en culture dérobée à ceux cultivés en culture mixte. Enfin, la possibilité de combiner les engrains verts avec un complément de farine de plumes devrait aussi être évaluée.

Au cours de cet essais, les analyses des taux de nitrate dans le sol se sont avérés très variables et peu représentatives des résultats observés sur le rendement des crucifères et de l'orge. Notamment, il y avait rarement des différences significatives entre les traitements pour une période de prélèvement donnée. Ainsi, à la vu de ces résultats, il est difficile de déterminer avec précision le moment du pic de minéralisation de l'azote dans les traitements avec les engrains verts. Les analyses de sol indiquent généralement une augmentation du taux d'azote au printemps et à l'automne suivants le semis des engrains verts, mais cette augmentation s'observe aussi dans les parcelles du traitement témoin. Cette augmentation générale des taux d'azote dans le sol, même dans les traitements témoins, découlent sans doute de la fertilisation des laitues (voir annexe A).

Conclusion

En conclusion, les engrains verts démontrent un potentiel intéressant pour la fertilisation en agriculture biologique. Bien que la tendance ne soit pas toujours significative, les rendements obtenus suite à une fertilisation avec les engrains verts tendent à se situer entre ceux obtenus avec de la farine de plumes et ceux obtenus en absence de fertilisation.

D'autres travaux de recherche devraient être effectués afin de chercher à augmenter l'efficacité des engrains verts en tant que source alternative d'azote en maraîchage biologique. Notamment, ces projets pourraient évaluer l'efficacité de d'autres espèces / variétés d'engrais

verts ou alors évaluer les combinaisons d'espèces / variétés. Ces projets pourraient aussi comparer différentes régies de cultures (culture dérobée *vs* culture mixte, date de semis, date d'enfouissement, etc). Enfin, la possibilité de combiner les engrains verts avec un complément de farine de plumes devrait aussi être évaluée.

Remerciements

Ce projet est réalisé grâce à un appui financier du *Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation* (MAPAQ), dans le cadre du *Programme de soutien au développement de l'agriculture biologique* (PSDAB). Ce projet a été initié et réalisé grâce à la participation active du personnel du CRAM, notamment Étienne Jobin, Karine Dubé et Stefano Campagnaro. Le CRAM tient à remercier le *Centre de formation agricole de Mirabel* (CFAM) et *Les serres Michel Jetté et Réjeanne Huot* pour l'utilisation des terres expérimentales. Le CRAM remercie également Anne Weill (*Club Bio Action*) et Lucie Caron (*MAPAQ*) pour le soutien agronomique. Le CRAM est supporté par des subventions de la *Conférence régionale des élus des Laurentides* et du *Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec* (MAPAQ).

Références bibliographiques

Dabney, S.M., Delgado J.A., Reeves D.W. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. Communication in Soil Science and Plant Analysis.

Dixon, R.O.D. & Wheeler, C.T. 1986. Nitrogen fixation in plants. Blackie, Glasgow, United Kingdom.

Bàrberi, P & Mazzoncini, M. 2001. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. Weed Science 49: 491-499.

Ebelhar, S.A., Frye, W.W. & Blevins, R.L. 1984. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. Agronomy Journal 76: 51-55.

Evans, J. & Taylor, A.C. 1987. Estimating N₂ fixation and soil accretion of nitrogen by grain legumes. Journal of the Australian Institute of Agriculture Science 53: 78-82.

Gselman, A. & Kramberger, B. 2008. Benefits of winter legume cover crops require early sowing. Australian Journal of Agricultural Research 59: 1156-1163.

Ilnicki, R.D. & Enache, A.J. 1992. Subterranean clover living mulch: an alternative method of weed control. Agriculture, Ecosystems & Environment 40: 249-264.

Jenkinson, D.S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. Plant and Soil 228: 3-15.

Kuo, S. & Jellum, E.J. 2002. Influence of Winter Cover Crop and Residue Management on Soil Nitrogen Availability and Corn. Agronomy Journal 94: 501-508.

Peoples, M.B., Herridge, D.F. & Ladha, J.K. 1995a. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil* 174: 3-28.

Peoples, M.B., Ladha, J.K. & Herridge, D.F. 1995b. Enhancing legume N₂ fixation through plant and soil management. *Plant and Soil* 174: 83-101.

Ranells, N.N. & Wagger, M.G. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agronomy Journal* 88: 777-882.

SAS INSTITUTE 2001: *JMP IN®, Version 4. Start Statistics: a Guide to Statistics and Data Analyses Using JMP® and JMP IN® Software*. Duxbury, Pacific Grove, California, 656 pp.

Sharpley, A. 1999. Agricultural phosphorus, water quality, and poultry production: are they compatible? *Poultry Science* 78: 660-673.

Shipley, P.R., Meisinger, J.J. & Decker, A.M. 1992. Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops. *Agronomy Journal* 84: 869-876.

Vaughan, J.D. & Evanlyo, G.K. 1998. Corn response to cover crop species, Spring Desiccation Time, and Residue Management. *Agronomy Journal* 90: 536-544.

Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis, 4^e édition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Annexe A

Culture de la laitue

La variété de laitue utilisée était la *Royal Oakleaf*. La laitue était semée en rangs sur plateaux en serre. Le repiquage était effectué au stade « cotylédon plus une feuille » en multicellules 72 dans un terreau « Berger BM-8 » plus un tiers de compost. Les plants étaient ensuite acclimatés en les sortant de la serre le jour seulement (environ 2 jours), puis 24 heures sur 24 (environ 4 jours). Les plants étaient ensuite transplantés manuellement au champ. L'espacement entre les rangs était de 75 cm tandis que celui entre les plants était de 30 cm. Lorsque nécessaire, une irrigation par aspersion ou manuelle était effectuée.

Un apport d'engrais était appliqué avant l'implantation, selon les grilles de fertilisation du CRAAQ, à raison de 70 unités d'azote, 160 unités de phosphore et 75 unités de potassium à l'hectare. Des fertilisants biologiques étaient utilisés, soit de l'Actisol (4-4-2), du phosphate de roche (0-13-0) et du Sulpomag (0-0-22). Aucune fertilisation d'appoint n'était effectuée par la suite.

Les laitues étaient binées et sarclées une fois au début juillet. Le dépistage des insectes et des maladies étaient effectué de façon hebdomadaire afin de déterminer si un traitement phytosanitaire était nécessaire.

Annexe B

Culture du chou

La variété de chou *Saratoga* (un chou d'hiver) était utilisée. Lors de la transplantation au champ, l'espacement entre les rangs était de 75 cm, tandis que celui entre les plants était de 30 cm. Les plants étaient irrigués manuellement.

Les plants étaient suivis deux fois par semaine dans le but de déceler la présence d'insectes et de maladies. Au besoin, des traitements phytosanitaires au *Btk* étaient effectués contre les Chenilles défoliatrices (fausse-teigne et piéride).

Annexe C

Culture du brocoli

Les variétés de brocoli étaient *Emerald Pride* (2008) et *Everest* (2009). La transplantation au champ était faite de façon manuelle lorsque les plants étaient au stade 2-3 feuilles.

L’espacement entre les rangs était de 75 cm, tandis que celui entre les plants était de 30 cm. Lorsque nécessaire, les plants étaient irrigués par aspersion ou manuellement.

Lorsque nécessaire, des traitements phytosanitaires (*Entrust* ou *Btk*) étaient effectués.

Annexe D

Culture de l'orge

Les céréales étaient semés après la récolte des brocolis. Avant les semis, le sol était d'abord labouré. En sol léger, le semis était fait à l'aide d'un semoir manuel et les semences étaient mises en terre légèrement à l'aide de râteaux. En sol lourd, le semis était effectué mécaniquement à l'aide d'un semoir, en rangs. La densité des semis était de 100 kg/ha.