TABLE DES MATIERES

Introduction……1

POURQUOI ASSOCIER DES COUVERTS VEGETAUX AU COLZA D'HIVER ? ……..….2

A. Vers une utilisation raisonnée de l'azote……...2
B. Une réduction des coûts énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre engagée……...2
C. Vers une gestion des produits phytosanitaires……...3
D. Le colza : une culture à privilégier……..……...4

PROBLEMATIQUE……..5

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE……..……...7

A. Associer une plante de service à une culture de rente……7

a. Les différents systèmes d'association existants……..…..7
1. Systèmes avec couverture morte..……..…...7
2. Systèmes avec couverture vivante……7
3. Systèmes mixtes……..…7
b. Productivité et interaction entre espèces……..……..…7
1. L'interaction compétitive……..……8
2. L'interaction facilitée……..……...8

c. Services rendus…….....9
1. Nutrition de la plante d'intérêt, un service de support…….……...9
2. Lutte contre les adventices, un service de régulation…….……...9
3. Effets sur les ravageurs, un service de régulation……10

d. Les différents couverts.....10
1. Les Poacées.....10
2. Les Brassicacées.....11
3. Les Fabacées.....11
4. Les autres familles botaniques.....12

B. Biologie et implantation du colza d'hiver……..12

a. Les stades clés de l'association (colza et couvert d'automne)……..12
1. Le semis et la levée……...12
2. L'automne : De la levée au stade rosette……...12
3. La floraison……...13
4. La maturité physiologique……..…13
5. La récolte……..13

b. Les bioagresseurs ciblés……...13
1. La mouche du chou……13
2. L'altise d'hiver……..13
3. Le charançon du bourgeon terminal……...14
4. Les adventices……14

c. L'alimentation azotée du colza……14

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES……....15

A. Présentation des conditions d'essais……....…….....15
1. *Description des sites expérimentaux*…….....….15
2. *Les modalités*…….....15
3. *Description des conditions climatiques pendant les essais*…….…….15
4. *L'itinéraire technique*……..16

B. Les observations……..17

C. L'analyse statistique……..20

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION…….....20

I. Vers une réduction de l'apport azoté pour un colza associé.……..21
1. *Les couverts contiennent de l'azote*.....….....21
2. *La cohabitation colza/couvert*…….....21
3. *Développement du colza à la floraison*……....22
4. *Observation du colza à la maturité physiologique*……..23
5. *Le rendement*……..24

II. Les services rendus…….....25
1. *Le charançon du bourgeon terminal*……25
2. *L'altise d'hiver*……....…..25
3. *La mouche du chou*……26
4. *Les adventices*…….....26

III. Evaluation économique et environnementale de la technique…….…….27
1. *Les charges opérationnelles*…….…….27
2. *L'indice de fréquence des traitements et dose d'azote minéral appliqué*……28

Conclusion…….....29

Bibliographie

Annexe

LISTE DES ABREVIATIONS

^{15}N : Azote 15
abs : absorbé
AMSOL : Association des agriculteurs Multiplicateurs de Semences Oléagineuses
ANOVA : Analysis Of Variance
CEMAGREF : Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CETIOM : Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains
CIPAN : Culture Intermédiaire Piège A Nitrate
éq. : équivalent
GES : Gaz à Effet de Serre
GPS : Grain Propre et Sec
ha : Hectare
IFT : Indice de fréquence des traitements
INN : Indice de Nutrition Azotée
INRA : Institut National de Recherche Agronomique
INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale
JORF : Journal Officiel de la République Française
K : Potassium
LER : Land Equivalent Ratio
LERp : Land Equivalent Ratio partiel
m : mètre
MAAF : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
MF : Matière Fraîche
MJ : Mégajoule
MS : Matière Sèche
N : Azote
N_2 : Diazote ou azote atmosphérique
N_2O : Protoxyde d'azote
NODU : Nombre de Doses Unités
ONIDOL : Organisation Nationale Interprofessionnelle des Graines et Fruits Oléagineux
P : Phosphore
PROLEA : Filière française des huiles et des protéines végétales
QSA : Quantité de substance active
qx : quintaux
t : tonne
U ou u : Unité d'azote minéral (équivalent à 1 kg d'azote)
UIPP : Union des Industries de la Protection des Plantes

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : *PLAN D'ESSAI TYPE*……..……II

ANNEXE II : *CONDITIONS METEOROLOGIQUES DANS LE BERRY*…….….III

ANNEXE III : *CONDITIONS METEOROLOGIQUES EN CHARENTES*……..IV

ANNEXE IV : *CONDITIONS METEOROLOGIQUES EN LORRAINE*…….……V

ANNEXE V : *ITINERAIRE TECHNIQUE DE LA CAMPAGNE 2012-2013*……..……..VI

ANNEXE VI : *ITINERAIRE TECHNIQUE DE LA CAMPAGNE 2011-2012*……..……VII

ANNEXE VII : *ITINERAIRE TECHNIQUE DE LA CAMPAGNE 2010-2011*……VIII

ANNEXE VIII : *DOSAGE DU CARBONE ET DE L'AZOTE TOTAL METHODE DUMAS*…….....IX

ANNEXE IX : *OBSERVATION DE LA PRESENCE DE LARVES D'ALTISES OU DE CHARANÇON DU BOURGEON TERMINAL DANS LES PLANTES DE COLZA*…….……..X

ANNEXE X : *RELATION ENTRE LA MATIERE FRAICHE ET LA MATIERE SECHE*……...XI

ANNEXE XI : *TABLEAUX DE RESULTATS*…….....XII

ANNEXE XII : *PRIX DES COUVERTS*.....…….....XIII

ANNEXE XIII : *COMPARAISON DES CHARGES OPERATIONNELLES ENTRE UN COLZA SEUL ET UN COLZA ASSOCIE*……XIV

ANNEXE XIV : *COMPARAISON DE L'IFT APPLIQUE ENTRE UN COLZA SEUL ET UN COLZA ASSOCIE*……....XV

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES FIGURES :

FIGURE 1: LES ZONES VULNERABLES (<50MGN/L) EN FRANCE. (MINISTERE DE L'ECOLOGIE, 2013) 2
FIGURE 2 : LES STADES CLES D'UNE COHABITATION : COLZA D'HIVER (PROLEA)/ PLANTES DE SERVICE SUR LA PERIODE AUTOMNALE (CETIOM) 12
FIGURE 3: QUATRE DIFFERENTS NIVEAUX D'ELONGATION (VOGRINCIC C., CETIOM) 13
FIGURE 4 : LA MOUCHE DU CHOU: DELIA RADICUM (DOURLOT S., UNIV-RENNES 1) 13
FIGURE 5 : PIVOT DE COLZA ATTAQUE PAR LA MOUCHE DU CHOU (DELIA RADICUM) (DOURLOT S., UNIV-RENNES 1) 13
FIGURE 6 : L'ALTISE D'HIVER (PSYLLIODES CHRYSOCEPHELA) OU LA GROSSE ALTISE SUR COTYLEDON DE COLZA (JUNG L., CETIOM) 13
FIGURE 7 : DEGATS DES LARVES DE L'ALTISE D'HIVER SUR COLZA (COUTIN R., INRA) 14
FIGURE 8 : CHARANÇON DU BOURGEON TERMINAL (CEUTHORHYNCHUS PICITARSIS) ADULTE (COUTIN R., INRA) 14
FIGURE 9 : COLZA AVEC UN PORT BUISSONNANT SUITE AUX ATTAQUES DES LARVES DE CHARANÇON (RUCK L.) 14
FIGURE 10 : CALENDRIER D'OBSERVATIONS DES INSECTES D'AUTOMNE SUR LES SITES D'EXPERIMENTATION (CETIOM) 18
FIGURE 11 : NOTE DE GRAVITE SUR PIVOT DE COLZA (BARDY F., CETIOM) 18
FIGURE 12 : COLZA SUR GRILLAGE (METHODE "BERLESE") (PALLEAU JP., CETIOM) 18
FIGURE 13 : COURBE CRITIQUE DE LA TENEUR EN AZOTE POUR LE COLZA D'HIVER (COLNENNE ET AL, 1998) 19
FIGURE 14: DEVELOPPEMENT MOYEN DES COUVERTS PENDANT L'AUTOMNE. 21
FIGURE 15: QUANTITE D'AZOTE ABSORBEE PAR LE COUVERT EN FONCTION DE SA BIOMASSE ($Y=0.2955X+5.9125$ ET $R^2=0.8563$) 21
FIGURE 16: DIFFERENCE DE BIOMASSE ENTRE UN COLZA SEUL ET UN COLZA ASSOCIE.. 21
FIGURE 17: BIOMASSE DES COLZAS ASSOCIES EN FONCTION DU COUVERT DE FABACEES (CROIX NOIRE) OU DE BRASSICACEES (ROND ORANGE) A L'ENTREE DE L'HIVER 21
FIGURE 18: BIOMASSE DU COLZA ASSOCIE EN FONCTION DU COUVERT SELON L'ANNEE..... 21
FIGURE 19: BIOMASSE DU COLZA SEUL ET ASSOCIE A LA FLORAISON SELON LES ANNEES. 22
FIGURE 20: VALORISATION DE L'AZOTE ABSORBE DU COUVERT PAR LE COLZA. (LER DE L'AZOTE ABSORBE PAR LE COLZA A LA FLORAISON EN FONCTION DE L'AZOTE ABSORBE PAR LE COUVERT A L'ENTREE HIVER) 22
FIGURE 21 : ETAT AZOTE DU COLZA A LA FLORAISON SELON SON COUVERT..... 22
FIGURE 22: VALORISATION DE L'AZOTE ABSORBE DU COUVERT PAR LE COLZA A MATURITE PHYSIOLOGIQUE . 23
FIGURE 23: VALORISATION DE L'AZOTE ABSORBE DU COUVERT PAR LE COLZA A MATURITE PHYSIOLOGIQUE SELON L'ANNEE 23
FIGURE 24: COHABITATION COUVERT/COLZA SELON LES ANNEES 2012 ET 2013 A MATURITE PHYSIOLOGIQUE 23
FIGURE 25: RENDEMENT DES COLZAS ASSOCIES (EN % DU COLZA SEUL) SELON SON COUVERT VEGETAL SUR 3 SITES (BERRY, CHARENTES, LORRAINE), SUR 5 TYPES DE SOLS (ARGILO CALCAIRE, ARGILO CALCAIRE PROFOND, ARGILO LIMONEUX, LIMONO ARGILEUX ET LIMONO SABLEUX), SUR 3 ANNEES (2011, 2012, 2013) ET SUR 10 ESSAIS. 24
FIGURE 26 : TAUX DE PORT BUISSONNANT DU COLZA SUITE AUX ATTAQUES D'UN INSECTE A LA FLORAISON 2013 DANS LE BERRY SUR SOL LIMONO-SABLEUX (LS) ET SUR SOL ARGILO-CALCAIRE (AC)..... 25
FIGURE 27 : TAUX D'ATTAQUE D'UN INSECTE DU COLZA EN FONCTION DE SON COUVERT A L'AUTOMNE 2011 DANS LE BERRY SUR SOL LIMONO-SABLEUX (LS) ET SUR SOL ARGILO-CALCAIRE (AC). 25

Figure 28 : Biomasse aerienne du colza et du couvert a l'automne 2011 en relation avec le pourcentage de plante avec larve d'insecte au cœur dans le Berry sur sol limono-sableux (LS) et sur sol argilo-calcaire (AC). 25
Figure 29: Taux d'attaque de l'altise d'hiver sur colza selon son couvert. 25
Figure 30 : Peuplement et taux de couverture des adventices. Automne 2012 - Charentes 26
Figure 31: Gravite des attaques de la mouche du chou sur colza selon son couvert (Automne 2012-Charentes) 26
Figure 32 : Peuplement d'adventices en Lorraine sur sol argilo limoneux (AL) 26
Figure 33 : Cohabitation du colza et de son couvert vegetale a l'automne 2012 en Charentes sur sol argilo-calcaire profond (ACP). 26
Figure 34: Peuplement et taux de couverture du geranium en Mars 2012 dans le Berry sur sol argilo calcaire. 27
Figure 35: Peuplement et taux de couverture du geranium en Octobre 2012 dans le Berry sur sol argilo calcaire. 27

Table des tableaux :

Tableau I : Recapitulatif des 11 essais realises sur les campagnes 2011, 2012 et 2013 15
Tableau II : Modalites presentent sur l'ensemble des sites au moins deux annees sur trois 15
Tableau III : Modalites presentent uniquement par site au moins deux annees 15
Tableau IV: Difference d'itineraire technique entre un colza seul et un colza associe. 17
Tableau V: Modalites des differents colzas associes 20
Tableau VI : Effet du peuplement du couvert sur le peuplement de geranium dans le Berry en 2011 sur sol argilocalcaire (Analyse de variance au seuil de 5%) 26
Tableau VII: Correlation entre la biomasse de l'association colza/couvert et la gestion de l'adventice « geranium » en mars 2012 27

INTRODUCTION

L'agriculture des pays développés a permis d'atteindre au XXème siècle des objectifs de sécurité alimentaire et de sécurité sanitaire des aliments (MAAF, 2008). Ces modes de production, conduits de manière intensive, ont largement eu recours aux intrants afin de sécuriser les rendements en éliminant ou en réduisant la compétition avec les adventices et en luttant contre les attaques des ravageurs. Aujourd'hui, la France souhaite maintenir un niveau de production agricole élevé, mais aussi produire mieux, tout en respectant les équilibres écologiques et en prenant en compte la demande des consommateurs pour des produits sains (programme Ecophyto). Dans ce cadre-là, des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants valorisant les atouts environnementaux des exploitations agricoles (Lamine *et al.*, 2010) sont des pistes à envisager.

Les conclusions de l'expertise scientifique collective conduite par l'INRA et le CEMAGREF en 2005 ont souligné qu'il existe dès à présent des marges de progrès importantes pour certains systèmes de culture et qu'il est possible de construire de nouveaux systèmes de production minimisant le recours aux intrants.

La fertilisation azotée peut être raisonnée, entre autres, par l'introduction d'espèces supplémentaires, et plus particulièrement de Fabacées[1] (appelées couramment légumineuses), dans les systèmes agricoles, si l'on veut améliorer l'efficience des systèmes agricoles en grandes cultures (Altiéri, 1999 ; Griffon, 2007). Cette introduction d'espèces dans les systèmes de culture peut se faire soit par l'allongement de la rotation, soit par l'utilisation des cultures associées ou encore par leur implantation à l'interculture. En effet, les légumineuses, ont une capacité à fixer l'azote de l'air, améliorant ainsi le bilan énergétique et environnemental des systèmes.

La réduction du recours aux produits phytopharmaceutiques en utilisant des plantes de services est aussi une option à considérer, de par les fonctions qu'elles peuvent rendre comme des fonctions de compétition vis-à-vis des adventices ou des fonctions de répulsion-attractivité vis-à-vis des ravageurs.

Ainsi, l'emploi de plantes de service associées au colza d'hiver, une culture connue très consommatrice en intrants, peut amener de nombreux bénéfices concernant la réduction de l'usage d'azote minéral ainsi que pour la lutte contre les adventices et les insectes. L'objectif de ce mémoire est d'évaluer la faisabilité technique de cette méthode culturale innovante et ses avantages agronomiques, environnementaux et économiques.

[1] En classification APG III, la famille des Fabaceae (Fabacées) a un sens plus large et comprend trois sous familles dont celle des Faboideae (appelée anciennement légumineuses). Dans ce mémoire, par légumineuse on entendra les Fabaceae de la sous famille Faboideae.

Rapport-gratuit.com

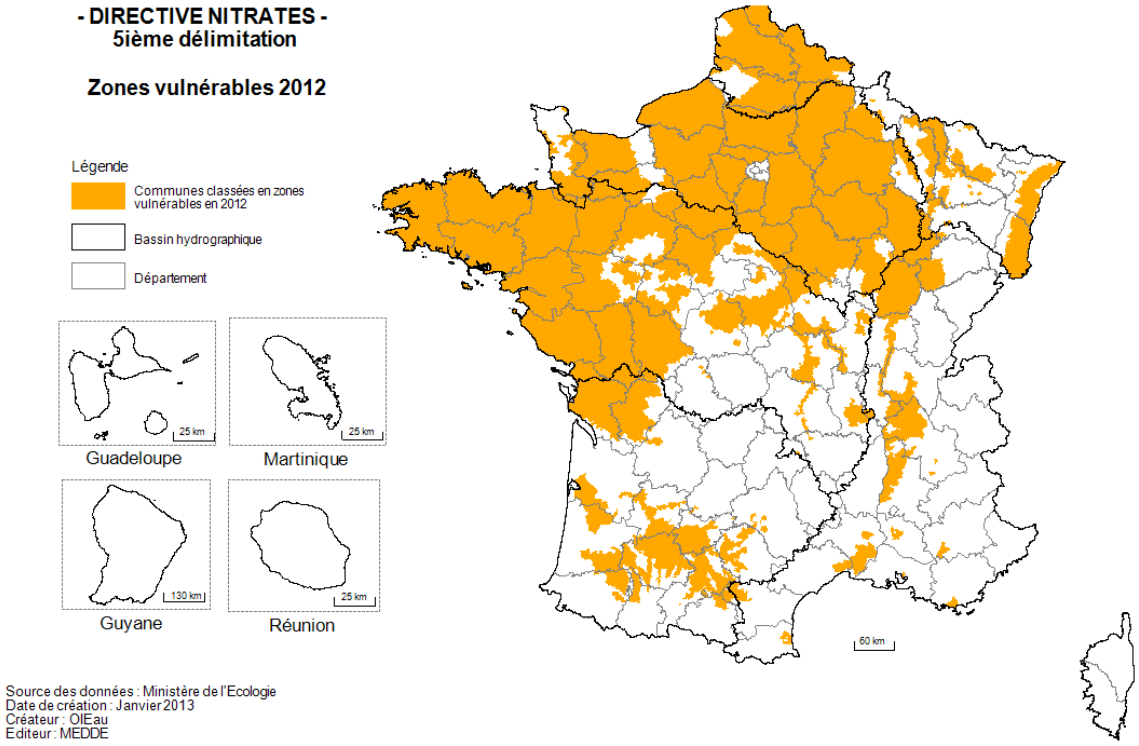


Figure 1: **Les zones vulnérables (>50mgN/L) en France. (Ministère de l'écologie, 2013)**

POURQUOI ASSOCIER DES COUVERTS VEGETAUX AU COLZA D'HIVER ?

A. Vers une utilisation raisonnée de l'azote

La présence de nitrate en excès dans les eaux de surface et les nappes phréatiques pose respectivement des problèmes de santé publique et de dégradation de l'environnement. En effet, la loi française incombe de distribuer une eau de boisson présentant une teneur inférieure à la norme de potabilité de l'eau de 50 mg de nitrate par litre. De plus, le transport rapide du nitrate (combiné à la présence de phosphore) des zones agricoles vers la mer induit une eutrophisation des zones côtières (Justes *et al.*, 2012), en particulier pour certains bassins versants proches de la mer, comme en Bretagne. La directive européenne 91/676/CEE dite directive « Nitrates » a pour objectif la réduction de la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole (Directive 91/676/CEE).

En 2012, environ 55% de la surface agricole française est classée en zone vulnérable (Cf. figure 1), ce qui correspond aux régions où l'activité agricole est importante (MEDDE, 2013). En effet, l'essentiel du nitrate présent dans les eaux de surface et dans les nappes phréatiques est dû aux excès de fertilisation azotée, mais aussi à la production naturelle de nitrate découlant de la minéralisation des matières organiques du sol. Le nitrate, forme soluble de l'azote, est particulièrement sujet à la lixiviation à partir de l'automne et durant l'hiver lorsque les précipitations deviennent excédentaires par rapport à la capacité de stockage de l'eau du sol (INRA, 2012). L'implantation d'une culture intermédiaire dite « piège à nitrate » (CIPAN) permet de réduire ce phénomène, de manière variée selon le contexte pédoclimatique et le système de culture, de 20 à 90% par rapport à un sol nu (Justes *et al.*, 2012).

En reprenant les fonctions des cultures intermédiaires (piégeage des nitrates, couverture du sol, introduction d'azote…), l'idée est d'en accentuer leurs services et d'en faire bénéficier une culture d'hiver en implantant ces couverts végétaux dès l'automne dans la culture d'hiver en place, ici le colza d'hiver.

D'une part, l'implantation d'un couvert (espèces « piège à nitrates ») associé dans le colza en milieu riche en azote peut servir à capter l'excès d'azote en complément des capacités d'absorption du colza et ainsi limiter le lessivage.

D'autre part dans des milieux pauvres, l'implantation d'un couvert de légumineuses a pour objectif d'introduire une source supplémentaire d'azote dans le système par fixation atmosphérique du N_2. Le principe est de miser sur d'éventuels échanges entre le colza et son couvert à l'automne (rhizodéposition, prospection racinaire favorisées…) puis de récupérer cet azote pour le colza, au printemps, par minéralisation rapide de l'azote contenu dans le couvert après sa destruction hivernale.

B. Une réduction des coûts énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre engagée

L'agriculture est un secteur émetteur de gaz à effet de serre (au plan mondial 13,5 % des émissions directes) (INRA, 2011). Les travaux de recherche actuels visent des innovations permettant à la fois d'adapter l'agriculture aux directives européennes en vigueur et d'atténuer les coûts énergétiques résultant des cultures. De plus l'agriculture peut contribuer à limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES) grâce au stockage de carbone dans les sols et à des conduites de culture moins consommatrices d'intrants (INRA, 2011). La directive 2009/28/CE vise à faciliter la production et la promotion d'énergie à partir

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

de sources renouvelables tout en limitant les émissions de GES. Ce cahier des charges s'applique aux biocarburants. Les objectifs de l'Union Européenne sont d'inclure 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale de la Communauté et 10 % de biocarburants dans la consommation totale d'essence et de gazole destinés au transport (Directive 2009/28/CE, 2009).

Sur un hectare de colza sont produits environ 3,3 à 3,6 tonnes de graines (Lagarde, 2012) soit l'équivalent de 2 tonnes de tourteaux, aliments riche en protéine pour les animaux d'élevage et de 1,5 tonnes de biocarburant. (DIESTER, 2009). Pour le biodiesel de colza, l'étape de transformation industrielle représente le principal poste de consommation d'énergie fossile. En revanche, l'étape agricole est plus émettrice de GES en raison de la fabrication des engrais et de l'émission de N_2O (Simonin, 2011). La production de gaz à effet de serre de la culture du colza provient à 89 % du dioxyde d'azote (N_2O), dont 33 % via sa production à base de pétrole (carburant, fabrication des engrais,…) et 57 % par les émissions des sols. La consommation d'énergie et les émissions de GES d'un hectare de colza sont respectivement de 14 640 MJ/ha et de 2663 Kg/ha éq.CO_2 (Simonin, 2011).

Compte tenu de ces enjeux, l'amélioration du bilan énergétique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont des objectifs importants pour la culture de colza. De plus, son principal débouché, actuellement en France, est dans la filière des agro-carburants. Au champ, ceci est envisageable essentiellement au travers de l'optimisation de la gestion d'azote. Ainsi l'intégration de plantes de service légumineuses associées au colza d'hiver, pourrait permettre une réduction de la fertilisation azotée minérale tout en veillant à ne pas augmenter le recours à l'énergie fossile (semis et/ou destruction de la légumineuse associée).

C. Vers une gestion des produits phytosanitaires

Les progrès dans la protection des plantes ont largement contribué à l'augmentation des rendements et à la régularité de la production. Par leur facilité d'emploi, les produits phytosanitaires se sont révélés efficaces et fiables dans de nombreux cas et sur de grandes surfaces. L'agriculture française a développé des systèmes de production fondés sur l'utilisation de ces produits ; ce qui fait de la France le premier consommateur européen avec un marché de 33% de produits phytosanitaires (UIPP 2010). Aujourd'hui, les agriculteurs sont confrontés à une remise en cause sociétale d'une utilisation intensive des pesticides (Paillotin, 2008). L'expertise scientifique collective INRA-Cemagref (Aubertot *et al*., 2005) met ainsi en évidence une pollution généralisée des eaux par les pesticides ainsi qu'une présence de certains pesticides dans l'air et le sol. Cette utilisation intensive de pesticides engendre des risques directs ou indirects à la fois sur les écosystèmes (Aubertot *et al*., 2005) mais aussi auprès des agriculteurs et de la population en général (INSERM, 2008).

Mis en place par le Ministère en charge de l'Agriculture à la suite du Grenelle de l'environnement en 2008, le plan Ecophyto, vise à réduire progressivement l'usage des produits phytosanitaires tout en continuant à assurer un niveau de production élevé tant en quantité qu'en qualité. Pour évaluer les progrès en matière de réduction de l'usage des pesticides, l'Etat a mobilisé trois indicateurs agro-environnementaux : le NODU (Nombre de Doses Unités), la QSA (Quantité de Substance Active), l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitement) (Zahm, 2011) et encourage la diffusion de méthodes alternatives, sous réserve de leur mise au point (JORF, 2009). L'enjeu autour de la culture du colza est important car on a constaté une augmentation continuelle de l'IFT du colza : 4,8 en 1994, 5,1 en 2001, (Champeaux, 2006), 6.1 en 2006 (Butault *et al*., 2010) et jusqu'à 6.92 en 2008 (ECOPHYTO, 2008). Si un effet annuel peut expliquer certains résultats, il n'en demeure pas moins qu'un effort doit être porté sur l'évolution de la conduite du colza pour réduire le recours aux pesticides notamment herbicides (28 % de l'IFT en 2008) et insecticides (43 % de l'IFT en 2008).

L'usage des couverts associés, pourraient permettre une réduction de l'IFT du colza (Landé et Sauzet, 2012) vis à vis des herbicides et des insecticides, mais cette solution

alternative doit encore être validée en termes de performances et de mécanismes en jeu avant d'être largement promue.

D. Le colza : une culture à privilégier

Avec une surface de 1,5 million d'hectares en 2013 (MAAF, 2013), le colza se place en 3^{éme} position des cultures d'hiver, derrière deux céréales, le blé et l'orge. Le CETIOM est l'organisme technique de recherche et de développement des cultures oléagineuses françaises. Depuis 56 ans, il développe les innovations techniques de demain afin d'améliorer la compétitivité économique des cultures oléagineuses (colza, tournesol, soja, lin et le chanvre depuis 2010). Ses travaux balaient différents domaines susceptibles d'améliorer la production, la qualité et les débouchés des oléagineux et du chanvre industriel.

Le colza est largement reconnu pour ses avantages agronomiques à l'échelle de la rotation. En effet, d'un point de vue agronomique, c'est une tête d'assolement privilégié pour le blé permettant des augmentations significatives de rendement de l'ordre de 10% (AMSOL, PROLEA, 2001). Cette tête d'assolement favorise aussi les déjections en zone d'élevage grâce à sa capacité d'absorption d'azote. De plus cette culture protège les sols contre l'érosion, de par sa mise en place à l'automne et coupe le cycle des adventices et des ravageurs en occupant le sol 9 à 11 mois sur 12 (BASF, 2013). La culture du colza facilite aussi la gestion de la flore adventice tout particulièrement les repousses et le désherbage des graminées qui reste délicats sur les parcelles de céréales. Son système racinaire, doté d'une racine pivotante améliore la structure du sol, permettant une meilleure implantation des cultures suivantes (AMSOL, PROLEA, 2001). De plus, le colza offre de nombreux débouchés, tant dans l'alimentation humaine pour ses qualités diététiques et en particulier pour son profil très favorable en acides gras, que dans l'alimentation animale avec ces tourteaux riches en protéines (35%) résultant de l'extraction de l'huile des graines (BASF, 2013). Néanmoins le colza demande beaucoup d'expertise et de connaissance par la multitude de bio-agresseurs inféodé à cette culture. Ces ravageurs peuvent être des nématodes, des limaces et des insectes. De ce fait, la culture de colza est très consommatrice d'intrants, un IFT herbicide de 1,7 et un IFT insecticide de 2,5 contre 1,2 et 0,2 pour le blé tendre (Agreste, 2006), une demande azotée de l'ordre de 180 unités/ha et des émissions de gaz à effet de serre (GES) allant jusqu'à 800 kg éq.CO^2/t (Simonin, 2011), ce qui reste important par rapport à 250 Kg éq.CO^2/t pour le blé (ARVALIS-Institut du Végétal, 2010).

Travailler sur l'itinéraire technique du colza notamment avec des couverts en association pourraient aider les agriculteurs à produire un colza environnementalement et économiquement performant en réduisant les GES, l'IFT et le coût énergétique de cette culture avec un objectif de maintenir des rendements sans coût économique supplémentaire.

Face à ces enjeux majeurs, la culture du colza doit évoluer, l'association à un couvert végétal offre des possibilités que nous proposons d'évaluer dans ce stage.

Ainsi, ce mémoire est constitué de trois parties, la première partie est un état des lieux des connaissances actuelles sur le thème des cultures associées en général avec un focus sur les associations culturales à base de légumineuses. La deuxième partie (Matériel et Méthodes) présente les sites expérimentaux utilisés pour répondre à la problématique. La troisième partie met en avant les résultats obtenus sur les espèces végétales associées au colza à travers des expérimentations au champ accompagné d'une discussion d'analyses critiques et de pistes de réflexion sur l'évolution de cet itinéraire technique innovant en colza.

PROBLEMATIQUE

L'emploi de couverts associés à l'automne au colza d'hiver semble être une technique prometteuse pour répondre aux précédents enjeux (réduction des GES, des coûts énergétiques, du recours aux produits phytosanitaires, tout en maintenant le rendement et l'équilibre des charges économiques). Le CETIOM a mis en place un réseau d'expérimentations depuis 3 ans pour tester et valider cet itinéraire technique moins consommateur d'intrants (azote, pesticides) par l'intermédiaire de couverts associés au colza d'hiver. Ces expérimentations ont pour but d'évaluer la faisabilité de cette technique sur toute la France en termes de non concurrence au colza et en termes d'adaptation régionale au climat, au sol et caractériser la diversité et la robustesse des services rendus par les couverts au niveau de la gestion des adventices, des insectes, de l'azote et des performances de rendement.

Dans une optique de construire un itinéraire technique 'bas intrant' pour le colza d'hiver, l'année d'expérimentation 2013 viendra clore 3 ans d'acquisition de données et devrait permettre de valider un certain nombre de points :

L'emploi de plantes de services en association à l'automne dans un colza peut-il concurrencer les adventices jusqu'à permettre de réduire l'utilisation d'herbicides ?
La culture du colza est consommatrice d'herbicides, avec un IFT de 1,94 pour la France entière (IFT 2008 Référence Nationale). Les plantes de services associées au colza à l'automne peuvent mettre en œuvre deux mécanismes pour concurrencer les adventices : soit réduire leur nombre par allélopathie, soit réduire leur développement en termes de biomasse par compétition sur les ressources. Si ce service de maitrise des adventices s'avère récurent, régulier et efficace dans les essais ou selon les flores, on pourra envisager la réduction de l'herbicide d'automne.
Hypothèse : Le nombre et la biomasse des adventices sont significativement inférieurs lors d'association d'espèces avec du colza d'hiver.

L'emploi de plantes de services peut-il réduire les attaques d'insectes ravageurs du colza jusqu'à permettre la suppression d'un traitement insecticide à l'automne ?
Les plantes de services pourraient perturber les insectes ravageurs en empêchant soit le vol, la ponte ou l'alimentation des insectes ou soit la reconnaissance du champ de colza. Si ces mécanismes se vérifient par des réductions de dégâts sur colza au travers des expérimentations menées, on pourra supprimer certaine intervention chimique.
Hypothèse : Les couverts associés au colza d'hiver perturbent les insectes par une modification de la couverture végétale (présence et/ou stade de développement du couvert) et réduisent significativement les dégâts des insectes d'automne sur colza.

L'emploi de plantes de services au cours du cycle du colza peut-il réduire la fertilisation azotée minérale appliquée au printemps dans le colza ?
Les services « pièges à nitrates » et « fixation de l'azote atmosphérique » attendu par les espèces utilisées dans les couverts pourraient fournir de l'azote organique au colza et permettre de réduire les apports azotés de synthèse. Le principe est de disposer d'un couvert suffisamment développé à l'automne (paramètre suivi : Teneur en azote du couvert à l'automne) qui sera détruit pendant l'hiver, qui minéralisera rapidement en sortie d'hiver et qui restituera son azote au colza au printemps (paramètres suivis : teneur en azote du colza au pic d'absorption en mai /juin, rendement du colza). .
Hypothèse : Les couverts peuvent permettre de diminuer l'apport d'azote minéral de synthèse d'au moins 30 unités sur le colza sans le pénaliser.

L'utilisation de couverts associés au colza d'hiver dans une conduite 'bas intrants' permet-elle d'obtenir un rendement égal voire supérieur à un colza seul ?

Si les services rendus par les couverts associés au colza d'hiver (comme perturber les insectes, participer à la gestion des adventices et remplacer un apport d'azote minéral) compensent les intrants de synthèse (produits phytosanitaires, engrais), nous devrions obtenir des rendements identiques aux techniques conventionnelles voire supérieurs si d'autre phénomènes de facilitation entre en jeu.

Hypothèse : Dans une conduite « bas intrants », les couverts associés au colza d'hiver devraient permettre de maintenir le rendement voire de l'augmenter.

Cette technique innovante permet-elle de réduire le recours aux produits phytosanitaires ?

En utilisant les données de l'itinéraire technique, l'objectif est d'évaluer si la présence de couverts végétaux permet d'envisager des impasses sur les produits phytosanitaires sans impact sur le potentiel de rendement.

Hypothèse : Cette technique innovante réduit le recours aux produits phytosanitaires sans impact sur le rendement.

Est-ce une technique rentable économiquement ?

En utilisant les données actuelles de commercialisation (produits phytosanitaires, engrais, semences), l'objectif est d'évaluer si la réduction des intrants compense le coût de la semence des couverts associés.

Hypothèse : Cette technique innovante est rentable économiquement.

Rapport-Gratuit.com

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

L'état des lieux des connaissances portera sur les intérêts d'associer une plante de service à une culture de rente, on s'attardera sur les différents systèmes existants, sur les services que peuvent rendre les associations d'espèces ainsi que sur les mécanismes d'interactions entre elles. Par la suite, nous présenterons les couverts potentiellement utilisables dans le cas d'association avec le colza en lien avec les stades clé de son développement.

I. Associer une plante de service à une culture de rente

a. Les différents systèmes d'association existants

1. Systèmes avec couverture morte

Il s'agit d'un système de culture où la couverture du sol est assurée soit par les résidus culturaux de la culture précédente, soit par une culture implantée pendant l'interculture et détruit, à l'aide d'un herbicide, avant le semis direct de la culture de rente. (Seguy *et al.*, 2002)

2. Systèmes avec une couverture vivante

Dans les systèmes avec couverture vivante, il existe des couvertures permanentes, où il s'agit souvent d'une espèce fourragère pérenne dont la partie aérienne a été desséchée, par un herbicide, tout en préservant les organes de reproduction végétative souterrains. Cette dernière est maintenue en vie ralentie jusqu'à ce que la culture de rente assure un ombrage total. Après la récolte, la couverture vivante couvre à nouveau le sol et peut être pâturée par le bétail (Seguy *et al*., 2002). Il existe des systèmes de culture où la couverture est temporaire, en effet les espèces utilisées ne restent pas plus d'un an sur la parcelle. C'est le cas des cultures associées correspondant à la culture simultanée de deux ou plusieurs espèces sur une même surface et sur une période significative de leur croissance afin de promouvoir des interactions entres elles (Willey, 1979).

3. Systèmes mixtes

Les systèmes mixtes comportent des successions annuelles avec une culture principale et une seconde culture avec un minimum d'intrants (apportant une récolte de grains et une masse végétale importante), associée à une espèce fourragère. Les cultures commerciales sont récoltées alors que la culture fourragère permet d'alimenter le bétail (Seguy *et al*., 2002). Ce système reste peu utilisé et étudié en France.

Les couverts associés au colza d'hiver peuvent se classer dans le cas de systèmes culturaux avec une couverture vivante temporaire. Dans la suite de la bibliographie, nous nous intéresserons d'une part, aux différents fonctionnements au sein de couverts végétaux pour mesurer de la faisabilité technique d'associer un colza d'hiver à un couvert automnal. D'autre part, nous nous intéresserons aux services rendus connus ou potentiels de ce type de pratique culturale.

b. Productivité et interaction entre espèces

Au sein d'un couvert mixte, différentes interactions existent : la compétition et/ou la facilitation (Vandermeer, 1989)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1. *L'Interaction compétitive*

La compétition interspécifique peut se produire quand deux cultures se développent en même temps et dans le même espace. Elle intervient quand l'une des cultures modifie l'environnement de façon négative pour l'autre, ce qui diminue les chances de survie, la croissance ou la reproduction d'au moins une des espèces (Crawley, 1997).

Initialement, la petite taille des plantules réduit les interactions entre les cultures, puis, au cours de la croissance des plantes, des interactions au niveau racinaire et aérien apparaissent. Lorsqu'on observe un développement initial plus rapide d'une des espèces qui conduit à une dominance progressive en termes d'utilisation des ressources et on peut espérer une perspective de biomasse et de rendement plus grande (Tribouillois, 2011)

L'intensité d'une relation de compétition varie selon la ressource considérée (l'eau, l'azote, la lumière), la biologie des espèces et les itinéraires techniques choisis pour l'association culturale (Fukai et Trenbath, 1993). On aboutit à la classification suivante (Vandermeer, 1989) :

- **Faible relation de compétition.**

Les espèces se partagent une même ressource du milieu mais des périodes différentes de leur cycle ou dans des zones différentes du milieu ou avec des besoins très contrastés ou dans des situations où la ressource est issue d'origines différentes (les légumineuses peuvent utiliser l'azote de l'air contrairement aux graminées).

- **Forte relation de compétition.**

Les espèces se partagent une même ressource du milieu, de même origine, en même temps, dans une même zone, avec des besoins similaires.

- **Absence de compétition.**

Selon Willey (1979), lorsque les deux espèces ont des besoins en ressources qui diffèrent dans le temps et/ou dans l'espace, une culture associée de ces espèces peut induire un gain de rendement car la répartition des ressources se complète et devient donc plus efficace dans le temps ou dans l'espace que dans le cadre d'une culture pure.

En considérant la biomasse comme un indicateur d'usage des ressources, et au regard des mesures de biomasse du colza et de ses couverts, on pourra déterminer le niveau de compétition au sein du système cultural « couvert/colza », et ce, pour chaque couvert afin de proposer le ou les couverts les mieux adaptés à une cohabitation automnale avec le colza.

2. *L'Interaction facilitée*

La facilitation se produit lorsqu'une plante améliore l'environnement de ses voisines, augmente leur croissance et leur chance de survie ce qui peut induire une augmentation de leur rendement (Vandermeer, 1989). Ce phénomène peut se produire dans les écosystèmes naturels mais aussi en agriculture. Il existe notamment une facilitation racinaire qui permet le transfert d'azote entre une légumineuse et une non-légumineuse

Une hypothèse est qu'il s'agit de l'exploitation du sol via une mycorhization, et de processus entre le sol et la plante qui modifient la mobilisation des ressources. La facilitation au niveau des racines semble plus efficace dans des systèmes avec peu ou pas d'intrants que dans les systèmes avec des quantités d'intrants importantes (Hauggaard-nielsen et Jensen, 2005).

D'autres effets de facilitation ont été mis en évidence : Banik *et al.* (2006) ont trouvé que dans le cas d'une association de pois chiche et blé, le nombre de nodules de la légumineuse était significativement plus élevé et que ces nodules étaient significativement plus volumineux, l'association favoriserait donc la nodulation de la légumineuse.

Par ailleurs, les travaux de Hauggaard-Nielsen et Jensen (2005) ont mis en avant le fait que les légumineuses peuvent sécréter des composés (acides aminés, carboxylates,

phosphatases, ammonium…), notamment pendant la nodulation, qui sont réabsorbés par les deux espèces et qui peuvent faciliter l'absorption de minéraux (phosphore, fer, aluminium) par la céréale.

Enfin, la compétition interspécifique et la facilitation peuvent se produire en même temps avec des intensités différentes et interviennent dans la plupart des systèmes de cultures associées. Ces phénomènes peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur les cultures puisqu'ils influencent la disponibilité des ressources tant souterraines (nutriments, eau) qu'aériennes (lumière).

c. Services rendus

D'après le Millenium Ecosystem Assessment, réalisé en 2005 par les Nations Unies, les services éco-systémiques sont définis comme les bienfaits que les hommes obtiennent des écosystèmes. Nous regarderons plus particulièrement les services de support et de régulation rendus par des plantes de services au colza (recyclage des éléments nutritifs (azote), et régulation naturelle des bioagresseurs adventices et insectes).

1. Nutrition de la plante d'intérêt, un service de support

Les plantes de couverture légumineuses captent l'azote du sol ou fixent l'azote atmosphérique, lorsque celui-ci est en défaut dans le sol. Cet azote sous forme organique sera en partie disponible pour la culture suivante ou la culture en place en cas de destruction précoce des légumineuses dans la culture d'intérêt.

Cependant, Garibay *et al* (1997) suggèrent que la compétition pour l'azote entre une plante de couverture et une culture de rente dépend de l'espèce de couverture.

Concernant d'autres éléments nutritifs, ces plantes de service recyclent et transfèrent des éléments nutritifs des horizons profonds vers les horizons de surface par l'intermédiaire de leurs systèmes racinaires, les rendant plus accessible aux racines de la culture de rente (Capillon et Séguy, 2002). Cet effet a été mis en évidence pour certains éléments (calcium, manganèse) et certains oligoéléments (cuivre, zinc) (Capillon et Séguy, 2002). Il existe un phénomène de facilitation pour le phosphore, mis en évidence chez le blé dur en association avec le pois-chiche, où la légumineuse augmente la disponibilité de phosphore dans la rhizosphère du blé, améliorant la croissance de ces parties aériennes de +17% et la croissance de ces racines de +50% (Hinsinger, 2012).

Ces observations concernant l'azote sont à confirmer dans le cas notamment d'associations colza et légumineuse.

2. Lutte contre les adventices, un service de régulation

Plusieurs travaux ont montré que les associations céréale-légumineuse sont largement plus compétitives vis-à-vis des adventices que la légumineuse cultivée seule (Hauggaard-Nielsen *et al*., 2001a). La présence d'une céréale dans un couvert de pois permettrait de mieux utiliser l'azote minéral du sol en comparaison au pois en culture pure et de réduire ainsi cette ressource disponible pour les adventices, limitant leur croissance (Hauggaard-Nielsen *et al*., 2001b).

Le phénomène d'allélopathie permet une gestion biochimique de ces adventices (Singh *et al*., 2003). Il se produit lorsque certains composés biochimiques des plantes de couverture sont dégradés et deviennent toxiques pour d'autres espèces végétales ou inhibent la germination des graines. Les espèces allélopathiques sont de famille différente (Pousset, 2009) : on retrouve le seigle (*Secale cereale*), le trèfle violet (*Trifolium pratense*), la vesce velue (*Vicia villosa*), le sorgho (*Sorghum bicolor*) et certaines crucifères comme la moutarde (*Sinapsis arvensis*) ou encore la cameline. Cette plante est, en

agriculture biologique, un moyen de lutte contre les rumex, chardons, laiterons des champs (Pousset, 2009).

Des études menées par Tsubo et Walker en 2004 ont monté que les associations captaient plus de rayonnement lumineux provocant un ombrage qui serait à l'origine d'une limitation de la croissance des adventices et aussi d'une diminution de leurs diversités (Tilman et Pacala, 1993).

Pour résumer, trois mécanismes, dans la lutte contre les adventices sont possibles : la compétition sur les ressources (éléments nutritifs), la lutte biochimique (allélopathie) et la concurrence sur la ressource lumineuse. Dans le cas d'association au colza à l'automne, nous nous attarderons particulièrement sur les compétitions au niveau des ressources au travers de la biomasse du colza.

3. Effets sur les ravageurs, un service de régulation

Il existe plusieurs exemples de cultures associées avec des légumineuses ayant permis la réduction des ravageurs ou des maladies (Corre-Hellou *et al*., 2005 ; Jensen *et al*., 2006). Le trèfle associé à une culture de choux au printemps (*Brassica oleracea*) repousse la mouche du chou (Finch & Edmonds, 1994). Une culture de fèves maraîchères associées à l'avoine (*Avena sativa*) a permis de réduire la densité et le taux d'attaque de la population de sitones (*Sitona lineatus*) sur feuilles de fèves (Baliddawa, 1985) ; ou encore une culture de pois associé à du blé qui induirait une réduction de la population des pucerons du pois. (Munier-Jolain et Carrouée, 2003).

La plupart des études concluent que mélanger certaines espèces de plantes avec l'hôte d'herbivores spécialistes permet de diminuer leur abondance comparé à des cultures pures (Altieri, 1999).

En ce qui concerne plus spécifiquement la culture du colza de printemps, Ferguson *et al.* (2003) ont montré que dans les associations au printemps, la densité des plants et la variation spatiale des stades de croissance des cultures associées influençaient la distribution de quatre espèces de ravageurs du colza, le charançon des siliques (*Ceutorhynchus assimilis*), le charançon de la tige du chou (*Ceutorhynchus pallidactylus*), le méligèthe du colza (*Meligethes aeneus*) et la cécidomyie des siliques des crucifères (*Dasineura brassicae*).

L'effet sur les insectes d'automne reste à être étudié dans le cas d'association de couvert d'automne en colza d'hiver. Dans ce mémoire, les insectes suivis seront: la mouche du chou, l'altise d'hiver et le charançon du bourgeon terminal.

d. Les différents couverts

Parmi les différentes espèces associables au colza d'hiver, certaines familles botaniques fournissent les mêmes services d'où cette présentation par famille. On insistera sur les caractéristiques présentant uniquement un lien avec la cohabitation avec un colza à l'automne : germination en jours descendant, développement d'une biomasse efficace pour rendre des services, non concurrence nuisible au rendement du colza, destruction par le gel ou cycle court pour une destruction par sénescence naturelle, et les services rendus qu'on souhaite en attendre vis-à-vis de l'azote ou des bioagresseurs.

1. Les Poacées

Les Poacées, d'intérêt agronomique à potentiel allélopathique sont majoritairement le blé, le maïs, le sorgho et le seigle pour leurs benzoxazinone, et l'avoine pour l'avénacine (Charles *et al*, 2012). Ces substances allélopathiques sont libérées par exsudation racinaire ou lors du broyage et de la dégradation des tissus aériens ou racinaires. Haramoto et Gallandt en 2005, ont montré que l'avoine avait une efficacité allélopathique sur la levée des

adventices (*Chenopodium album, Papaver rhoeas*, *Sinapsi arvensis*), la réduisant de 19 % à 39% et la retardant de 2 jours. L'avoine de printemps lève assez facilement dans toutes les conditions, elle est bonne productrice de biomasse et peut couvrir un sol rapidement lorsque les densités de semis sont adaptées (Thomas *et al*., 2012).

Dans les essais, l'avoine de printemps a été retenue pour plusieurs caractéristiques : cycle court, effet allélopathique, facilité d'installation à l'automne, avec un développement suffisant pour rendre des services et non concurrentiel au colza au niveau du rendement. En association avec du pois ou de la lentille, l'avoine est la seule Poacée à être évalué dans les essais. Le triticale et le seigle ont été écartés pour leur gélivité trop basse (-15°C).

2. *Les Brassicacées*

L'implantation d'un couvert de Brassicacées, leur développement végétatif et la densité des plantes sont des facteurs essentiels déterminant la couverture du sol et la production de biomasse concurrentielle aux adventices. Ceci explique notamment l'efficacité élevée des Brassicacées par comparaison avec l'avoine ou un mélange légumineuses/avoine (Brennan et Smith, 2005).

La réduction des levées d'adventices dans des couverts de différentes espèces (moutarde, colza) a atteint 23 à 34% comparée à une jachère, la levée était décalée de 2 jours, et la biomasse réduite (Haramoto et Gallandt, 2005). Toutefois, l'amplitude du phénomène est faible, se concentrant davantage sur la phase d'installation des adventices et ne procurant pas d'avantage durable pour la culture suivante (Haramoto et Gallandt, 2005). Si les couverts de Brassicacées sont reconnus pour être efficaces en début de cycle, il est généralement nécessaire de combiner leur utilisation à d'autres mesures de contrôle des adventices. Au vue des objectifs, seules deux Brassicacées de printemps ont été retenues. La moutarde a été écartée pour des raisons de gestion du désherbage en cas de non gelée.

Dans les essais, la cameline et la navette sont évaluées pour leur important pouvoir couvrant. Cependant, l'utilisation de Brassicacées comme couvert dans du colza, pause certaines contraintes notamment sur leur compétitivité vis-à-vis du colza et sur leur destruction par le gel.

3. *Les Fabacées*

Cette famille botanique à la capacité à fixer l'azote de l'air grâce à une symbiose avec une bactérie du genre *Rhizobium leguminosarum*. C'est au niveau des racines, dans les nodosités, que se réalise la fixation de l'azote. Les bactéries captent l'azote atmosphérique (N^2) et le transforment en NH_3 nécessaire à la plante. Une légumineuse prélève préférablement l'azote du sol puis l'azote de l'air. Cette symbiose donne un avantage non négligeable aux légumineuses en termes de valorisation des ressources et peut exercer une compétition sur les adventices.

Certaines espèces de Fabacées, ont des propriétés allélopathiques comme par exemple le trèfle d'Alexandrie qui exerce une inhibition sur *Amaranthus retroflexus, Convolvulus arvensis*, *Secale cereale* et *Sinapis arvenisis* (Maighany *et al*., 2007). Parmi les légumineuses non retenues se trouvent le lupin qui n'est pas adapté à tout type de sol et la vesce velue qui est résistante au gel.

Dans les essais, plusieurs couverts de légumineuses sont retenus selon 3 caractéristiques : cycle court à défaut de leur gélivité, des développements suffisants à l'automne pour des espèces de printemps, une non concurrence au colza. On peut citer : la lentille, la féverole, le pois, le trèfle d'Alexandrie, la vesce commune, la vesce pourpre et la gesse.

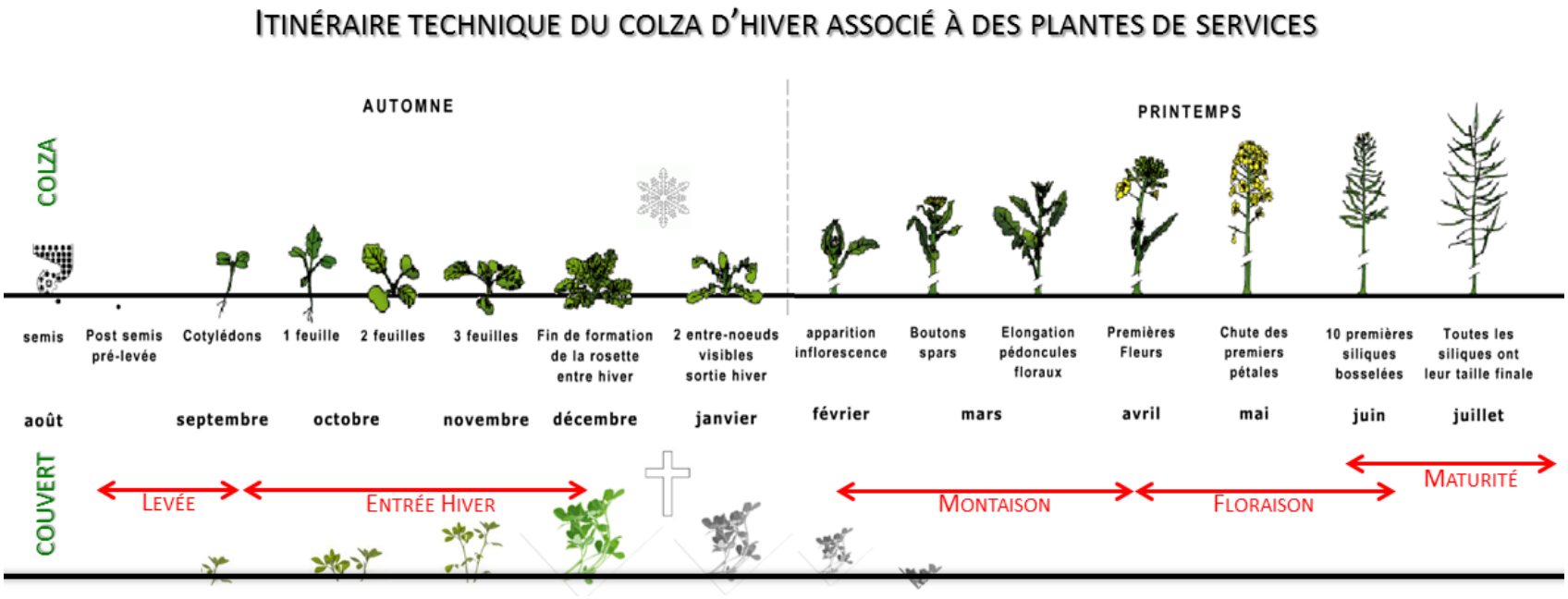


Figure 2 **: Les stades clés d'une cohabitation : colza d'hiver (Prolea)/ plantes de service sur la période automnale (Cetiom)**

4. *Les autres familles botaniques*

D'autres familles sont étudiées, en particulier pour leurs propriétés allélopathiques : les polygonacées. Une étude menée par Kalinova *et al.* (2007), sur les exsudats racinaires du sarrasin, plus particulièrement sur des composés phénoliques, ont montré des effets inhibiteurs sur les levées d'adventices.

Une plante de la famille des Astéracées, le nyger, exprime un bon potentiel de concurrence aux adventices mais sa difficulté d'installation et sa faible résistance au gel (-1°C), ne permet d'envisager pas de l'associer au colza hormis dans certaines régions océaniques (Bretagne, Nord Pas-de-Calais).

II. *Biologie et implantation du colza d'hiver*

Dans cette partie nous insisterons sur les étapes-clés du développement du colza en lien avec sa cohabitation avec des plantes de services à l'automne.

Le colza (*Brassica napus*) résulte du croisement entre un chou et une navette. Cette hybridation aurait eu lieu, au Moyen Age, dans les jardins potagers où ils étaient cultivés cote à cote (Doré et Varoquaux, 2006). Par la suite, l'hybride aurait été sélectionné sous deux formes : le colza (production d'huile) et le rutabaga (légume-racine), qui sont deux groupes de cultivars appartenant à l'espèce *Brassica napus* (Doré et Varoquaux, 2006). Dans cette dernière partie de la bibliographie, nous présenterons les stades clés de la culture de colza et les enjeux autour des ravageurs d'automne de cette culture (charançon du bourgeon terminal, altise d'hiver et mouche du chou) et de la gestion des adventices plus généralement.

a. *Les stades clés de l'association (colza et couvert d'automne)*

La figure 2 ci-dessous décrit l'enchainement des différentes phases du cycle du colza d'hiver ainsi que les stades clés (échelle INRA-CETIOM-SPV) de sa cohabitation avec un couvert végétal.

1. *Le semis et la levée*

Le semis est une étape importante car il correspond à la mise en place du peuplement. Il a lieu du 20 août dans le Nord de la France au 10 septembre dans le Sud de la France. L'enjeu est de faire germer deux graines. Le colza a besoin d'environ 150 degré-jours et 10 mm pour germer seul. Dans une association où la densité peut aller de 20 graines/m² pour la féverole à 100 graines/m² pour la lentille ou le trèfle, il est primordial d'avoir des ressources en eau et en chaleur supplémentaire. D'une manière générale, il faut viser un peuplement à la récolte de 20 à 50 plantes/m² sans dépasser le seuil de 15 plantes par mètre linéaire selon l'écartement entre rangs considéré (Hebinger *et al.*, 2013). Le temps écoulé entre le semis et la levée peut varier considérablement suivant les conditions d'implantations (profondeur de la graine et qualité du contact terre-graine) et les conditions météorologiques (température et humidité) (Leterme, 1988).

Pour éviter toute concurrence à l'eau entre le colza et le couvert, Charbonnaud *et al*. (2012) préconisent d'avancer la date de semis de 5 à 6 jours dans les sols argileux par rapport à un colza seul.

2. *L'automne : De la levée au stade rosette*

La survie du colza est conditionnée par l'état des plantes à l'entrée de l'hiver. A l'entrée hiver, l'objectif pour la culture est doit avoir au moins 8 feuilles (stade B8), un collet de 8 mm

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 3: ***Quatre différents niveaux d'élongation (Vogrincic C., CETIOM)***

Figure 4 : **La mouche du chou: *Delia radicum* (Dourlot S., Univ-Rennes 1)**

Figure 5 : **Pivot de colza attaqué par la mouche du chou (*Delia radicum*) (Dourlot S., Univ-Rennes 1)**

Figure 6 : **L'altise d'hiver (*Psylliodes chrysocephela)* ou la grosse altise sur cotylédon de colza (Jung L., CETIOM)**

de diamètre et pas d'élongation (Cf. figure 3) (augmentant le risque de verse, la sensibilité au froid et ultérieurement le risque de *Phoma L*. (Merrien, 2006)). L'enjeu majeur à cette période est d'avoir un colza couvrant, on considère qu'une biomasse comprise entre 500g/m² et 2000g/m² (expertise CETIOM) permet de passer l'hiver même à des températures allant jusqu'à -20°C si couverture neigeuse. Il a déjà été observé des biomasses « extrêmes » (150g à 4000g) sans préjudice pour la suite de la culture.

Pendant l'automne, il doit avoir assez de ressources pour le colza et le couvert, afin d'éviter la concurrence. La concurrence peut s'exprimer sur la biomasse (N, P, K) ou simplement sur la lumière : l'élongation.

3. La floraison

A floraison, Le couvert a disparu. A ce stade, la biomasse du colza donne des indications sur la manière d'on est restitué l'azote contenu dans les couverts à l'entrée de l'hiver et si le colza a su le capter. Une comparaison des biomasses en conduite 'bas intrants' nous renseignera de l'efficacité des couverts.

4. La maturité physiologique

A partir de ce stade, la plante redistribue les assimilats préalablement stockés dans les organes végétatifs vers ces graines (Gelfi *et al*., 1988). De ce fait, la teneur en azote est mesurée avant cette redistribution car les plantes ne sont plus comparable entres-elles après. La teneur en azote des colzas associés est comparée aux colzas seuls afin d'évaluer si les couverts ont palier à l'azote en moins.

5. La récolte

La moisson du colza se fait lorsque l'humidité des graines est aux environs de 9 à12% sans crainte de perte de rendement en huile (Normes de commercialisation : humidité 9%, impuretés 2% et teneur en huile 40%) (CETIOM, 2011a). Le rendement est l'indicateur intégrateur potentiel de la parcelle, il permet d'avoir une vue d'ensemble sur les conduites et d'évaluer les synergies (rendement supérieur) ou concurrence (rendement inférieur) ou la conduite du colza associé avec moins d'intrant (rendement égale).

a. Les bioagresseurs ciblés

1. La mouche du chou

La mouche du chou (Cf. figure 4) dépose ces œufs dans le sol par petits paquets, presque toujours à proximité du collet de la plante, au moment de la levée (Ferry, 2007). Suite à l'éclosion, ces larves rongent le pivot du colza (Cf. figure 5) provoquant la destruction des jeunes plants (défaut de peuplement) ou le ralentissement de la végétation. Le rendement peut être fortement affecté surtout lorsque le pivot est sectionné.

Dans le cadre de notre étude, des levées très précoces des couverts peuvent permettre de perturber les pontes des mouches et donc les attaques de larves.

2. L'altise d'hiver

De la levée au stade 4 feuilles, les colzas sont une source alimentaire de choix pour l'altise d'hiver (Cf. figure 6). En effet, en se nourrissant des cotylédons, l'altise d'hiver

Figure 7 : **Dégâts des larves de l'altise d'hiver sur colza (Coutin R., INRA)**

Figure 8 : **Charançon du bourgeon terminal (*Ceuthorhynchus picitarsis*) adulte (Coutin R., INRA)**

Figure 9 : **Colza avec un port buissonnant suite aux attaques des larves de charançon (Ruck L.)**

provoque un stress important sur la plante souvent accompagné d'une perte de vigueur qui la pénalise fortement jusqu'à la perte des plants. Vers la mi-octobre, la ponte intervient à la base de la plante dans le sol. Les larves pénètrent dans le pétiole des feuilles (Cf. figure 7) (CETIOM, 2011b). Celle-ci est alors fragilisée et adopte un port buissonnant.

D'une part, l'emploi de plante de service pourrait perturber la reconnaissance du colza par les adultes et d'autre part, la présence d'un couvert suffisamment couvrant empêcher les pontes limitant les attaques.

3. Le charançon du bourgeon terminal

Le charançon du bourgeon terminal (CBT) (Cf. figure 8) vole début octobre dans les parcelles de colza. Ces larves issues des pontes passent dans le cœur des plantes courant hiver et détruisent le bourgeon terminal ce qui se traduit au printemps, par un aspect buissonnant des plantes attaquées (Cf. figure 9) (CETIOM, 2011c).

Les couverts associés au colza pourraient perturber la reconnaissance du colza de par leur architecture et leur envergure minimisant les pontes et les dégâts des larves

4. Les adventices

Le désherbage du colza, contenu des matières actives disponibles sur le marché, s'effectue à l'automne. Le compromis trouvé est de coupler un couvert participant à la compétition aux adventices à un désherbage chimique réduit qui ne détruirait pas le couvert.

Dans l'étude, nous évaluerons l'impact du couvert sur les adventices.

b. L'alimentation azotée du colza

Pour atteindre son potentiel de rendement maximum, les besoins d'absorption d'azote du colza d'hiver sont estimés à 300-330 kg N/ha (Hebinger *et al.*, 2013). Au-delà, l'azote n'est plus limitant pour l'élaboration du rendement. Le colza a des besoins importants pendant l'automne puis de la reprise de végétation à la maturation physiologique (Hebinger *et al.*, 2013). De plus, le colza présente la particularité de perdre ses feuilles par senescence tout au long de son cycle. Puis, il réabsorbe l'azote contenu dans ses feuilles.

Le moment le plus critique dans la cohabitation colza/couvert est l'automne. L'emploi de légumineuses conforte l'idée qu'elles peuvent capter de l'azote extérieur s'il y a un manque pour les deux espèces. Au printemps, le colza peut récupérer l'azote accumulé par les couverts gelés, d'où une réduction de la dose d'engrais apportée.

Tableau I : **Récapitulatif des 11 essais réalisés sur les campagnes 2011, 2012 et 2013**

Site	Année	Type de sol
Berry AC	2010-2011	Argilo calcaire (AC)
Berry LA n°1*	2010-2011	Limono argileux (LA)
Berry LA n°2*	2010-2011	Limono argileux (LA)
Lorraine AL	2011-2012	Argilo limoneux (AL)
Charentes ACP	2011-2012	Argilo calcaire profond (ACP)
Berry AC	2011-2012	Argilo calcaire superficiel (AC)
Berry LS	2011-2012	Limono sableux (LS)
Charentes ACP	2012-2013	Argilo calcaire profond (ACP)
Lorraine AL	2012-2013	Argilo limoneux (AL)
Berry LS	2012-2013	Limono sableux (LS)
Berry AC	2012-2013	Argilo calcaire (AC)

*Les sites du Berry n°1 et n°2 se différencient sur le type d'implantation.

Tableau II : **Modalités présentent sur l'ensemble des sites au moins deux années sur trois.**

Les modalités TRONC COMMUN	***Code couvert***	***Nombre d'années (sur 3)***	***Nombre d'essais (sur 11)***
Cameline*	Cam	2	6
Colza seul	Témoin	3	11
Fèverole Lentille	Fevlent	3	11
Gesse Fèverole Lentille	GFL	3	11
Lentille	Lent	2	6
Navette	Nav	2	8
Pois	Pois	3	7
Vesce commune Vesce pourpre Trèfle d'Alexandrie	VVT	3	11

**en 2012, la cameline était additionnée de féverole dans les sites du Berry.*

Tableau III : **Modalités présentent uniquement par site au moins deux années.**

Sites	***Modalités régionales***	***Code couvert***	***Nombre d'essai***
Charentes	Avoine - Pois	AvPois	2
	Avoine - Lentille	AvLent	2
Berry	Fèverole Gesse	FevGess	7
	Fèverole Fenugrec	FevFenu	7
	Fèverole Vesce pourpre	FevVesce	4
	Fèverole Lentille Trèfle blanc	FevLentTb	4
	Vesce pourpre Vesce commune	VpVc	7

PARTIE II : MATERIELS & METHODES

Rappel :

L'évaluation de cette technique innovante, à savoir, implanter des couverts de printemps dans un colza d'hiver à l'automne nécessite une approche expérimentale au champ pour répondre aux hypothèses :

- Le nombre et la biomasse d'adventices sont significativement inférieurs lors d'association d'espèces au colza d'hiver.
- Les couverts associés au colza d'hiver perturbent les insectes par une modification de la couverture végétale (présence et/ou stade de développement).
- Les couverts permettre de diminuer l'apport d'azote de 30 unités sur le colza avec un rendement supérieur ou égal au colza seul.
- Cette technique innovante réduit le recours aux produits phytosanitaires.

Enfin, nous évaluerons la faisabilité économique de cette technique par calcul des dépenses et des gains.

A. Présentation des conditions d'essais

1. Description des sites expérimentaux

L'étude a été réalisée sur trois années, sur trois sites en France, pour plusieurs types de sol (Cf. tableau I). Cette diversité pédoclimatique et d'année renforce la robustesse de l'étude, soit 11 essais.

Le dispositif expérimental

Les dispositifs expérimentaux sont en bloc de Ficher randomisés avec 3 répétitions. Les modalités sont au nombre de 10 à 15 suivant le site. Les parcelles mesurent 9m sur 12m, soit 108m² (en expérimentation classique ce sont des grandes parcelles du fait d'un suivi d'insectes pour éviter les effets de bordures) et la surface récoltée est de 15 à 20 m². Les témoins sont des colzas seuls. En annexe I, le plan d'un essai type.

2. Les modalités

Dans le tableau II ci-contre, sont représentées les différentes modalités présentent sur l'ensemble des trois sites (au moins 2 ans sur 3) dites « tronc commun ». Cet ensemble de modalités permettra de répondre à la question de la cohabitation des cultures et l'intérêt des couverts vis-à-vis de l'azote. (Cf. problématique).

Dans le tableau III ci-contre, sont représentées les modalités dites « régionales ». Elles ne sont présentent que dans une région. Les modalités dites « régionales » rejoindront les modalités du « tronc commun » pour traiter des questions « insectes » et « adventices » au vue des pressions différentes exercées pas les bioagresseurs. (Cf. problématique)

3. Description des conditions climatiques pendant les essais

Berry :

2010-2011 : Bonnes conditions pour la levée et la croissance à l'automne. Un hiver froid avec des gelées précoces qui a arrêté la croissance du colza. Le printemps a été très sec

avec un déficit de 150 mm dans les phases importantes du cycle (montaison, nouaison et remplissage des siliques). (Cf. Annexe II)

2011-2012 : Un automne qui favorise la croissance avec un temps doux. Le début de l'hiver est doux et humide ce qui favorise la croissance du colza. La destruction du couvert arrive qu'en février. Le printemps est humide et très frais, favorable à la floraison et au remplissage des graines. (Cf. Annexe II)

2012-2013 : La fin de l'été et le début de l'automne ont été très secs et venteux puis, à partir du 25 septembre, le froid et l'humidité se sont installés jusqu'au mois de janvier. Un hiver froid et humide avec peu de gelées significatives. Le printemps a été doux et humide avec des températures proches des normales saisonnières. Situation qui a duré jusqu'à fin juin/début juillet. A partir de mi-juillet, l'été a été très sec et chaud. (Cf. Annexe II)

Charentes :

2011-2012 : Le colza s'est bien développé pendant l'automne. La croissance du colza a été favorisée, en début d'hiver, par beaucoup de précipitation et pas de gelées importantes. Vers mi-janvier, il y a eu d'importantes gelées d'où l'arrêt tardif de végétation et la destruction des couverts. Un coup de froid exceptionnel, début février, accompagné de chute de neige a fortement diminuer la biomasse des colzas. Le début du printemps fut fort sec et retarda la reprise. La sécheresse commença en mai. (Cf. Annexe III)

2012-2013 : Le début de l'automne fut chaud et sec, d'où une levée du colza problématique. L'hiver a été très pluvieux sans températures très basses. Les colzas n'avaient pas de grosse biomasse et tous les couverts n'ont pas été détruits par le gel. Le printemps a été sec et frais avec un déficit d'ensoleillement d'où une reprise en végétation des colzas retarder. L'été commença fraichement pour atteindre des températures normales mi-juin. (Cf. Annexe III)

Lorraine :

2011-2012 : L'automne fût sec avec un bon ensoleillement. L'hiver pluvieux au début avec peu de gelées sans arrêt de croissance. Les gelées de fin janvier, mi-février arrête la végétation et détruisent les couverts. Certaines gelées sans couverture neigeuse ont causés des dégâts au colza. Le début du printemps fut assez sec avec des températures fraîches mais dès le mois d'avril, le colza pousse correctement avec des précipitations correctes et un bon ensoleillement. (Cf. Annexe IV)

2012-2013 : L'automne a été sec d'où une implantation du colza difficile. Le colza a levé en plusieurs fois ou n'a pas levé. L'hiver fut humide et enneigé. La température minimal (-10) permis à la majorité des couverts de gelé. Le printemps resta humide jusque fin juin. Le début de l'été fut peu d'ensoleillé ce qui n'a pas été propice au colza pendant sa floraison. (Cf. Annexe IV)

4. L'itinéraire technique

Dans les annexes V, VI et VII sont représentés les itinéraires techniques de chaque essai. L'expérimentateur implante et conduit l'essai selon la pratique régionale à l'exception du semis du couvert, de l'apport azoté et de l'application d'herbicides par rapport au colza seul. La localisation du couvert doit être homogène sur l'ensemble de l'essai qu'il soit sur le rang, en inter-rang ou en plein selon le matériel disponible. Concernant la variété du colza, la seule consigne est de choisir une variété TPS (Très Peu Sensible) à l'élongation, pour ne pas amplifier ce phénomène avec la présence d'un couvert. La dose d'azote du colza est établie par la méthode des pesées (en entrée hiver, en sortie hiver) en intégrant les reliquats en sortie d'hiver. Pour les associations plante de service/colza, 30 unités d'azote ont été soustraites à la dose bilan établie. Vis-à-vis des produits phytosanitaires, une demi-dose

Tableau IV: ***Différence d'itinéraire technique entre un colza seul et un colza associé.***

Colza seul (Témoin)	*Colza associé*
Herbicide pleine dose	Herbicide $\frac{1}{2}$ dose
Dose d'azote minéral	Dose d'azote minéral -30 unités
Protection insecticide complète	Impasse insecticide sur insecte ciblé*

*Berry : le charançon du bourgeon terminal
*Charentes : la mouche du chou et l'altise d'hiver

d'herbicide sera appliquée pour ne pas pénaliser le couvert. Le tableau IV résume les différences de conduite entre un colza seul et un colza associé.

B. Les observations

Afin de suivre l'état de croissance et de nutrition azotée du colza et du couvert, des données quantitatives ont été recueillies à certains points-clés du développement.

- *Le peuplement*

Un comptage du peuplement a lieu sur 1 m² au stade levée, et au stade entrée hiver, il a pour but de valider l'essai au stade levée. Le peuplement à l'entrée hiver permet de mettre en évidence une concurrence du couvert sur le colza et/ou sur les adventices.

- *La biomasse*

La biomasse aérienne (notée en Kg/m²) est prélevée sur 1 m² aux stades clés entrée hiver, floraison et maturation physiologique. Un poids frais est pesé puis séché dans une étuve pendant 48h à 70°C pour obtenir un poids sec (noté Kg MS/m²). Ces données permettront d'évaluer la cohabitation concurrentielle ou bénéfique du couvert pendant l'automne (stade entrée hiver) et d'évaluer si sa croissance printanière est favorisée ou non par des couverts végétaux (stade floraison et maturité physiologique).

- *La teneur en azote*

A partir de la pesée de la matière sèche (stade entrée hiver, floraison et maturité physiologique), la teneur en azote est effectuée en laboratoire grâce à la méthode DUMAS (Principe en Annexe VIII). De la teneur en azote, la quantité d'azote absorbée par le colza et le couvert est calculée comme suit :

N absorbé (kgN/ha) = N total mesuré (%) x Matière Sèche (t/ha) x 10

Pour le couvert, cet indicateur permet d'estimer la quantité d'azote contenu dans les couverts à l'automne et donc d'estimer la réduction potentielle de fertilisation. Pour le colza, en les comparants, cette mesure permettra de voir si la présence d'un couvert améliore ou concurrence l'absorption de l'azote du colza à l'automne. Cet indicateur au printemps montrera si le couvert améliore ou pénalise le colza dans sa fourniture en azote.

- *L'élongation*

L'élongation s'estime en mesurant l'allongement des entre-nœuds entre le collet et l'apex terminal. On estime qu'il y a une élongation significative dès que cette distance est supérieure à 5cm. L'échantillon est basé sur 20 plantes. Cette mesure reflète une concurrence à la lumière. Dans nos essais, ce phénomène ne s'est pas exprimé, elle n'a donc pas été réalisée.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

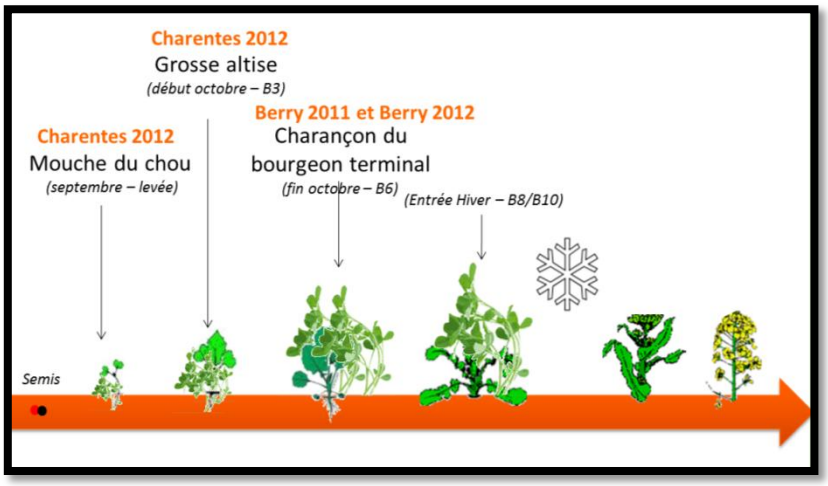


Figure 10 : ***Calendrier d'observations des insectes d'automne sur les sites d'expérimentation (CETIOM)***

Figure 11 : **Note de gravité sur pivot de colza (Bardy F., CETIOM)**

<u>Légende :</u>

<u>Classe 1 :</u> pivot sain
<u>Classe 3 :</u> pivot légèrement attaqué
<u>Classe 5 :</u> pivot plus fortement attaqué, galeries ne dépassent pas la moitié du diamètre du pivot
<u>Classe 7 :</u> galeries au moins égales à la moitié du diamètre du pivot
<u>Classe 9 :</u> pivot sectionné

Figure 12 : **Colza sur grillage (Méthode "Berlèse") (Palleau JP., CETIOM)**

- ***La présence et les dégâts selon le bioagresseur***.

La figure 10 représente le moment où les observations des insectes d'automne ont été effectuées.

Pour la mouche du chou, on détermine une quantité de galeries sur pivot du colza. Une note de gravité de l'attaque s'en suit. L'échantillon est basé sur 20 plantes. Cette observation s'interprète de la note 1 à 9. La note 1 représente un pivot sain et la note 9 un pivot sectionné. (Cf. figure 11) En comparant les modalités, nous conclurons ou non à un effet perturbateur du couvert.

Pour l'altise d'hiver, la méthode « Berlèse » (Principe en Annexe IX) (Cf. figure 12) est utilisée. Elle permet de comptabiliser un nombre de larves par plante. L'échantillon est basé sur 20 plantes. De cette manière, les couverts efficaces pour réduire les attaques seront identifiés. Cette mesure permet de quantifier la pression de cet insecte. En comparant les modalités, nous conclurons ou non à un effet perturbateur du couvert.

Pour le charançon du bourgeon terminal, deux méthodes sont utilisées. On prélève 20 plantes par section au scalpel, puis comptage du nombre de larves par plante (automne 2011). Ces mesures nous informent de la pression du charançon.
A l'automne 2012, un comptage du nombre de plantes attaquées par port buissonnant du colza à la parcelle est effectué. Cette mesure non destructive nous permet de quantifier les dégâts de cet insecte. En comparant les modalités, nous conclurons ou non à un effet perturbateur du couvert. Le changement de mode opératoire est lié à une recherche de gain de temps au niveau de l'expérimentation. Les deux années seront analysées séparément au vue de modes opératoires différents.

Pour les adventices, un comptage est effectué par flore dominante. A l'entrée hiver pour les flores d'automne et à la sortie hiver et à la montaison pour les flores de printemps. Ce comptage sert à vérifier s'il y a une réduction de la flore locale dûe aux couverts végétaux.

- ***Le rendement***

A l'issu de la récolte, le rendement brut est établi (poids brut par unité de surface). Les échantillons sont ensuite placés dans des sacs plastiques et conservés au frais, de manière à ce qu'ils ne se dessèchent pas. Ils sont ensuite envoyés dans un laboratoire d'analyses qui mesure le pourcentage d'impuretés et d'humidité. A partir de ces données, on peut calculer le rendement en grains propres et secs (GPS). Le GPS s'obtient en nettoyant l'échantillon puis en séchant la graine propre. Le rendement aux normes est le rendement avec un taux d'impuretés et un taux d'humidité normalisés à respectivement 2% et 9%.

$$Poids\ aux\ normes = \frac{Poids\ GPS}{(1-9\%)(1-2\%)} = \frac{Poids\ GPS}{0.8918}$$

Ce rendement permet de normaliser la comparaison des essais.

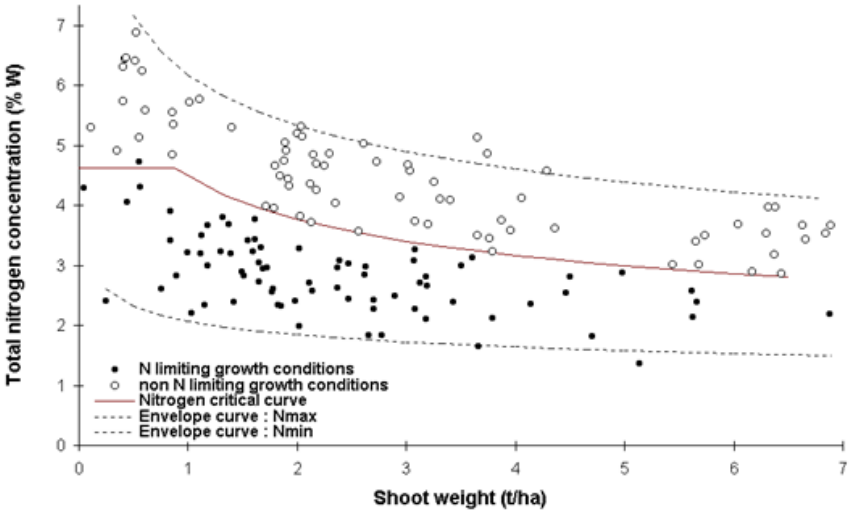


Figure 13 : **Courbe critique de la teneur en azote pour le colza d'hiver (Colnenne *et al*, 1998)**

- ***L'indice de nutrition azotée : INN***

Cet indicateur permet de statuer sur l'état azoté du colza aux stades clés. D'abord au stade entrée hiver, la présence du couvert pourrait modifier le statut nutritif du colza. Puis au stade floraison, après une réduction de l'azote minéral de 30 unités, le couvert pourrait palier à cette réduction. L'INN permettra de comparer les conduites à savoir un colza seul avec une dose X d'azote et un colza associé avec une dose X-30 unités d'azote. Lemaire et Gastal en 1997 on définit cet indice comme étant le ratio entre le pourcentage d'azote présent dans les tissus du colza au moment de l'échantillonnage (N) et le pourcentage d'azote critique de la culture (Nc) donne l'équation suivante :

$$INN = \frac{\% N}{\% Nc}$$

Colnenne *et al*. en 1998, détermine la courbe critique de la teneur en azote pour le colza d'hiver (Cf. figure 13) et définissent les équations suivantes :

Pour une matière sèche inférieure à 0.88 t/ha : $Nc\ (\%) = 4.63$
Pour une matière sèche comprise entre 0.88 et 6.9 t/ha :

$$Nc\ (\%) = 4.48 \times \text{Matière sèche (t/ha)}^{-0.25}$$

La courbe critique de la teneur en azote pour le colza d'hiver (Colnenne *et al*., 1998) a été validée pour des matières sèches allant de 0.1 t/ha à 6.9 t/ha (Cf. figure 13). De ce fait, pour des biomasses supérieures à 6.9 t/ha, nous extrapolerons la courbe actuelle.

Lorsque l'INN est supérieur à 1 la nutrition azotée est en excès, lorsqu'il est égal à 1 la nutrition azotée de la plante au moment de l'échantillonnage est optimale, par contre s'il est inférieur à 1, la nutrition azotée est carencée.

- ***La productivité du système : LER***

Le Land Equivalent Ratio (LER) permet de quantifier l'avantage des associations. Willey développe en 1979 cet indicateur. Il s'agit d'un ratio entre la productivité de la culture pure et la productivité de la culture associée.

$$LER = \frac{Rendement\ Colza\ associé}{Rendement\ Colza\ seul} + \frac{Rendement\ Couvert\ associé}{Rendement\ Couvert\ seul}$$

Or le couvert est détruit pendant l'hiver donc on calcule un LER partiel (LERp) pour deux mesures : le rendement et la biomasse aérienne

$$LER(rdt)p = \frac{Rendement\ Colza\ associé}{Rendement\ Colza\ seul}$$

$$ou \quad LER(BMS)p = \frac{Matière\ Sèche\ Colza\ associé}{Matière\ Sèche\ Colza\ seul}$$

Si le LER est supérieur à 1 alors les ressources sont mieux valorisées par l'association que par la culture pure. Inversement, un LER inférieur à 1 peut résulter d'une compétition particulièrement forte ou d'une absence de facilitation, ce qui induit un rendement total de l'association inférieur à celui de la moyenne des cultures pures et donc un désavantage pour les cultures en association (Vandermeer, 1989). Cet indicateur sera calculé par site puis comparer, permettra aussi de s'affranchir des différents milieux.

Tableau V: ***Modalités des différents colzas associés***

Code couvert	***Légende***	*Famille botanique*
Cam	Colza associé à de la **cameline**	Brassicacée
Colza seul	Colza en culture pure	Brassicacée
FevLent	Colza associé à de la **féverole** et des **lentilles**	Fabacées
GFL	Colza associé à de la **gesse**, du **fenugrec** et des **lentilles**	Fabacées
Lent	Colza associé à des **lentilles**	Fabacée
Nav	Colza associé à de la **navette**	Brassicacée
Pois	Colza associé à du **pois**	Fabacée
VVT	Colza associé à des **vesces pourpres** et **communes** et du **trèfle d'Alexandrie**	Fabacées
AvLent	Colza associé à de l'**avoine** et des **lentilles**	Poacée et Fabacée
AvPois	Colza associé à de l'**avoine** et du **pois**	Poacée et Fabacée
FevGess	Colza associé à de la **féverole** et de la **gesse**	Fabacées
FevFenu	Colza associé à de la **féverole** et du **fenugrec**	Fabacées
FevVesce	Colza associé à de la **féverole** et de la **vesce commune**	Fabacées
FevLentTb	Colza associé à de la **féverole**, des **lentilles** et du **trèfle blanc**	Fabacées
VpVc	Colza associé à des **vesces pourpres** et **communes**	Fabacées

- ***L'indice de fréquence des traitements : IFT***

L'IFT est un indicateur d'intensité d'utilisation de produits phytosanitaires. Il correspond au rapport entre la dose appliquée et la dose homologuée en tenant compte de la surface traitée de la parcelle.

Calcul de l'indice de fréquence de traitements pour l'application d'un produit :

$$IFT = \frac{Dose\ appliquée}{Dose\ homologuée} \times \frac{Surface\ traitée}{Surface\ de\ la\ parcelle}$$

Cet indice va permettre de comparer les réductions potentielles aux produits phytosanitaires (herbicide voire insecticide) entre une conduite colza seul et une conduite colza associé.

- ***Les charges opérationnelles***

Le calcul des charges opérationnelles est un indicateur permettant de chiffrer l'intérêt économique de cette technique innovante. De part, les charges opérationnelles, il sera possible de comparer les investissements entre les conduites avec ou sans couverts associés. Pour s'affranchir des flutuactions annuelles des prix, seront pris en compte les prix de l'année 2012 (semences, passages des tracteurs, engrais et produits phytosanitaires).

C. L'analyse statistique

Les données obtenues sont traitées avec le logiciel de statistique R (version 2.15.3).

Une analyse de variance, au seuil de 5%, sera réalisée à l'aide de la fonction lm afin d'expliquer les variables peuplement, biomasse, LER, INN, dégâts insectes, teneur en azote, azote absordé, nombre de silliques, rendement par un ensemble de facteurs explicatifs que sont le couvert, l'année, le sol et le site.

Sachant que les observations sont indépendantes, préalablement à l'anova, nous vérifirons les conditions d'application à savoir la normalité des variables et l'homogénéité des variances. Si les conditions d'application ne sont pas vérifiées, nous passerons par une transformation jusqu'à normalité.

Un test de Tukey, au seuil de 5%, sera ensuite utilisé afin de comparer deux à deux les modalités. De cette maniére, on pourra déterminer statistiquement quel couvert est le plus bénéfique pour le colza dans l'association. La méthode des contrastres pourra étre utilisée pour comparer le témoin (colza seul) aux modalités (colza associé).

Une régression linéaire simple sera faite pour déterminer, s'il existe, une relation fonctionnelle entre la variable à expliquer (biomasse, teneur en azote) et une ou plusieurs variables explicatives (biomasse, azote absordé, dégâts insectes).

Les données seront illustrées par des histogrammes avec des écart- types représentant la variabilité de celle-ci

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette dernière partie, nous exposerons et discuterons des résultats obtenus suite à la cohabitation du colza avec des couverts de Brassicacées et de Fabacées, en termes de fourniture d'azote et de services rendus vis-à-vis des insectes automnaux puis des adventices. La légende ci-contre (Cf. tableau V) traduit les associations colza/couverts expérimentées.

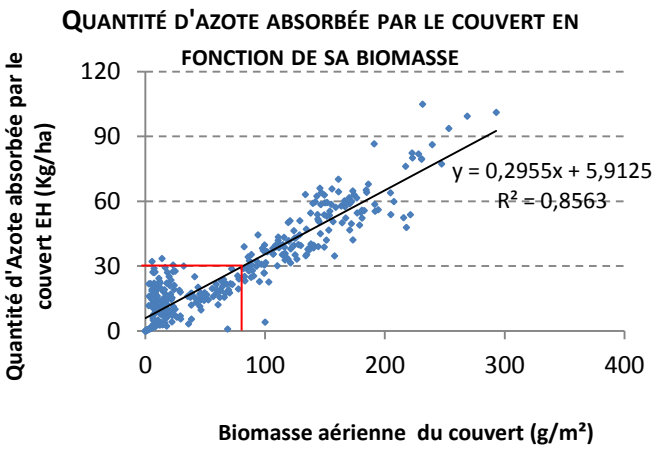


Figure 14: **Quantité d'azote absorbée par le couvert en fonction de sa biomasse (y=0.2955x+5.9125 et R²=0.8563)**

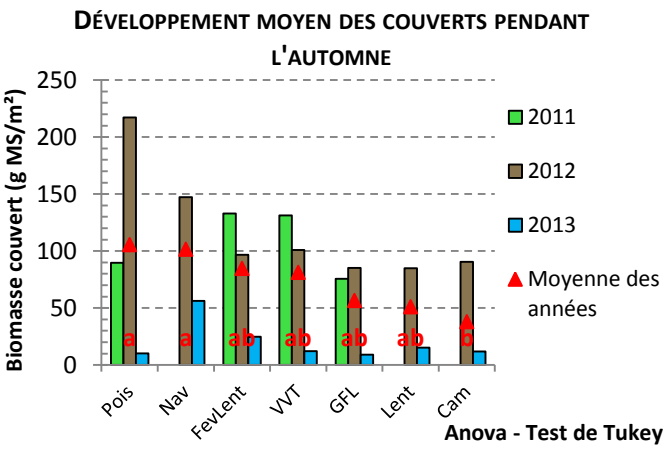


Figure 15: **Développement moyen des couverts pendant l'automne.**

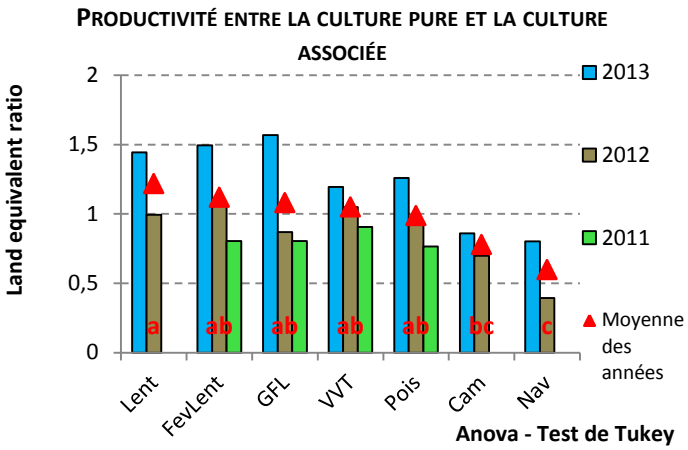


Figure 16: ***Différence de biomasse entre un colza seul et un colza associé.***

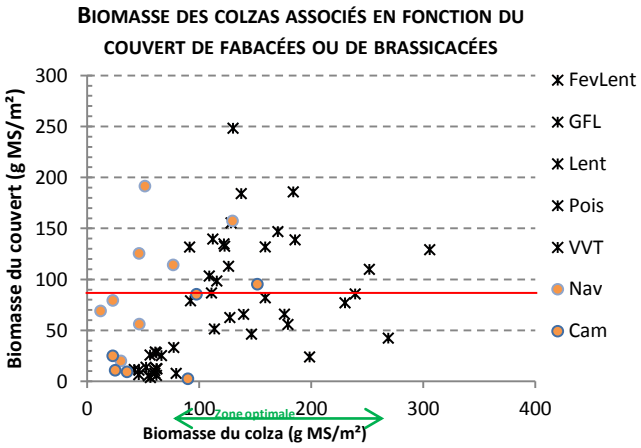


Figure 17 **Biomasse des colzas associés en fonction du couvert de Fabacées (croix noire) ou de Brassicacées (rond orange) à l'entrée de l'hiver.**

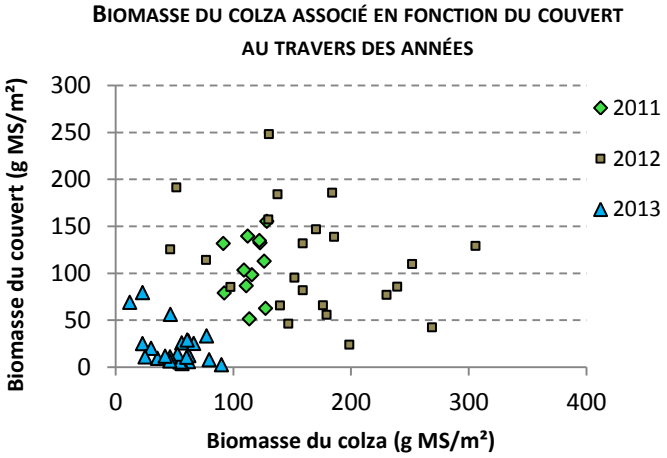


Figure 18 ***Biomasse du colza associé en fonction du couvert selon l'année***

I. Vers une réduction de l'apport azoté pour un colza associé

1. Les couverts contiennent 30 unités d'azote minimum

Il faut envisager une biomasse minimum de 85 g MS/m², correspondant à une matière fraîche de 536g/m² (Cf. figure 14 et Annexe X Fig. A) pour que les couverts contiennent un stock de 30 unités d'azote afin de potentiellement les restituer au colza par la suite. Il existe des différences de biomasse produite selon le couvert (p-value=0.0032) selon l'année (p-value=3.10e-09) et selon le sol (p-value=0.019).

Parmi les trois comportements de couverts observés à l'automne, le pois et la navette sont à surveiller car ils produisent le plus de biomasse et pourraient être concurrentiels au colza suivant les années (Cf. figure 15). Il a été relevé par des expérimentateurs, que le pois lors d'automne très poussant pouvait étouffer le colza suite à sa destruction par le gel.

Suivant les années, le couvert n'atteint pas toujours un développement minimum pour stocker 30 unités d'azote dans sa partie aérienne (Cf. figure 17). Cependant, l'azote contenu dans leurs parties souterraines n'est pas mesuré. Une thèse INRA-Cetiom (Mathieu Lorin) est notamment en cours pour déterminer quand et comment le colza valorise l'azote contenu dans les couverts.

Les conditions météorologiques influencent le développement des couverts et du colza. Les résultats de l'année 2013 permettront d'observer cette technique dans des conditions d'implantation difficiles.

Au vu des résultats (Cf. Annexe XI tableau A), les sols à dominance argileuse auraient tendance à favoriser le développement des couverts. Or, ici il s'agit plutôt d'un effet site car la faible variabilité géographique (7 essais au Berry) peut générer un biais. De plus, historiquement la Lorraine est une région où le colza a un potentiel de biomasse et de rendement plus important qu'en Charentes.

Dans la suite de nos résultats, nous vérifierons si la biomasse du couvert nécessaire pour fournir 30 unités d'azote est concurrentielle ou bénéfique au colza. Enfin, la restitution de l'azote contenu dans les couverts sera analysée.

2. La cohabitation colza/couvert

A l'entrée de l'hiver, la biomasse optimale du colza doit être comprise entre 80g MS/m² et 260g MS/m² (soit 500 g MF/m² à 2000g MF/m²) pour pouvoir passer l'hiver (Cf. Annexe X Fig. B). A cette période, la biomasse du couvert influence le développement du colza (p-value=8.220e-09). Dans le cas d'un colza associé à un couvert de Brassicacées, les résultats montrent que très peu de points se placent dans la zone optimale (Cf. figure 17). A l'inverse, dans le cas de l'association colza/Fabacée, le nombre de colzas ayant une biomasse optimale est supérieur (Cf. figure 17). D'où l'effet de la famille du couvert (p-value=1.715e-08).

D'une part, un couvert de Brassicacées s'implante rapidement et concurrence très tôt le colza sur les ressources en eau, lumière et éléments nutritifs. Le couvert de Fabacées lève plus tard que le colza d'où une moindre concurrence.

D'autre part, l'effet année est très marqué (p-value=2.025e-10) (Cf. figure 18). Lorsque l'année est à forte croissance, le colza et le couvert se développent correctement (2012), mais lorsque l'année est difficile, ni le colza, ni le couvert ne poussent (2013).

D'après ces premiers résultats, on peut déduire que la concurrence exercée l'un sur l'autre est la même quelles que soient les conditions météorologiques à l'entrée de l'hiver. De plus, le LER (land equivalent ratio) (Cf. figure 16) juge de l'efficacité d'un couvert en s'affranchissant des années, des sites et des sols. On remarque l'intérêt des couverts de

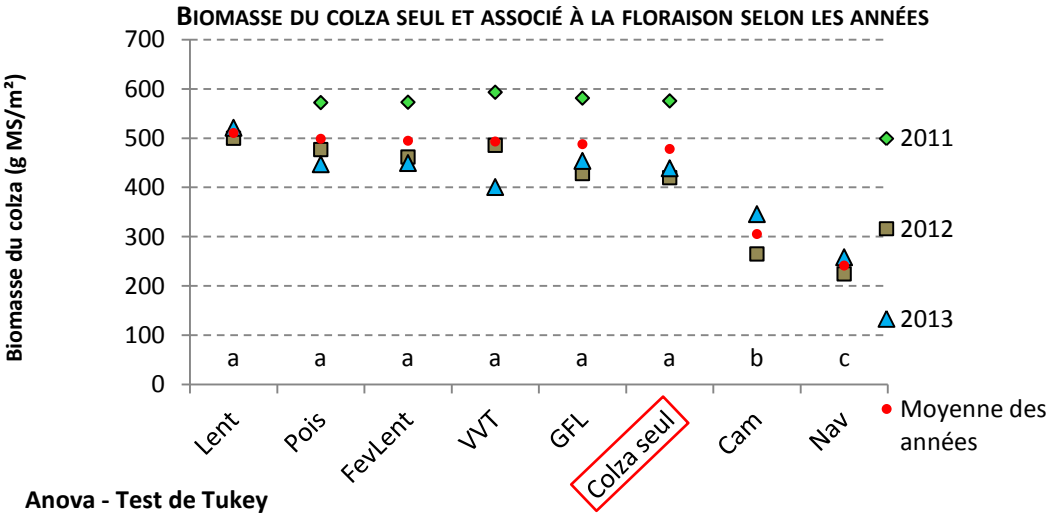


Figure 19 ***Biomasse du colza seul et associé à la floraison selon les années.***

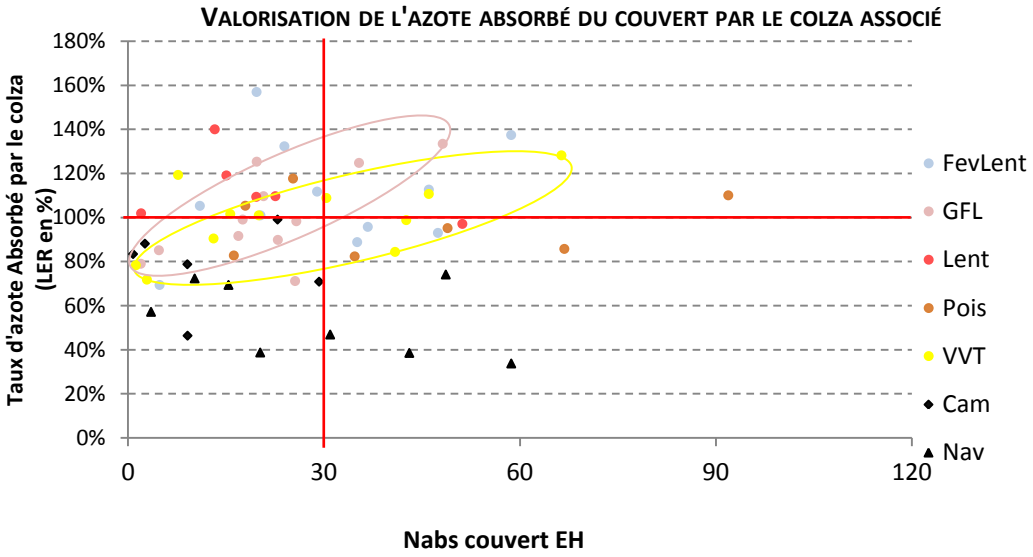


Figure 20 **Valorisation de l'azote absorbé du couvert par le colza. (LER de l'azote absorbé par le colza à la floraison en fonction de l'azote absorbé par le couvert à l'entrée hiver en %)**

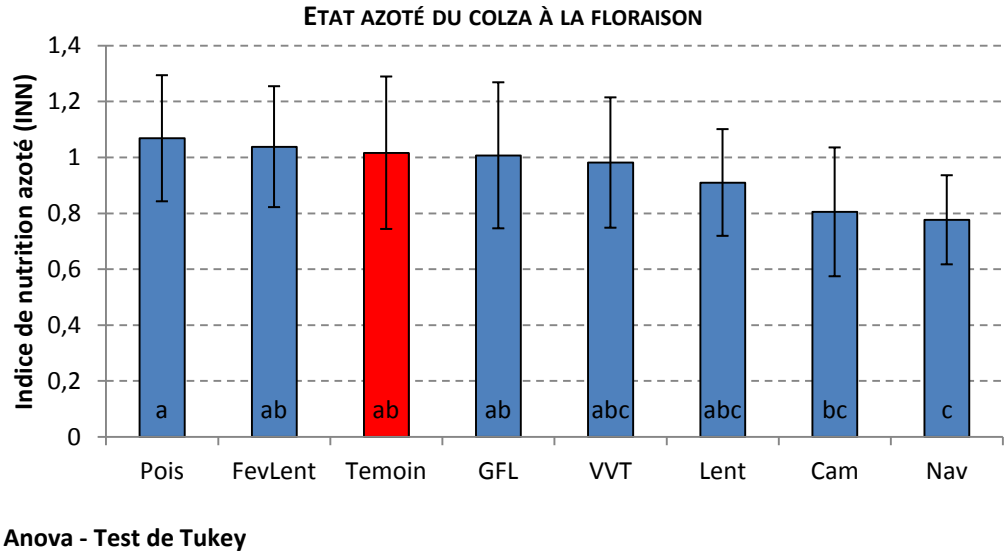


Figure 21 **Etat azoté du colza à la floraison selon son couvert**

Fabacées lors d'année difficile (2013). Ils permettent d'avoir un colza plus gros que le colza seul (LER>1). En revanche, les couverts de Brassicacées ne génèrent pas cet avantage.

L'hypothèse qui pourrait expliquer l'effet des couverts de Fabacées est la prospection racinaire de ces espèces permettant un développement racinaire plus important du colza d'où une facilitation au niveau des ressources et une moindre compétition sur l'eau, la lumière et les éléments nutritifs.

3. Développement du colza à la floraison

A la floraison avec 30 unités d'azote en moins, on observe un effet du couvert sur la biomasse du colza (p-value=5.171e-14) .La biomasse d'un colza associé aux Fabacées n'est pas différente de celle d'un colza seul. En revanche, le colza associé aux Brassicacées est plus petit que le colza seul. (Cf. figure 19)

La concurrence des couverts de cameline et de navette exercée à l'entrée de l'hiver n'a pas été compensée par le colza. A la floraison, la navette n'a pas gelé sur tous les sites, elle concurrence physiquement le colza et commence sa floraison. La cameline contient des glucosinolates ; lors de sa destruction par le gel, ceux-ci pourraient, par allélopathie perturber l'alimentation du colza. Cette hypothèse reste à confirmer car le colza lui-même produit ces composés.

La cameline et la navette ne gèlent pas dans toutes les situations. Dans ce cas, ces espèces ne restituent pas d'azote et continuent à consommer des ressources (nutriments, eau) non disponible pour le colza. Cette hypothèse explique la faible biomasse des colzas associés aux Brassicacées.

L'absence de différence entre les colzas associés (Lent, Pois, FevLent, VVT, GFL) et le colza seul montre que la diminution de l'azote minéral de 30 unités au printemps est possible. Réaliser une courbe de réponse à l'azote pourrait permettre d'affiner la dose à soustraire suivant chaque association.

Après traitement statistique, l'effet des couverts sur l'absorption de l'azote par le colza est avéré (p-value=3.845e-06) et dans une moindre mesure l'effet de l'absorption de l'azote par le couvert à l'entrée hiver (p-value=0.03315). De plus, on remarque un effet du sol (p-value=0.02334) (Cf. Annexe XI tableau B). D'après la figure 20, tous les colzas associés aux Brassicacées ne semblent pas valoriser l'azote absorbé par la navette et la cameline. Parmi ces deux couverts, seule la navette fournit 30 unités d'azote ou plus (1 cas sur 2) dans ces parties aériennes.

Concernant les couverts de Fabacées, beaucoup de points se placent avant la barre des 30 unités d'azote absorbées par le couvert sans pour autant être concurrencé sur la biomasse (Cf. figure 20) et sur l'état azoté (Cf. figure 21). On peut penser que l'azote contenu dans les parties souterraines des couverts n'est pas négligeable. L'effet sol reflète en réalité un effet site. En effet, 7 essais sur 11 ont eu lieu dans le Berry. Le grand nombre de données provenant des essais du Berry pèse sur les résultats. L'hypothèse pourrait être que comme la biomasse des couverts en Lorraine et en Charentes est plus importante que dans le Berry, la minéralisation est plus longue et la redistribution de l'azote au colza aussi.

La valorisation de l'azote absorbé par les couverts n'est pas simple à mettre en évidence. Beaucoup de mécanismes rentrent en jeu. Il peut y avoir de la facilitation racinaire, un fonctionnement propre au sol ou de la minéralisation des organes souterrains en plus de la minéralisation des organes aériens. La thèse de Mathieu Lorin a pour but de mettre en évidence (grâce au marquage à l'azote ^{15}N) comment l'azote est absorbé par les couverts et est valorisé par le colza, et en quelle proportion.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

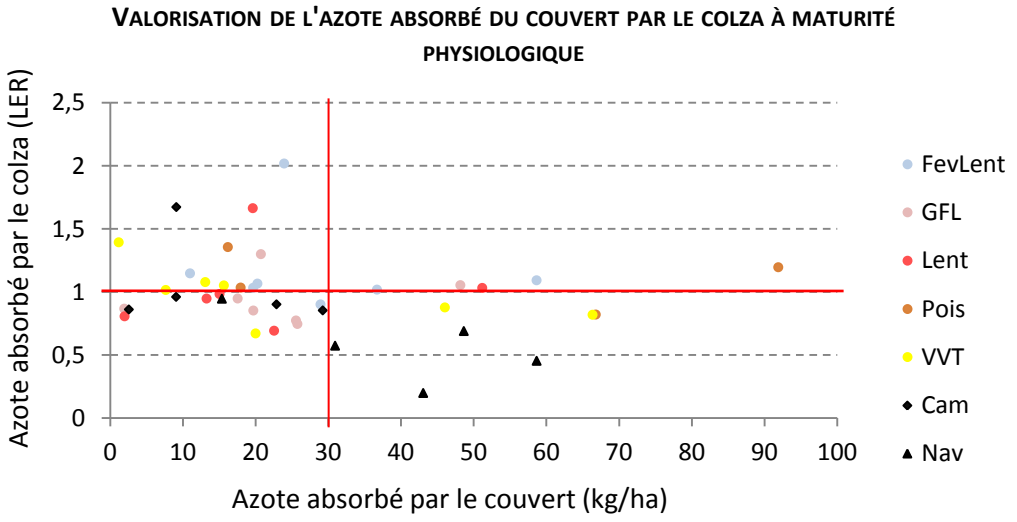


Figure 22 **Valorisation de l'azote absorbé du couvert par le colza à maturité physiologique**

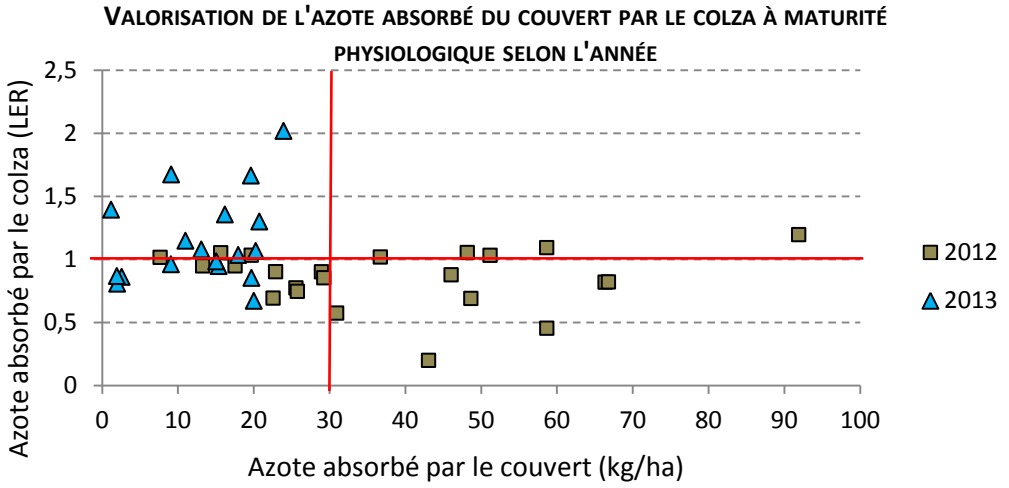


Figure 23 **Valorisation de l'azote absorbé du couvert par le colza à maturité physiologique selon l'année**

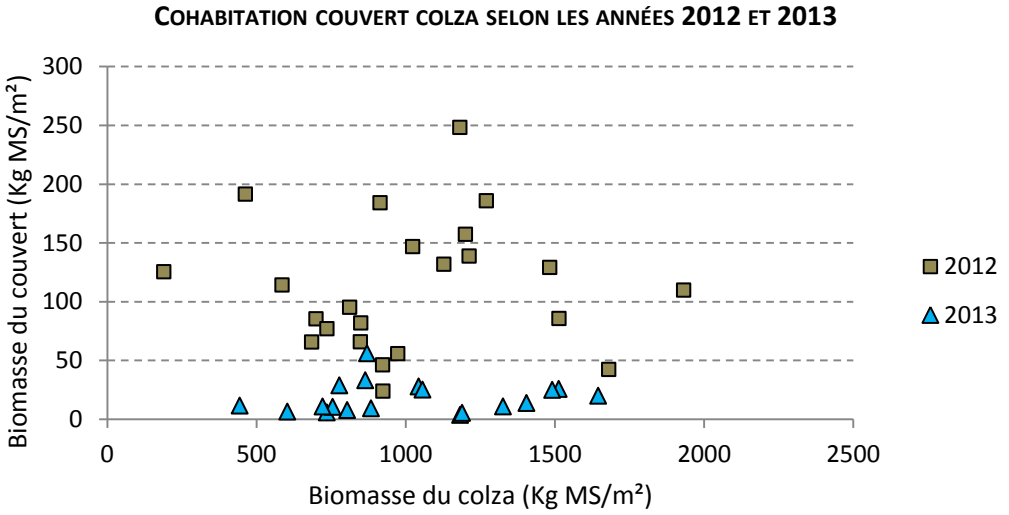


Figure 24 **Cohabitation couvert/colza selon les années 2012 et 2013 à maturité physiologique**

4. Observation du colza à la maturation physiologique

L'effet des couverts sur la nutrition azotée du colza a été mis en évidence. Par la teneur en azote du colza (p-value=0.05396) et l'azote absorbé du couvert par le colza (p-value=0.07708), aucune différence significative n'est avérée entre un colza associé « conduite bas intrant » (30 unités d'azote en moins) et un colza seul « conduite standard ».

En revanche les couverts à base de Brassicacées ne semblent pas apporter un statut azoté confortable au colza (Cf. figure 22). On peut remarquer que 9 fois sur 10 les couverts de Brassicacées (cameline ou navette) ne permettent pas au colza de valoriser leur azote. On pourrait expliquer ce résultat par la concurrence exercée rapidement sur le colza dès l'implantation.

Les couverts à base de Fabacées offrent une large gamme de comportements. On peut remarquer que la majorité des points (symbolisés par des ronds Cf. figure 22) se placent avant la barre des 30 unités d'azote absorbé par le couvert. Malgré cela, le statut azoté des colzas associés n'est pas pour autant carencé. En effet, l'azote contenu dans les racines n'est pas mesuré. Il semble que les racines contiennent une part non négligeable d'azote. Parmi eux, l'association féveroles/lentilles qui semble faciliter l'absorption de l'azote par le colza 6 fois sur 7. Contrairement à l'association colza/gesses/fenugrecs/lentilles, qui dans 5 cas sur 7 semble être pénalisée par rapport au colza seul. La biomasse du couvert peut être une explication. Le couvert féveroles/lentilles a une biomasse de 80 g MS/m² et le couvert gesses/fenugrecs/lentilles a une biomasse de 55 g MS/m² (calcul réalisé sur 11 essais, 3 années et 3 sites).

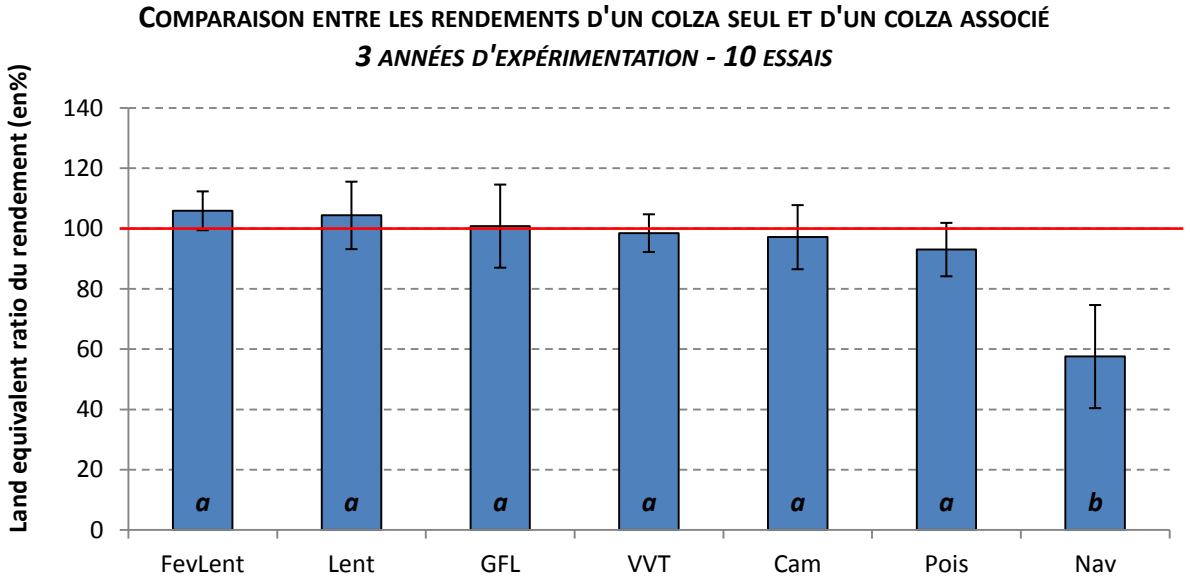
Un effet de l'année a été observé sur la teneur en azote (p-value=1.314e-08) et sur l'azote absorbé par les colzas associés (p-value=0.02436) (Cf. figure 23). En 2013, aucun couvert ne contient plus de 30 unités d'azote dans ces parties aériennes. Cependant, les colzas associés (2013) ne sont pas carencés.

Plusieurs hypothèses sont possibles. L'azote contenu dans les racines des couverts n'est pas négligeable, combiné à un climat doux et pluvieux en 2013, favorable à la minéralisation. Dans ce cas lors des prochaines expérimentations, il serait intéressant de mesurer l'azote présent dans l'ensemble du couvert (parties aériennes et souterraines).

D'après la figure 24, les colzas de l'année 2012 et 2013 ont une biomasse similaire. La différence se trouve au niveau de la biomasse des couverts associés. La rapidité de minéralisation des couverts à faible biomasse semble plus importante. La lignine contenue dans les couverts à forte biomasse minéralise très lentement.

Les mécanismes de minéralisation de l'azote sont mal connus. Le couvert capte de l'azote et semble le réinjecter dans le sol suite à sa minéralisation. Cependant, on ne connait pas les proportions d'azote redistribuée. La thèse INRA-CETIOM de Mathieu Lorin a pour objectif de retracer le cheminement de l'azote absorbé par les couverts puis absorbé par le colza suite à la minéralisation du couvert.

Inclure un témoin « zéro azote » pour mesurer uniquement l'effet des couverts (considérant que l'apport azoté du sol est le même sur tout l'essai) pourrait être intéressant.



Anova - Test de Tukey

Figure 25 **Rendement des colzas associés (en % du colza seul) selon son couvert végétal sur 3 sites (Berry, Charentes, Lorraine), sur 5 types de sols (argilo calcaire, argilo calcaire profond, argilo limoneux, limono argileux et limono sableux), sur 3 années (2011, 2012, 2013) et sur 10 essais.**

5. Le rendement

Après trois années d'expérimentation, la figure 25 compare les rendements obtenus entre un colza seul et un colza associé. Il existe des différences entre le colza seul et le colza associé suivant l'association (p-value=1.239e-06). Seule l'association colza/navette pénalise le rendement du colza significativement.

Grâce au LER, les rendements des colzas associés son fonction de leur témoin (colza seul). Cette figure permet de juger de la régularité des rendements obtenus lors d'association. On remarque que les colzas associés à des féveroles lentilles et des lentilles ont un rendement supérieur au colza seul, avec moins d'intrant de l'ordre, de 6 et 5% (non significatif).

Avec un itinéraire technique réduit (désherbage réduit, impasse insecticide, 30 kg/ha d'azote minéral en moins) certains couverts permettent au colza d'exprimer un rendement équivalent à un colza seul en itinéraire technique standard.

Le jeu de couleur respecte les classes statistiques en 2011, en vert les couverts statistiquement efficaces par rapport au témoin, en bleu équivalent au témoin et en orange significativement nuisible pour le colza. Ce jeu de couleur est maintenu pour 2012, on constate que le classement n'est pas maintenu.

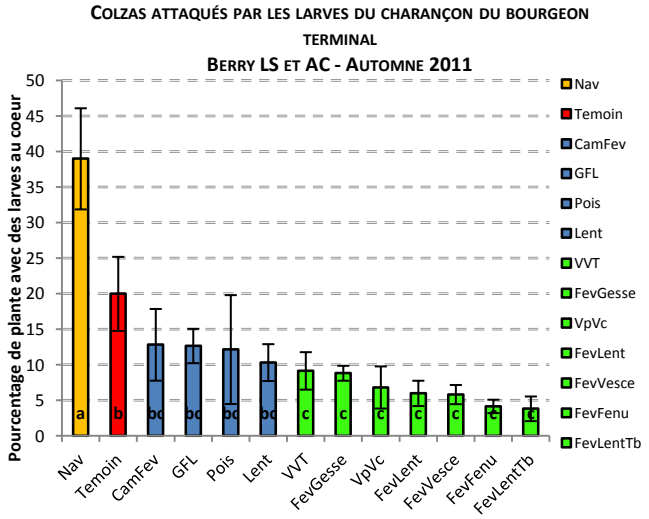


Figure 26 : **Taux d'attaque d'un insecte du colza en fonction de son couvert à l'automne 2011 dans le Berry sur sol limono-sableux (LS) et sur sol argilo-calcaire (AC).**

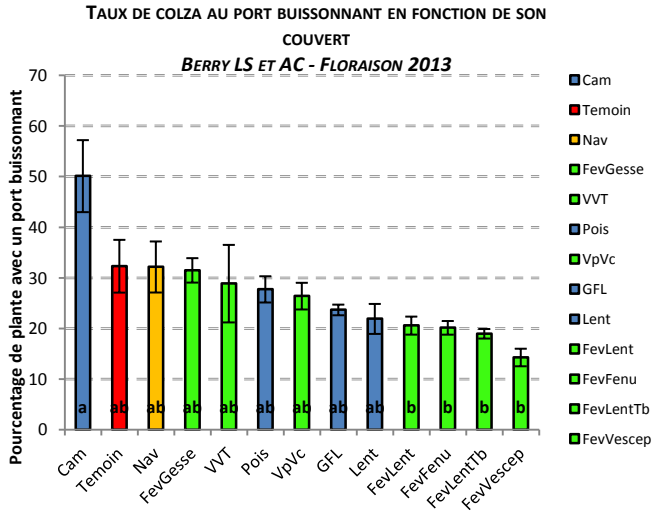


Figure 27 : **Taux de port buissonnant du colza suite aux attaques d'un insecte à la floraison 2013 dans le Berry sur sol limono-sableux (LS) et sur sol argilo-calcaire (AC).**

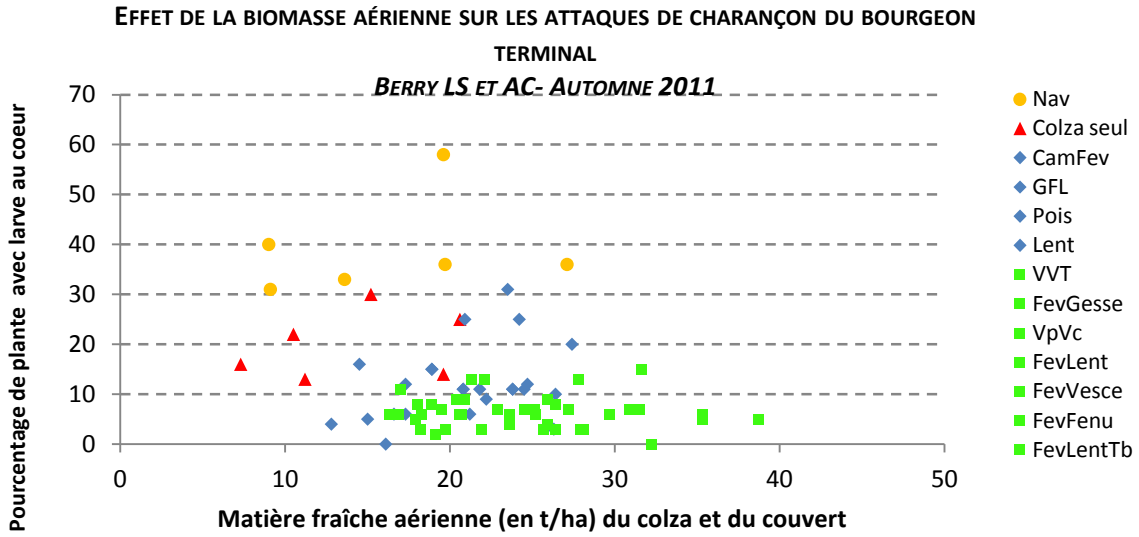


Figure 28 : **Biomasse aérienne du colza et du couvert à l'automne 2011 en relation avec le pourcentage de plante avec larve d'insecte au cœur dans le Berry sur sol limono-sableux (LS) et sur sol argilo-calcaire (AC).**

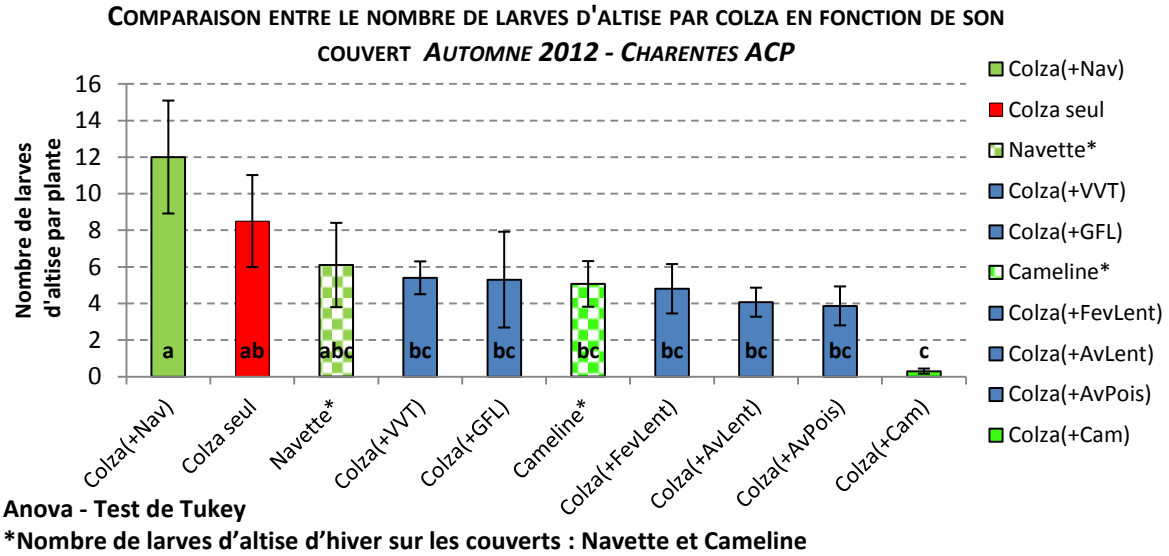


Figure 29: **Taux d'attaque de l'altise d'hiver sur colza selon son couvert.**

II. Les services rendus

1. Le charançon du bourgeon terminal

A l'automne 2011, un effet des couverts est observé (p-value=4.522e-15). On peut distinguer 3 comportements (Cf. figure 26) parmi les couverts que l'on ne retrouve pas en 2013 (Cf. figure 27). Des couverts nuisibles (Navette), des couverts neutres et des couverts bénéfiques au colza notamment les couverts à base de féveroles et de vesces. L'année 2013 n'infirme pas cette hypothèse, on retrouve un effet du couvert (p-value=0.0158) et un effet du sol (p-value=5.385e-10) mais des comportements différents. La figure 28 montre l'avantage d'associer un colza avec des couverts à base de féveroles et vesces sur le taux d'attaques du charançon. Par rapport à l'hypothèse initiale, les stades du couvert et du colza au moment du vol n'ont pas été testés.

Les différences de comportement peuvent s'expliquer par la biomasse aérienne. En effet, à l'automne 2012, les colzas sont très chétifs (biomasse fraîche aérienne de 10 à 745 g/m² en entrée hiver) en comparaison aux colzas de 2011 (biomasse fraîche aérienne de 330 à 2920 g/m²). De plus, il s'est avéré que les gros colzas, par leur volume, contrarient les larves de charançon. En effet, le charançon adulte pond dans les pétioles ; lorsque il pond sur un gros colza, le temps que la larve descende au cœur est plus important que sur un colza chétif (Com pers. Céline Robert).

Les colzas mélangés avec des couverts à base de vesces et de féveroles (Cf. figure 26 et 27) sont les moins attaqués, les différences de hauteur au-dessus du colza, d'envergures et de couleurs des couverts pourraient avoir perturbées la reconnaissance du colza par le charançon.

Afin d'affiner ces résultats, plusieurs années d'expérimentation sont nécessaires avec un protocole unique. Pour l'instant, faire une impasse sur le traitement insecticide contre le charançon du bourgeon terminal est trop risqué.

2. L'altise d'hiver

A l'automne 2012, il a été observé un effet des couverts (p-value=0.000739) sur les attaques de l'altise d'hiver (Cf. figure 29). L'association colza/navette est la plus touchée, contrairement à l'association colza/cameline qui elle-même est moins attaquée que le colza seul. Tous les autres couverts associés ont un taux d'attaques équivalent statistiquement au colza seul. Cependant, des tendances à la diminution ressortent pour les couverts à base d'avoine et pour ceux à base de lentilles. On peut remarquer que seuls les couverts de Brassicacées sont attaqués.

D'après ces résultats, le couvert à base de navette a une tendance à entraîner le ravageur sur le colza. L'odeur dégagée par la navette attire certainement l'altise d'hiver. En revanche, dans l'association colza/cameline, l'altise d'hiver semble préférer la cameline au colza. Ce comportement peut être dû à la forte odeur dégagée par la cameline. Concernant les couverts d'avoine, la forte densité semée et leur rapidité d'implantation ont peut-être gênée physiquement la ponte de l'altise au collet du colza. Néanmoins, ce couvert s'est avéré trop concurrentiel au colza par la suite (destruction chimique courant octobre). Cette même hypothèse peut être imaginée pour les couverts à base de lentilles.

Cependant, ces résultats sont basés sur une seule année d'expérimentation. D'autres essais sont à envisager afin de confirmer ou d'infirmer ces résultats. Par la suite, il serait intéressant d'affiner les densités de semis pour les couverts à base d'avoine (densité moins importante) et de lentille (densité plus importante).

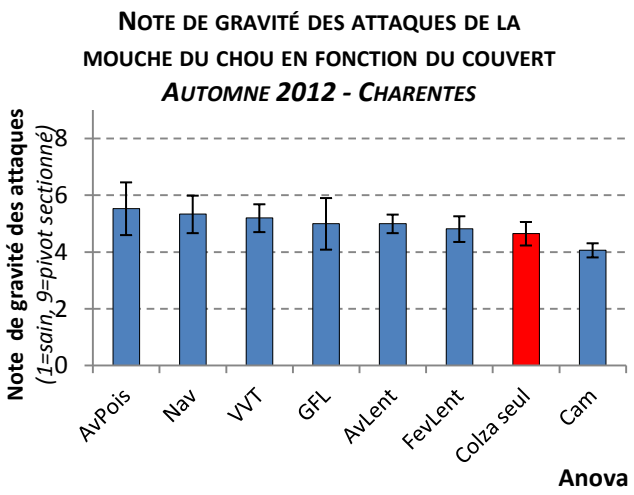


Figure 30 : **Gravité des attaques de la mouche du chou sur colza selon son couvert (Automne 2012-Charentes)**

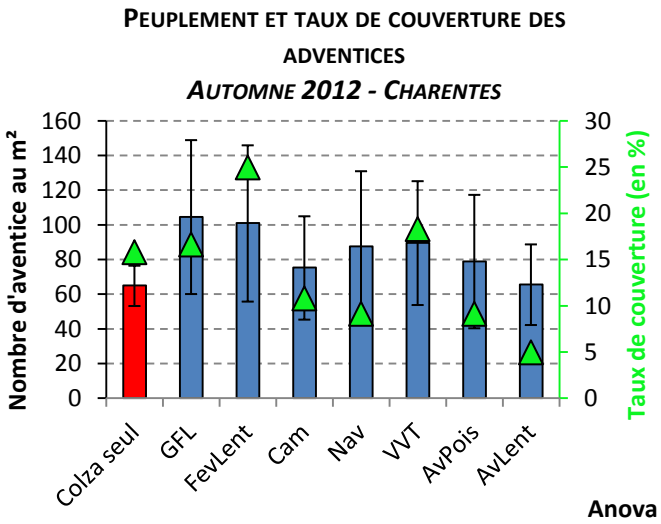


Figure 31: **Peuplement et taux de couverture des adventices. Automne 2012 - Charentes**

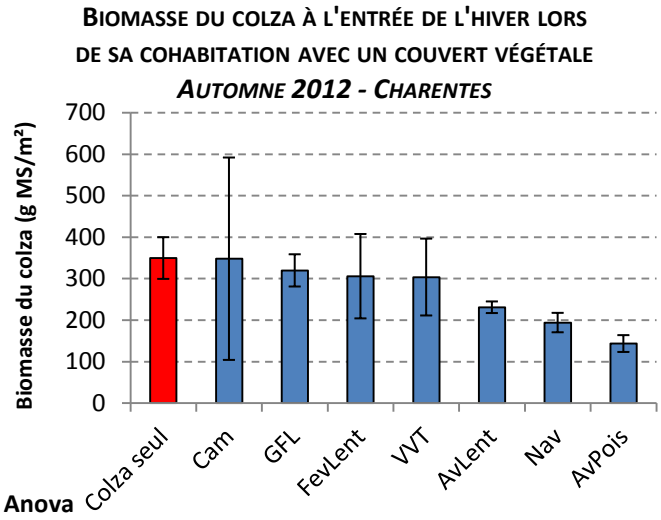


Figure 32 : **Cohabitation du colza et de son couvert végétale à l'automne 2012 en Charentes sur sol argilo-calcaire profond (ACP).**

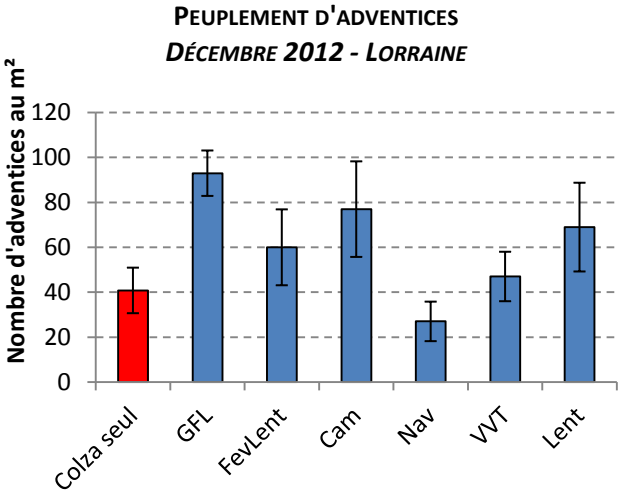


Figure 33 : ***Peuplement d'adventices en Lorraine sur sol argilo limoneux (AL)***

Tableau VI : **Effet du peuplement du couvert sur le peuplement de géranium dans le Berry en 2011 sur sol argilocalcaire (Analyse de variance au seuil de 5%)**

	Effet sur peuplement de géranium (p-value)
Peuplement du colza	0.35631
Peuplement du colza + couvert	0.2221
Peuplement du couvert	0.06683

3. La mouche du chou

Au vu des résultats, l'effet des couverts sur les attaques de la mouche du chou n'ont pas été mis en évidence (p-value=0.391) (Cf. figure 30).

Ces résultats sont le fruit d'une seule année d'expérimentation. L'absence d'effet des couverts sur la mouche du chou reste à prouver. Les repousses de céréales, avec une destruction chimique retardée (fin Octobre), pourraient perturber la ponte. Le nyger, une plante sensible au gel (-1°C) et au port dressé, pourrait gêner la ponte de la mouche dans les régions où le climat est doux. Ces deux pistes sont à explorer. Dans les années à venir, il serait intéressant de noter le stade du couvert et du colza au moment du vol afin d'identifier les éventuels leviers pour lutter contre ce ravageur.

4. Les adventices

Charentes – Automne 2012 :

Rappelons que le colza associé n'a reçu qu'une demi-dose d'herbicide par rapport au colza seul. L'effet des couverts sur l'abondance des adventices n'a pas pu être mis en évidence (p-value=0.08903). Il en est de même, sur le pourcentage de couverture des adventices (p-value=0.08908) (Cf. figure 31). Ces probabilités sont très proches du seuil de 5%. En effet, lorsque l'on compare un colza seul désherbé (pleine dose) et un colza associé désherbé (1/2 dose), on remarque que certains couverts sont plus efficaces (navette, avoine lentille et avoine pois) que d'autres en termes de compétition aux adventices (Cf. Annexe XI tableau C). Cependant, à l'automne, ils ont tendance à rentrer en compétition avec le colza (Cf. figure 32).

L'absence d'effet significatif montre que la conduite 'bas intrant' d'un colza associé n'est pas différente, d'un point de vue désherbage, qu'une conduite conventionnelle d'un colza en culture pure. Cependant, l'emploi d'une demi-dose d'herbicide sur un colza associé nécessite quelques précautions. Tout d'abord, son implantation doit se faire sur une parcelle peu enherbée afin d'éviter une concurrence trop importante. Ensuite, si les moyens logistiques le permettent, un faux-semis permettra d'appauvrir le stock grainier de mauvaises herbes. Enfin, la gestion du désherbage dans un colza associé pourrait être améliorée par la valorisation des repousses de céréales en plus du couvert.

Dans les prochaines expérimentations, il faudrait peut-être affiner les proportions d'avoine dans les couverts avoine lentille et avoine pois pour éviter une trop grande concurrence au colza et le recourt au désherbage.

Lorraine – Décembre 2012 :

Aucune différence significative entre le colza seul (désherbage pleine dose) et le colza associé (désherbage demi-dose) n'est constaté en Lorraine (p-value=0.0874) (Cf. figure 33). Cependant la probabilité est très proche de 5%. L'expérimentation sera reconduite en 2014 afin d'affiner ces résultats.

Berry : La problématique « Géranium » sur sol argilo calcaire :

2011 :

L'effet du couvert n'a pas pu être mis en évidence (p-value=0.2037). Cependant, on observe une tendance (Cf. tableau IV). Le peuplement du couvert aurait une disposition naturelle à gêner le géranium.

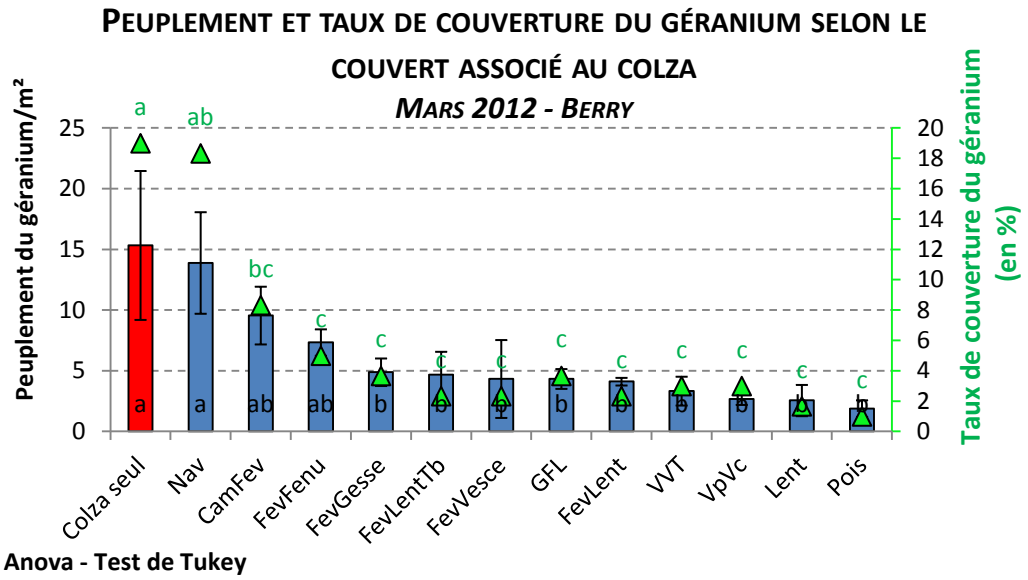


Figure 34: **Peuplement et taux de couverture du géranium en Mars 2012 dans le Berry sur sol argilo calcaire.**

Tableau VII: **Corrélation entre la biomasse de l'association colza/couvert et la gestion de l'adventice « géranium » en mars 2012**

	Peuplement de géranium (p-value)	Couverture de géranium (%) (p-value)
Biomasse colza + couvert (Octobre 2011)	3.783e-06	7.426e-08
Biomasse colza associé (Mars)	0.006192	0.001022

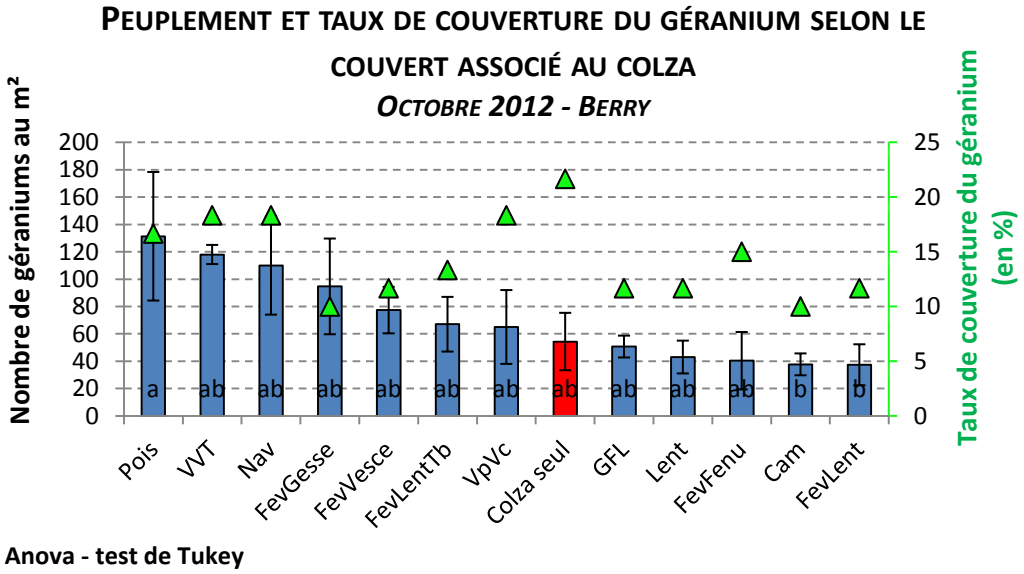


Figure 35: **Peuplement et taux de couverture du géranium en Octobre 2012 dans le Berry sur sol argilo calcaire.**

Mars 2012 :

L'effet des couverts sur la population de géranium est avéré. Les couverts réduiraient le nombre de géraniums (p-value=2.301e-05) et leur biomasse (p-value=1.651e-06) (Cf. figure 34). Concernant le peuplement d'adventices, les couverts se comportent de deux manières. Les couverts sans effet par rapport au colza seul (navette ; cameline féverole ; féverole fenugrec) et les couverts qui réduisent le nombre d'adventices. Pour le taux de couverture, seul la navette n'a pas d'effet sur le taux de couverture du géranium.

Une autre hypothèse possible à ces résultats est la différence de densité de semis des couverts. La navette et la cameline sont semées à environ 25 plantes/m². Contrairement à l'association féverole lentille, par exemple, semée à environ 68 plantes/m². Le faible peuplement de navette et de cameline ne concurrence peut être pas assez le géranium au départ de sa croissance.

La corrélation entre la biomasse d'un colza associé à son couvert et le peuplement ou la couverture de géraniums montre des effets significatifs (Cf. tableau VII). D'après ces données, la biomasse de l'association concurrence le géranium. L'hypothèse est que l'association recouvre une grande partie du sol et capte plus d'éléments nutritifs, rendant le développement du géranium difficile. Il semblerait que l'avantage obtenu par le colza, sur le géranium, lors de son association à l'automne 2011 demeure en mars 2012.

Dans les prochains essais, il serait intéressant d'effectuer un comptage de ces adventices à plusieurs moments de la culture afin d'estimer si la population de départ est homogène puis de constater une éventuelle réduction de peuplement. Concernant le taux de couverture, une mesure de biomasse des adventices jugerait plus de l'efficience d'un couvert d'un point de vue objectif.

Octobre 2012 :

Les couverts semblent avoir un effet sur le nombre de géraniums (p-value=0.007137) à l'automne 2012. Cependant aucun effet du couverts n'est observé sur le taux de couverture des géraniums (p-value=0.260687) (Cf. figure 35).

En situation difficile, l'effet des couverts sur le nombre de géraniums est moins tranché et aucun couvert ne se distingue du colza seul. La faible biomasse des colzas à l'automne 2012 peut être une explication. Concernant le taux de couverture du géranium, on observe une tendance à la diminution en présence de couverts. L'espace occupé par le colza et le couvert pourrait gêner la croissance et le développement du géranium. Or, cette hypothèse est vérifiée sur la campagne 2011-2012 (en mars 2012) mais pas sur la campagne 2012-2013 (en octobre 2012). D'autres expérimentations sont nécessaires afin de vérifier s'il faut une biomasse minimum de colza et de couvert pour concurrencer le géranium dans le Berry ou s'il faut un peuplement minimum de couverts.

Afin d'améliorer l'analyse des résultats, il est nécessaire d'homogénéiser le protocole et d'effectuer des comptages d'adventices en présence du couvert (Octobre) et en absence de couverts (mars). De cette manière, l'évaluation de l'efficacité des couverts sera plus fiable.

III. Evaluation économique et environnementale de la technique

1. Les charges opérationnelles

Dans tous les essais réalisés, une diminution des charges opérationnelles est réalisée, malgré l'introduction d'un couvert associé (40€/ha) (Cf. Annexe XII), grâce à une

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

diminution du désherbage, de l'insecticide et de 30 unités de la dose d'azote (environ 1 €/unité).

Cette réduction de charges varie sur une échelle de 16€/ha à 106€/ha. La réduction moyenne est de 52€/ha. (Cf. Annexe XIII tableau I II III)

Considérant un prix de vente du colza de 475€/t (Mars 2013) avec un rendement moyen de 34.5qx/ha en France (ONIDOL, 2012), soit un produit brut de 1639€/ha, l'agriculteur pourra espérer une augmentation moyenne de sa marge brut de 3,2%.

Cependant, suivant les couverts d'autres charges sont à prendre en compte. Par exemple, dans les couverts à base de féverole, du fait de sa grosse graine, le semis est à effectuer en 2 passages. Ce deuxième passage entraîne un coût supplémentaire. De même, dans le cas de couvert d'avoine, un rattrapage a été nécessaire en Charentes (2012) entraînant un coût d'herbicide supplémentaire de 15.6€/ha.

Or, même dans le cas de couverts à base de féverole ou à base d'avoine, l'utilisation de couvert associé au colza permet à l'agriculteur de réaliser un gain non négligeable par hectare. Cependant, le choix du couvert va conditionner la rentabilité de la technique. Il est préférable d'éviter les couverts à base de navette.

2. L'indice de fréquence des traitements (IFT) et dose d'azote minéral appliqué

L'évaluation environnementale est la comparaison de deux indicateurs de pression sur l'environnement à savoir l'IFT et la dose d'azote minéral. Cette comparaison a lieu entre un colza implanté seul avec un itinéraire standard et un colza associé à un couvert végétal avec un itinéraire technique réduit.

Suivant les années, la pression des bioagresseurs n'est pas la même. Un couvert associé au colza permettrait de diminuer les herbicides voire de ne pas utiliser d'herbicide de prélevée dans certaines situations d'où une diminution de l'IFT. Cette réduction s'étend de 0.46 à 2.6 points selon les années (Cf. Annexe XIV) et les itinéraires techniques pratiqués.

La dose d'azote minérale a systématiquement été réduite de 30 unités entre un colza seul et un colza associé à un couvert végétal (Cf. Annexe V VI et VII)

L'IFT moyen sur la France entière, du colza est 6.92 en 2008 soit un IFT hors herbicide de 4.98 et un IFT herbicide de 1.94 (ECOPHYTO, 2008). Dans les essais, l'IFT moyen du colza seul est de 5.57 soit un IFT hors herbicide de 3.67 et l'IFT herbicide de 1.90. L'IFT moyen des colzas associés aux couverts végétaux est de 4.16 dont un IFT herbicide de 1.04. Par rapport à l'IFT national, les couverts associés au colza d'hiver pourraient diminuer l'IFT herbicide de 46 % et l'IFT total de 39%.

Cependant cette réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires est à mettre en relation avec les rendements obtenus (Cf. figure 26). On remarque que certains couverts (navette ; pois ; cameline) ne sont pas adaptés à la cohabitation avec le colza.

Concernant l'azote, la réduction de 30 unités participe à l'amélioration du bilan énergétique et à la réduction des gaz à effet de serre. Selon l'étude menée par ADEME *et al*. en 2010, la production d'un kilogramme d'azote minéral consomme 54,3 MJ et émet 5.28 kg éq CO_2. L'emploi de couvert associé dans du colza diminuerait la consommation d'énergie de 1629 MJ/ha et les émissions de 158.5 kg éq. CO_2. La consommation d'énergie et les émissions de GES d'un hectare de colza seul sont respectivement de 14 640 MJ/ha et de 2663 Kg/ha éq.CO2 (Simonin, 2011). Dans le cas d'un colza associé, la consommation d'énergie diminuerait de 11% et les émissions de GES seraient réduites de 6%. Quelle que soit l'utilisation finale du colza, ces réductions sont non négligeables.

CONCLUSION

Dans ce travail, l'objectif était de comparer l'itinéraire technique d'un colza seul avec un itinéraire technique plus innovant (implantation de couverts associés à l'automne) aux niveaux agronomiques (faisabilité technique), économiques (charges opérationnelles) et environnementaux (produits phytosanitaire et azote minéral).

Au niveau agronomique, les principaux couverts à base de Fabacées perturbent peu la croissance du colza à l'automne voire l'améliorent au printemps. De même, le rendement du colza produit avec cet itinéraire technique innovant (couverts associés, réduction d'herbicides, impasse sur un insecticide, trente unités d'azote minéral en moins) est équivalent à un colza conduit de manière standard. Cependant, il faut éviter des couverts de Brassicacées (navette et cameline) qui ont des effets négatifs sur la biomasse du colza et dans certaines situations, sur le rendement.

L'agriculteur réalisant cette technique y trouve également un intérêt financier. La réduction de la quantité d'intrants utilisés permettra à l'agriculteur de réaliser une économie moyenne de 52€/ha selon l'itinéraire technique utilisé, déduction faite du coût de semence supplémentaire induit par les couverts associés.

D'un point de vue environnemental, associer des couverts au colza est une technique qui demande moins d'énergie et qui permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre via la diminution de la fertilisation azoté minérale. La réduction est de 11% en énergie et de 6% des gaz à effet de serre. Cette technique permet aussi une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, surtout si l'agriculteur décide de faire l'impasse sur un traitement insecticide. L'IFT total peut être réduit de 39% par rapport à un colza seul, ce qui répond à l'objectif du plan Ecophyto. Cependant si la réduction de l'insecticide semble envisageable plusieurs années d'expérimentations seront nécessaires pour valider ces premiers résultats.

Avant de promouvoir telle ou telle espèce de couvert, une attention particulière devra être portée sur les aspects sanitaires. Il faudra notamment vérifier la sensibilité des couverts retenus aux maladies des autres cultures de la rotation pour ne pas amplifier de problèmes sanitaires. L'anthracnose, le sclérotinia, l'aphanomycès sont des maladies fréquentes pouvant affecter à la fois certains couverts et certaines cultures.

Pour confirmer ces résultats, il sera nécessaire de reconduire des travaux de comparaisons dans d'autres régions agricoles afin d'obtenir des conclusions plus précises quant au potentiel réel de cette technique innovante. L'étude pourrait s'élargir et intégrer d'autres espèces comme le lupin, le lin graine, le sarrasin ou le nyger qui gèlerait plus facilement dans le sud de la France.

Des études complémentaires sur des thèmes de recherche d'azote et d'esquive aux insectes pourraient développer l'agriculture biologique. Cependant cette technique nécessite une connaissance et une maîtrise parfaite de la culture du colza, à tout point de vue. Enfin l'agriculteur doit connaitre précisément son objectif afin de bien choisir son couvert à associer au colza.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES PAPIER :

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE (ADEME), FRANCEAGRIMER, MINISTERE DE L'ALIMENTATION, DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE (MAAP), MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER (MEEDDM) (2010) Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France, 236p

AGRESTE PRIMEUR (2006) Pratiques phytosanitaires du colza en 2006, N°237, Avril 2010, 4p

ALTIERI M.A. (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agriculture Ecosystems & Environment, 74, 19-31.

ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL (2010) Poids des étapes de production dans le bilan GES des grandes cultures, Coût «carbone» des aliments : résultats des travaux de la Mission Développement Durable, COOP de France, SNIA, 4p

AUBERTOT J.N., BARBIER J.M., CARPENTIER A., GRIL J.J., GUICHARD L., LUCAS P., SAVARY S., SAVINI I., VOLTZ M. (2005). Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France), 902p

AUJAS P., LACROIX A., LEMARIE S., REAU R. (2011). Réduire l'usage des pesticides : Un défi pour le conseil aux agriculteurs, Economie Rurale N° 324, 16p

BALIDDAWA C.W. (1985). Plant species diversity and crop pest control-an analytical review. Insect Science and Its Application, 6 (4): 479-487.

BANIK P., MIDYA A., SARKAR B.K., & GHOSE S.S. (2006) Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy, 24, 325-332.

BLACKSHAW R.E., ANDERSON R.L., LEMERLE D., (2007). Cultural weed management. Non-chemical weed management: principles, concepts and technology, Cabi, Wallingford UK

BRENNAN B., SMITH R., BOYD N., FOSTER P. (2005) Seeding rate and planting arrangement effects on growth and weed suppression of a legume-oat cover crop for organic vegetable systems, American society of agronomy

BUTAULT J.-P., DEDRYVER C.-A., GARY C., GUICHARD L., JACQUET F., MEYNARD J.-M., NICOT P., PITMT M., REAU R., SAUPHANOR B., SAVINI I., VOLAY T., ECOPHYTO R&D (2010). Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude, INRA Éditeur France, 90p

CAPILLON A. & SEGUY L. (2002), Ecosystèmes cultivés et stockage du carbone. Cas des systèmes de culture en semis direct avec une couverture végétale. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture Française pp. 63-70. Séance du 19 juin 2002

CETIOM (2011)b Zone SUD, Info technique COLZA : Altise d'hiver : biologie et moyens de lutte, 2p

CHAMPEAUX C. (2006). Dépendance des grandes cultures à l'utilisation de pesticides. Évolution de l'IFT au travers des enquêtes Pratiques Culturales du SCEES entre 1994 et 2001. INRA Grignon/ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 54p

CHARLES R., MONTFORT F., SARTHOU J-P. (2012) Réduire les fuites de nitrates au moyen de cultures intermédiaires, Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune, pp 193-261

CRAWLEY MJ (1997) Plant ecology (2). Blackwell Science, Oxford, 496p.

COLNENNE C., MEYNARD J.M., REAU R., JUSTE E., MERRIEN A. (1998) Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape, Annals of Botany, 81 : 311-317)

CORRE-HELLOU G. & CROZAT Y. (2005) N2 fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) croping systems as affected by weeds and peaweevil (*Sitona lineatus* L.). European Journal of Agronomy, 22 (4): 449-458.

DIRECTIVE 91/676/CEE, Conseil des Communautés Européennes, du 12 décembre 1991, concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Journal officiel n° L 375 du 31/12/1991 p. 0001 – 0008

DORE C., & VAROQUAUX F. (2006), Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, Collection Savoir-faire INRA, Edition 2006, 840p

FEMENIAS A., MAZODIER J., ROY C. (2009), Directive énergies renouvelables : Biocarburants, biomasse et critères de développement durable ? Comment vérifier, en France, la conformité des biocarburants mis sur le marché aux critères de durabilité prévus par la Directive sur les énergies renouvelables ? (Phase 1 : biocarburants et bioliquides), 89p

FERGUSON A.W., KLUKOWSKI Z., WALCZAK B., CLARK S.J., MUGGLESTONE M.A., PERRY J.N., WILLIAMS I.H. (2003). Spatial distribution of pest insects in oilseed rape: implications for integrated pest management. Agriculture, Ecosystems and Environment, 95: 509-521

FERRY A. (2007) Ecologie chimique appliquée à la lutte contre *Delia radicum*, la mouche du chou, Doctorat Sciences de la Vie et de l'Environnement, Université de Rennes 1, 149p

FINCH S. & EDMONDS G.H. (1994). Undersowing cabbage crops with clover effects on pest insects, ground beetles and crop yield. IOBS/WPRS Bulletin, 17, 159-167.

FUKAI S., TRENBATH B.R. (1993), Processes determining intercrop productivityand yields of component crops. Field Crops Research, 34, 247-271.

GARIBAY S.V., STAMP P., AMMON H.U. & FEIL B. (1997) . Yield and quality components of silage maize in killed and live cover crop sods. European Journal of Agronomy, 6, 179-190.

GELFI N., HILAIRE A., ROZELLE P., MARTINEZ E., BOUNIOLS A., BLANCHET R. (1988) Comparaison de l'assimilation nette de quelques cultures d'hiver : colza, blé, pois, féverole, Physiologie et Elaboration du rendement, Colza, 158p

GRIFFON M. (2006) Nourrir la planète, pour une révolution doublement verte. Editions Odile Jacob, Paris, 456p.

HEBINGER H. & LE CHATELIER D. (2013) Le colza : la plante, le système de production, le colza et les grandes problématiques environnementales, la transformation, Prolea Cetiom, Editions France Agricole, 528p

HARAMOTO E.R., GALLANDT E.R., (2005) Brassica cover cropping: I. Effects on weed and crop establishment. Weed Science 53, 695-701.

HAUGGAARD-NIELSEN H., AMBUS P., JENSEN E.S. (2005). The compararison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 64: 289-300.

HAUGGAARD-NIELSEN H., AMBUS P., JENSEN E.S. (2001)a. Interspecific competition. N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. Field Crop Research, 70: 101-109.

HAUGGAARD-NIELSEN H., AMBUS P., JENSEN E.S. (2001)b. Temporal and spatial distribution of roc competition for nitrogen in pea-barley intercrops- a field study employing 32 p technique. Plant & Soil, 27: 237-250.

HINSINGER P. (2012) Les cultures associées céréale/légumineuse en agriculture « bas intrant » dans le sud de la France, Performances agronomiques, Facilitation pour le phosphore, 27p

INDUSTRIE DES SEMENCES DE PLANTES OLEOPROTEAGINEUSES (AMSOL), FILIERE FRANÇAISE DES HUILES ET PROTEINES VEGETALES (PROLEA) (2001), AGRONOMIE COLZA, Colza : la culture aux nombreux avantages, Juillet 2001, 6p

INSERM (2008). Cancers-environnement, Expertise collective, 907p

JENSEN E.S., AMBUS N., BELLOSTAS N. (2006). Intercropping of cereals and grain legumes for increased production, weed control, improved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems: Proceeding of the European joint Organic Congress. Odense, Denmark, pp: 180-181.

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE FRANÇAISE (2009), Loi n° 2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement

JUSTES E., BEAUDOIN N., BERTUZZI P., CHARLES R., CONSTANTIN J., DÜRR C., HERMON C., JOANNON A., LE BAS C., MARY B., MIGNOLET C., MONTFORT F., RUIZ L., SARTHOU J.P., SOUCHERE V., TOURNEBIZE J., SAVINI I., RECHAUCHERE O. (2012). Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 60p

KALINOVA J., VRCHOTOVA N., TRISKA J., (2007) Exudation of allelopathic substances in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). Journal of Agricultural and Food Chemistry 55, 6453-6459.

LAGARDE F. (2012) Oléagineux : Analyse et estimation pour la campagne 2011/2012 en France, Rendez-vous de presse du 1er Août 2012, Direction technique CETIOM

LAMINE C., MEYNARD J.M., BUI S., MESSEAN A. (2010), Réductions d'intrants : des changements techniques, et après ? Effets de verrouillage et voies d'évolution à l'échelle du système agri-alimentaire Innovations Agronomiques 8, p121-134

LANDE N. & SAUZET G. (2012) Innovation: Associer son colza à un couvert gélif: une technique à manier avec précaution, Perspectives Agricoles, N°390, Juin 2012

LEMAIRE G. & GASTAL F., (1997) N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire G (ed.), Diagnosis of the nitrogen status in crops. Springer-Verlag, Berlin, 343p

LETERME P. (1988) Croissance et développement du colza d'hiver : Les principales étapes, Physiologie et Elaboration du rendement, Colza, 158p

MAIGHANY F., KHALGHANI J., BAGHESTANI M.A., NAJAFPOUR M. (2007) Allelopathic potential of *Trifolium resupinatum* L. (Persian clover) and *Trifolium alexandium* L. (Berseem clover), Weed Biology and Management 7, 178-183.

MERRIEN A. (2006) Colza d'hiver, Physiologie et Elaboration du rendement [PowerPoint], CETIOM, 91p.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET (2008), Ecophyto 2018, Plan ECOPHYTO 2018 : Réduction des usages de pesticides 2008-2018, 10 septembre 2008, 20p

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET (2013), Agreste Conjoncture, Infos rapides, Grandes cultures et fourrages, février 2013, n°1/10, 4p

MUNIER-JOLAIN N. & CARROUEE B. (2003). Quelle place pour le pois dans une agriculture respectueuse de l'environnement? Argumentaire agri-environemental. Cahiers Agricultures, 12 : 111-120.

ONIDOL INTERPROFESSION DES OLEAGINEUX (2012) Chiffres clés 2011-2012, Oléagineux France, Colza-tournesol-Soja, 2p

PAILLOTIN G. (2008). Chantier 15 « agriculture écologique et productive », Rapport final du Comité opérationnel « Écophyto 2018 », 57p

POUSSET J., (2009) Fiche culture : la cameline, Alter Agri, n° 96, juillet-août, p. 23-24

SEGUY L., BOUZINAC S., MARONEZZI A.C. (2002) Systèmes de culture et dynamiques de la matière organique : le semis direct sur couverture permanente, une révolution agricole, Cirad Editions, Août 2002, 2p

SIMONIN P. (2011), Réduire les émissions de GES en colza, Technique & économie, Terre dauphinoise – N° 2965-2966 – jeudi 22 et 29 décembre 2011, p23

SINGH H.P., BATISH D.R., KOHLI R.K. (2003). Allelopathic interactions and allelochemicals: New possibilities for sustainable weed management dans Critical reviews in plant sciences Vol. 22, no 3-4 (171 p.).

THOMAS F. & SAUZET G. (2012) Tour d'horizon technique avec Gilles Sauzet (CETIOM), Techniques culturales simplifiées, N°63, Juin/Juillet/Août 2012, p8-p13

TILMAN D. & PACALA S. (1993) The maintenance of species richness in plant communities, Species diversity in ecological communities, University of Chicago Press, Chicago, pp. 13-25

TRIBOUILLOIS H. (2011) Analyse du fonctionnement et des performances agronomiques de cultures associées de tournesol-soja, Mémoire d'ingénieur, INP Toulouse, 201p

TSUBO M. & WALKER S. (2004) Shade effects on Phaseolus vulgaris L. intercropped with Zea mays L. under well-watered conditions. Journal of Agronomy and Crop Science, 190, 168-176.

VANDERMEER J.H. (1989), The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

WILLEY R. (1979) Intercropping - its importance and research needs. Part1. Competition and yield advantages. Field Crop Abstracts, 32, 1-10.

ZAHM F. (2011), Grenelle Environnement, Plan Écophyto 2018 Et Indicateurs Agro-Environnementaux Outils De Pilotage Versus Instruments D'une Transformation De L'action Publique Agro-Environnementale, 10éme journées françaises de l'évaluation, Nantes, 13p

REFERENCES INTERNET :

BASF : THE CHEMICAL COMPAGNY (2013), Cultures, Les utilisations du colza <URL :http://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/fr/cultures/les_oleagineux/le_colza/utilisation_du_colza/Utilisation_et_chiffres_cles_du_colza.html>(Consulté le 12/04/2013)

CETIOM (2011)a Récolte du colza <URL:http://www.cetiom.fr/colza/cultiver-du-colza/recolte-conservation/recolte-du-colza/> (consultée le 12/07/2013)

CETIOM (2011)b L'altise d'hiver ou la grosse altise <URL:http://www.cetiom.fr/colza/cultiver-du-colza/ravageurs/insectes/insectes automne/#c53584> (consulté le 12/07/2013)

CETIOM (2011)c Le charançon du bourgeon terminal <URL:http://www.cetiom.fr/colza/cultiver-du-colza/ravageurs/insectes/insectes-automne/#c53584> (consulté le 12/07/2013)

DIESTER : LE DIESEL VERT (2009), Les atouts de Diester

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

<URL : http://www.diester.fr/atouts-diester>(Consulté le 06/05/2013)

INRA SCIENCE & IMPACT (2012), Réduire les fuites de nitrate : les intercultures <URL:http://www.versailles-grignon.inra.fr/Toutes-les-actualites/201112-nitrate-ecosysteme-intercultures> (mis à jour le 14/02/2013)

INRA SCIENCE & IMPACT (2011), Réduire les émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole : les représentants des 31 Etats se réunissent en France <URL:http://presse.inra.fr/Ressources/Communiques-de-presse/Reduire-les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-d-origine-agricole-les-representants-de-31-Etats-se-reunissent-en-France> (mis à jour le 11/02/2013)

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) Rapport de synthèse de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire, p59 <URL : http://www.unep.org/maweb/fr/Reports.aspx#> (consulté le 17/06/2013)

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE (2013), Directives Nitrates : les zones vulnérables en 2013 <URL:http://www.developpement-durable.gouv.fr/Directive-Nitrates-les-zones.html>(mis à jour le 18/03/2013)

SAUZET G., LANDE N., CHARBONNAUD J., QUARTIER V., (2012) Conduire un colza avec un couvert associé, Oléotech n° 2, 12p. <URL :http://www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/regions/Ouest/publications/synthese_dossiers/2012/JC_OLEOTECH_colzas_associes_juillet_2012_v1.0.pdf>(Consulté le 05/07/2013)

UNION DES INDUSTRIES DE LA PROTECTION DES PLANTES (2010), Repères monde et Europe, Les marches phytosanitaires en Europe en 2010 <URL:http://www.uipp.org/Services-pro/Chiffres-cles/Reperes-monde-et-Europe>(consulté le 12/04/2013)

Liste des Annexes

ANNEXE I : *Plan d'essai type*……..II

ANNEXE II : *Conditions météorologiques dans le Berry*……III

ANNEXE III : *Conditions météorologiques en Charentes*…….…….IV

ANNEXE IV : *Conditions météorologiques en Lorraine*…….…….V

ANNEXE V : *Itinéraire technique de la campagne 2012-2013*……..VI

ANNEXE VI : *Itinéraire technique de la campagne 2011-2012*……VII

ANNEXE VII : *Itinéraire technique de la campagne 2010-2011*……VIII

ANNEXE VIII : *Dosage du Carbone et de l'Azote Total Méthode DUMAS*…….....IX

ANNEXE IX : *Observation de la présence de larves d'altises ou de charançon du bourgeon terminal dans les plantes de colza*…….…X

ANNEXE X : *Relation entre la matière fraîche et la matière sèche*……..XI

ANNEXE XI : *Tableaux de résultats*…….....XII

ANNEXE XII : *Prix des couverts*……....…….....XIII

ANNEXE XIII : *Comparaison des charges opérationnelles entre un colza seul et un colza associé*…….…….....XIV

ANNEXE XIV : *Comparaison de l'IFT appliqué entre un colza seul et un colza associé*…….....XV

ANNEXE I

Plan d'essai type

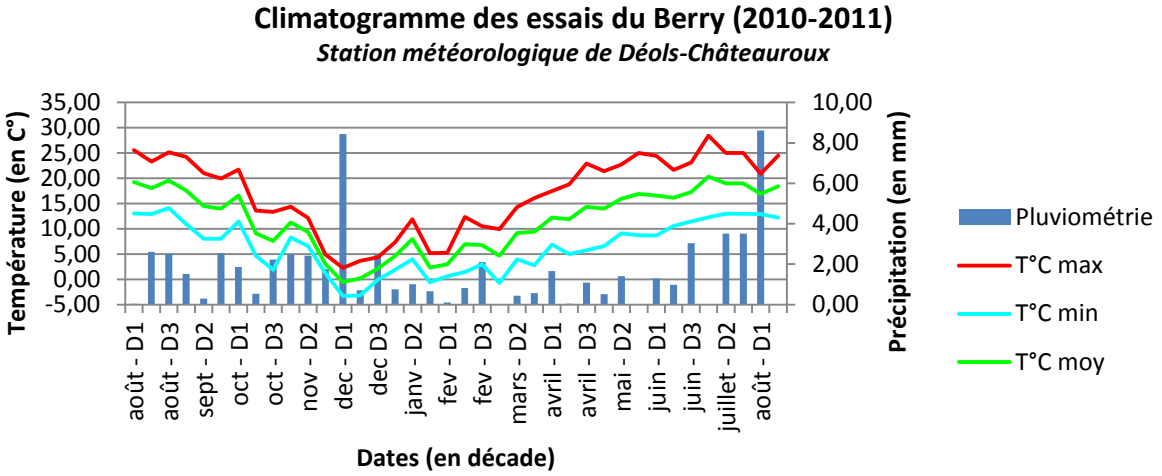
1	2	3	4	5	6	7	8
Colza seul DK Exstorm	Navette 1.5 kg	Gesse 15 kg + Fénugrec 10 kg + Lentilles 10 kg	Lentilles 25 kg + Avoine 15 kg	Cameline 1.5 kg	Pois 35 kg + Avoine 15 kg	Féverole 40 kg + Lentilles 15 kg	Vesce commune + vesce pourpre + trèfle alex 20 kg mélange
témoin	N	GFL	Avlent	C	AvPois	FevLent	VVT

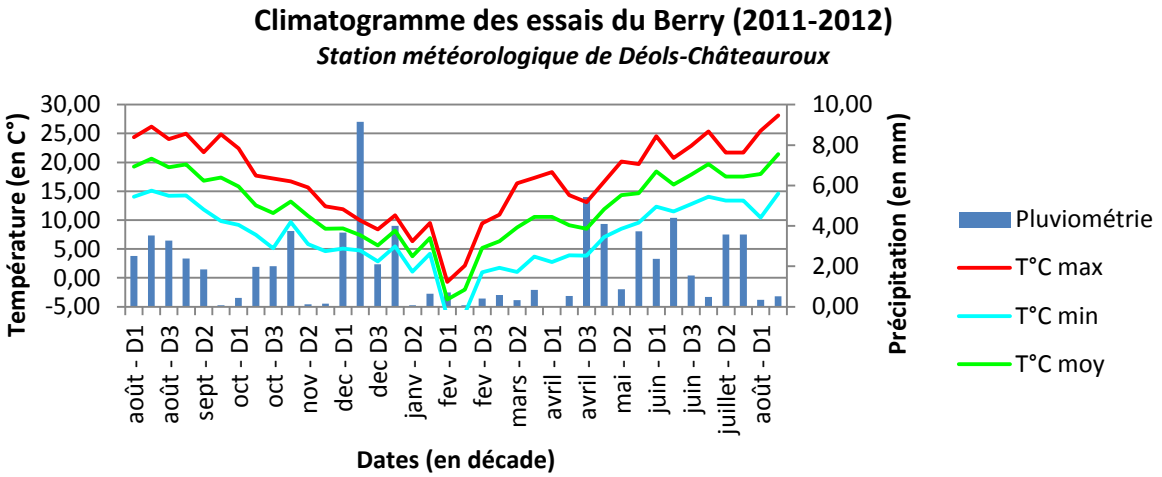
9	10	11	12	13	14	17	16
Cameline	Lentilles 25 kg + Avoine 15 kg	Féverole 40 kg + Lentilles 15 kg	Pois 35 kg + Avoine 15 kg	Vesce commune + vesce pourpre + trèfle alexandrie 20 kg mélange	Gesse 15 kg + Fénugrec 10 kg + Lentilles 10 kg	Colza seul DK Exstorm	Navette
C	Avlent	FevLent	AvPois	VVT	GFL	témoin	N

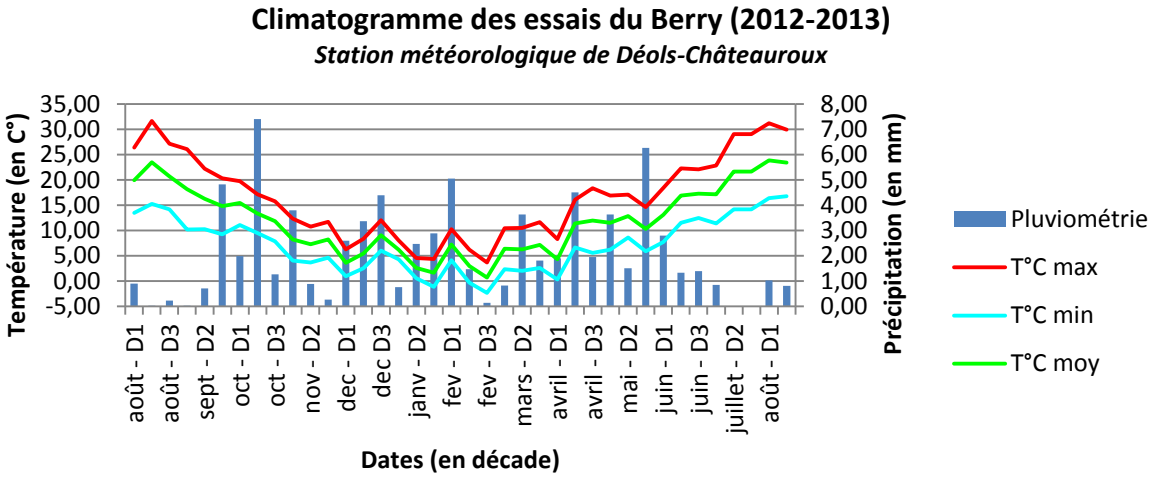
17	18	19	20	21	22	23	24
Gesse 15 kg + Fénugrec 10 kg + Lentilles 10 kg	Vesce commune + vesce pourpre + trèfle d'alexandrie 20 kg mélange	Cameline	Lentilles 25 kg + Avoine 15 kg	Féverole 40 kg + Lentilles 15 kg	Navette	Pois 35 kg + Avoine 15 kg	Colza seul DK Exstorm
GFL	VVT	C	Avlent	FevLent	N	AvPois	témoin

ANNEXE II

Conditions météorologiques dans le Berry

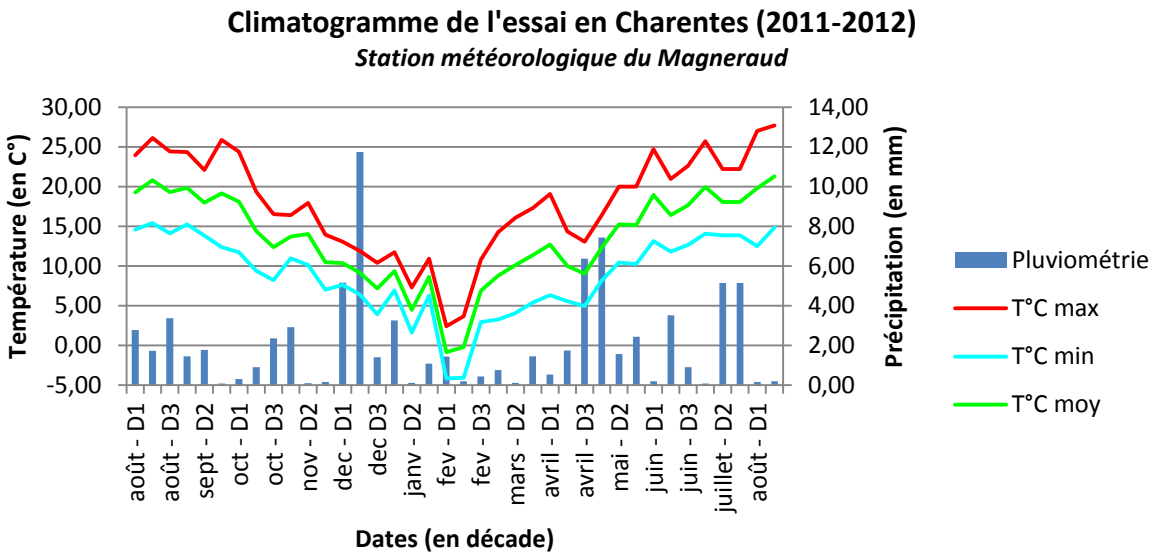


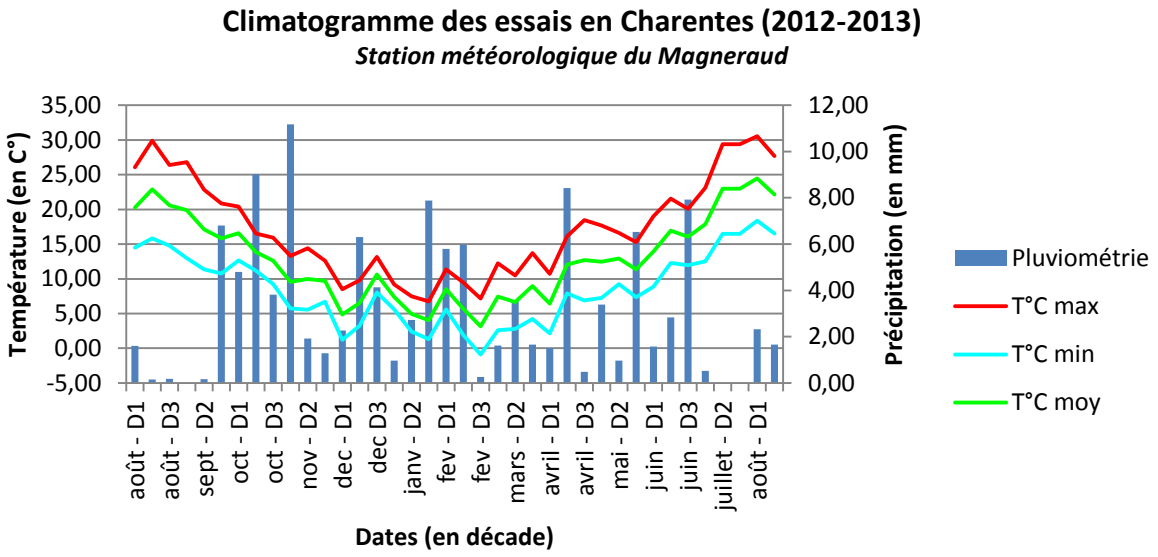




ANNEXE III

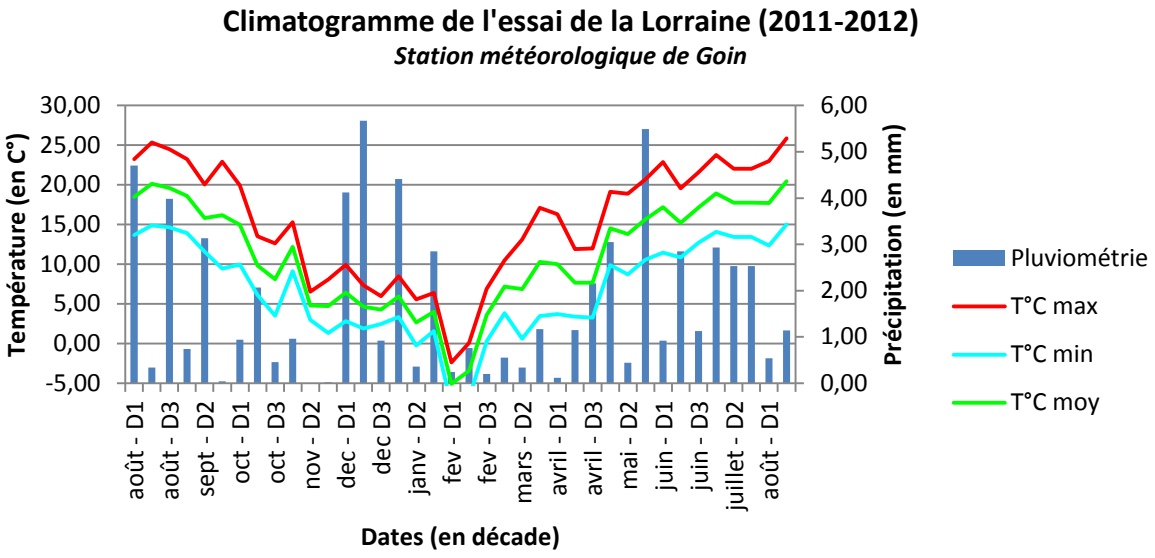
Conditions météorologiques en Charentes

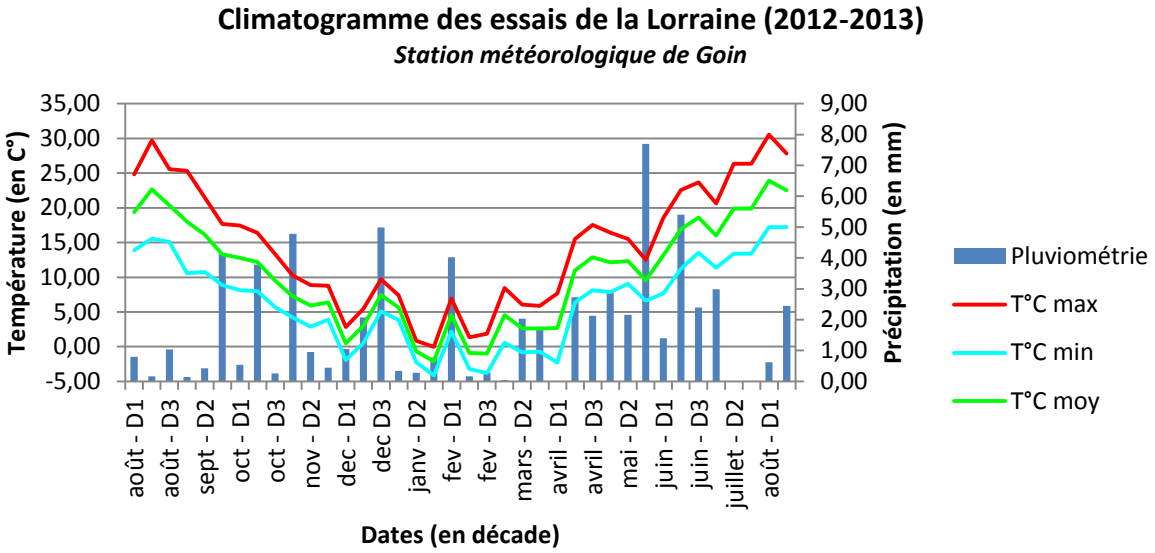




ANNEXE IV

Conditions météorologiques en Lorraine





ANNEXE V

Itinéraire technique de la campagne 2012-2013

	Date de l'intervention	Charentes ACP	Date de l'intervention	Berry AC	Date de l'intervention	Berry LS	Date de l'intervention	Lorraine AL
Année	2012- 2013		2012- 2013		2012- 2013		2012- 2013	
Précedent cultural	Blé dur		Orge d'hiver		Orge d'hiver		Blé	
Type de sol	Argilo calcaire profond		Argilo calcaire superficiel		Limons argileux		Argilo limoneux	
Travail du sol	30-juil	Labour		Aucun	16-août	Disques+dents	10-août	Labour
	07-août	Herse rotative			22-août	Roulage	12-août	Herse rotative
	17-août	Herse rotative						
Date de semis	29-août		21-août		24-août		28-août	
Variété	Cash 39 g/m²		DK Exstorm 52 g/m²		DK Esquisit 52 g/m²		Adriana et Craken 20 et 30 g/m²	
Date de levée	17-sept		01/09 et 28/09		01/09 et 28/09		20-sept	
Irrigation	10-sept	Pour la levée		aucune		aucune		aucune
Fertilisation	15-févr	50 unités Azote liquide	19-févr	50 u. N	18-févr	38 u. N.	01-mars	60,5 u.N
	04-mars	80 unités Azote liquide	13-mars	71 u. N	14-mars	72 u. N	25-mars	52 u.N
	11-mars	Superphosphates 18 220kg/ha	13-mars	33 u. N (colza dose X)	13-mars	33 u. N (colza dose X)	13-avr	68 u.N
	14-mars	Ammonitrate 30 unités (60 unités sur Témoin)	17-avr	32 u. N	15-avr	20 u. N		
Total azote		**Dose X colza seul: 190 Dose X-30: 160**		**Dose X colza seul: 186 Dose X-30: 156**		**Dose X colza seul: 153 Dose X-30: 123**	**Dose X colza seul: 180,5 Dose X-30: 150,5**	
Désherbage	12-sept	Novall 1,5L/ha (Témoin)	28-sept	Springbok 1,5L/ha+Novall 0,75L/ha sur une partie	28-sept	Springbok 1,5L/ha+Novall 0,75L/ha sur une partie	25-août	Devrinol 1,3l
	08-nov	Stratos ultra	janvier	Kerb 1,5L/ha	Octobre	Stratos ultra	01-sept	Centium CS 0,3l + Springbok 2,5l
Molluscicides	17-sept	Mesurol Pro 3 kg/ha					Extralugec techno 2,7kg/ha	
Insecticide	18-sept	Karaté zéon 0.05 L/ha	21-mars	Karaté zéon 0,075L/ha			Pearl Protech 0,33L/ha	
	04-mars	Mageos 0,050 kg/ha	18-avr	Karaté zéon 0,075L/ha	21-mars	Karaté zéon 0,075L/ha	Pearl Protech 0,33L/ha	
Fongicide	16-avr	Prosaro 0.8 L/ha	20-avr	Pictor pro 0,3kg/ha	29-avr	Pictor pro 0,3kg/ha	Avril	Pictor pro 0,25kg/ha
			14-mai	Sunorg 0,4L/ha	17-mai	Sunorg 0,4L/ha		Sunorg 0,4L/ha

Rapport-Gratuit.com

ANNEXE VI

Itinéraire technique de la campagne 2011-2012

Site	Berry AC	Berry LS	Charentes ACP	Lorraine AL
Année	2011- 2012	2011- 2012	2011- 2012	2011- 2012
Précedent cultural	Orge d'hiver	Orge d'hiver	Blé tendre	Blé tendre
Type de sol	Argilo calcaire sup.	Limons sableux	Argilo calcaire profond	Argilo limoneux
Travail du sol	Aucun (Semis direct)	Carrier Disco dents (15-20cm) Carrier	Labour Vibroculteur Herse rotative	Labour Herse rotative
Date de semis Variété	18-août DK Exstorm 52 g/m²	23-août DK Esquisit 52 g/m²	30-août Cash 39 g/m²	30-août Pamela 55g/m²
Fertilisation Total azote	Fertilisation S : 76 unités Fertilisation P : 67 unités **Dose X colza seul: 170 Dose X-30: 140**	Fertilisation S : 76 unités Fertilisation P : 67 unités **Dose X colza seul: 130 Dose X-30: 100**	Fertilisation S : 75 unités Fertilisation P : 45 unités **Dose X colza seul: 190 Dose X-30: 160**	Fertilisation S : 75 unités Fertilisation P : 54 unités Fertilisation K : 36 unités **Dose X colza seul: 155 Dose X-30: 125**
Désherbage	Springbog 2.5L/ha + novall 1.5L/ha (Témoin W sol) Lontrel 1,25L/ha (Témoin SD) Stratos 0,8L/ha	Lontrel 1,25L/ha (Témoin) Kerb 1,7L/ha	Lontrel 1,5L/ha Stratos 0,8L/ha (Couverts base avoine)	Lontrel 1L/ha (Témoin)
Insecticide	Karaté zéon 0.075L/ha Karaté zéon 0.075L/ha Karaté zéon 0.05L/ha	Karaté zéon 0.075L/ha Karaté zéon 0.05L/ha	Karaté zéon 0.05L/ha Karaté K 1,25L/ha Mavrik Flow 0,2L/ha Mavrik Flow 0,2L/ha Mavrik Flow 0,2L/ha	Pearl Protech 0,33L/ha Pearl Protech 0,33L/ha
Fongicide	Pictor pro 0,3kg/ha Sunorg 0,4L/ha	Pictor pro 0,3kg/ha Sunorg 0,4L/ha	Pictor pro 0,25kg/ha Sunorg pro 0,4kg/ha	Pictor pro 0,25kg/ha Sunorg 0,4L/ha

ANNEXE VII

Itinéraire technique de la campagne 2010-2011

Site	Berry AC	Berry N°1	Berry N°2
Année	2010- 2011	2010- 2011	2010- 2011
Précedent cultural	Orge d'hiver	Orge d'hiver	Orge d'hiver
Type de sol	Argilo calcaire	Limono argileux	Limono argileux
Travail du sol	Aucun (Semis direct)	Aucun (Semis direct)	Disques Disques+dents Disques
Date de semis Variété	18-août ES Neptune 55 g/m²	22-août DK Exquisite 52 g/m²	22-août DK Exquisite 52 g/m131
Fertilisation Total azote	Fertilisation S : 60 unités Fertilisation P : 50 unités **Dose X colza seul: 185 Dose X-30: 155**	Fertilisation S : 60 unités Fertilisation P : 50 unités **Dose X colza seul: 185 Dose X-30: 155**	Fertilisation S : 60 unités Fertilisation P : 50 unités **Dose X colza seul: 185 Dose X-30: 155**
Désherbage	Novall 2,5L/ha (Témoin) Kerb 1,7L/ha	Novall 2,5L/ha (Témoin) Vésuve 0,3L/ha Kerb 1,5L/ha	Novall 2,5L/ha (Témoin) Vésuve 0,3L/ha Chrono 1L/ha Kerb 1,5L/ha
Insecticide	Karaté zéon 0.075L/ha Karaté zéon 0.05L/ha Karaté zéon 0.075L/ha	Karaté zéon 0.05L/ha Karaté zéon 0.05L/ha Karaté zéon 0.075L/ha	Karaté zéon 0.05L/ha Karaté zéon 0.05L/ha Karaté zéon 0.075L/ha
Fongicide	Pictor pro 0,24Kg/ha Balmora 0,4L/ha	Pictor pro 0,24Kg/ha Balmora 0,4L/ha	Pictor pro 0,24Kg/ha Balmora 0,4L/ha

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

ANNEXE VIII

Dosage du Carbone et de l'Azote Total Méthode DUMAS

GRONOMIE Clermont-Ferrand INRA

Dosage du Carbone et de l'Azote Total Méthode DUMAS

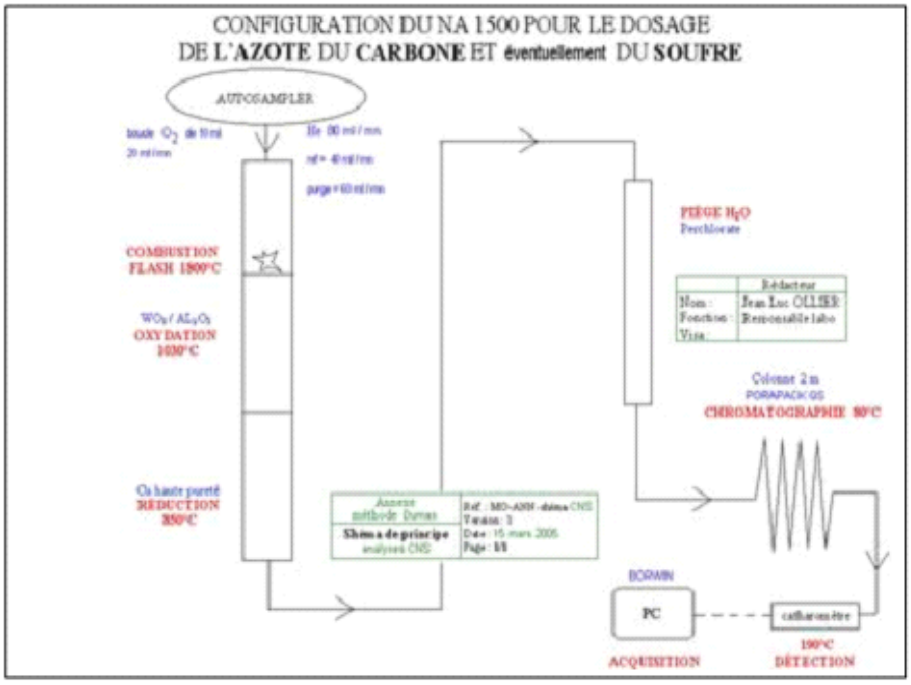
PRINCIPE Dosage du Carbone et de l'azote total dans les poudres (rappel de la documentation FISONS)

Cette technique est basée sur les méthode classique de DUMAS. L'échantillon contenu dans une petite capsule d'étain est introduit automatiquement dans un réacteur constitué par un tube vertical en quartz maintenu à la température de 1000°C et dans lequel passe un courant d'hélium.

A l'introduction de l'échantillon, le courant d'hélium est automatiquement enrichi par une quantité déterminée d'oxygène pur, provoquant ainsi la combustion éclair de la capsule et de l'échantillon.

Les gaz de combustion entraînés par le courant d'hélium passent sur un catalyseur d'oxydation qui les transforme en CO_2, H_2O, SO_2, SO_3, NxOy….

Ces gaz passent alors sur un deuxième catalyseur (cuivre réduit) qui va réduire les oxydes d'azote en azote élémentaire, le SO_3 en SO_2 et piéger l'excès d'oxygène. A la sortie du tube, on trouve en plus du gaz vecteur hélium, les gaz N2, SO_2, CO_2 et H_2O. Les produits non dosés sont piégés. Les gaz obtenus sont alors séparés dans une colonne de chromatographie et quantifiés par un détecteur à conductibilité thermique. Le signal obtenu est amplifié puis traité par l'informatique.



RÉFÉRENCES

RÉFÉRENCES : DUMAS J. B. A. ;1831. Procédés de l'analyse organique. Annal. Chem. Phys. (Paris) (2) 47 : 198-213

ANNEXE IX

Observation de la présence de larves d'altises ou de charançon du bourgeon terminal dans les plantes de colza

CETIOM

PROTOCOLE

OBSERVATION DE LA PRESENCE
DE LARVES D'ALTISES OU DE CHARANÇON DU BOURGEON TERMINAL DANS LES PLANTES DE COLZA

« Méthode Berlèse »
Antonio Berlese (26 juin 1863 à Padoue, 24 octobre 1927 à Florence) est un entomologiste italien.
Son nom est associé à un système d'extraction de la petite faune du sol, appelé « appareil (ou entonnoir) de Berlèse », encore largement utilisé de nos jours. Source Wikipédia.

Principe : Le dessèchement des colzas induit le retrait des larves de la plante qui tombent dans l'entonnoir puis dans le récipient et sont ainsi plus facilement dénombrables.

Matériel : Kit « Berlèse » CETIOM (Support-Entonnoir-Grillage-Petit Pot) ou autre système similaire (cuvette jaune–grillage par exemple)
Eau savonneuse ou Eau alcoolisée (50% d'eau - 50% d'alcool modifié)

Pièce chauffée à 20 °C et ventilée pour favoriser le dessèchement des plantes.
Attention, il faut lutter contre l'humidité car elle favorise les pourritures qui peuvent être toxiques pour les larves.

Méthode :

Cas général pour les larves d'altises

- Etape 1 : Prélevez 30 plantes dans la parcelle à observer (3x10 plantes répartis dans la parcelle).
- Etape 2 : Coupez les pivots et le plus gros des limbes (non touchés) puis rincez rapidement les plantes.
  → le nettoyage permet d'éviter les dépôts de terre et facilite le comptage des larves.
- Etape 3 : Répartissez les plantes sur le grillage qui recouvre les entonnoirs (pas plus de 10 plantes par cuvette afin d'assurer un meilleur séchage). **Les premières larves sont visibles au bout de quelques heures.**
- Etape 4 : Après dessèchement complet des plantes (8 à 10 jours à une température de 20°C) comptez le nombre de larves tombées dans les récipients. Les observations peuvent aussi se réaliser régulièrement.

Infos à collecter : pour chaque récipient → nombre de larves et nombre de plantes concernées.

Altise – Observation stade larvaire
Attention, les larves les plus avancées en âge au moment du prélèvement tombent en premier. Les plus jeunes peuvent se maintenir dans les plantes tant que le végétal reste favorable à leur alimentation. La distinction des stades larvaires ne correspond donc plus forcément à leur état initial au moment du prélèvement.

Cas particulier pour les larves de charançon du bourgeon terminal

Il est possible de maximiser l'efficacité de cette méthode pour les situations avec larves de charançon du bourgeon terminal. En effet en laissant sécher les plantes comme pour les larves de grosses altises, on récupère peu de larves de charançon du bourgeon terminal. Donc après avoir fait sécher les plantes comme pour la grosse altise, le principe est d'immerger les plantes dans l'eau pour les réhydrater.

- Etape 1 à 4 : comme pour les larves de grosses altises
- Etape 5 : Tremper les plantes 2 à 3 h dans un seau – idéalement lot par lot.
- Etape 6 : Egoutter et filtrer pour récupérer si nécessaire les larves présentes.
- Etape 7 : Remettre les plantes sur les dispositifs « Berlèse » pour une nuit.
- Etape 8 : renouveler les étapes 5-6-7, 3 fois de suite.
- Etape 9 : dénombrer le nombre de larves présentes dans les récipients.

ANNEXE X

Relation entre la matière fraîche et la matière sèche

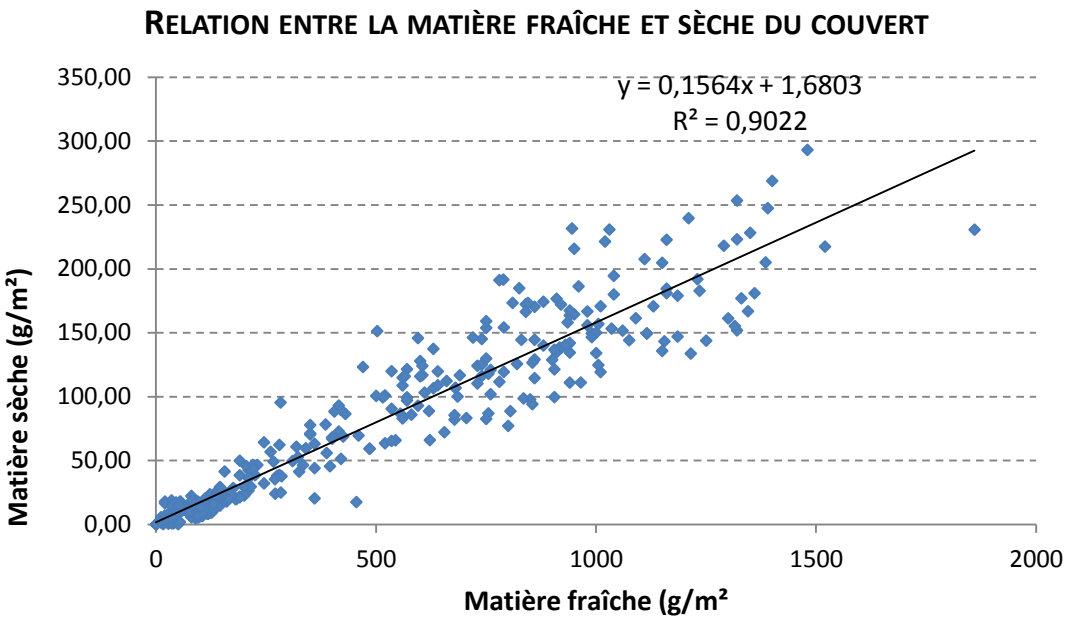


Figure A *: Relation entre la matière fraîche et la matière sèche du couvert.*
(y=0.1564x+1.6803 et R^2=0.9022)

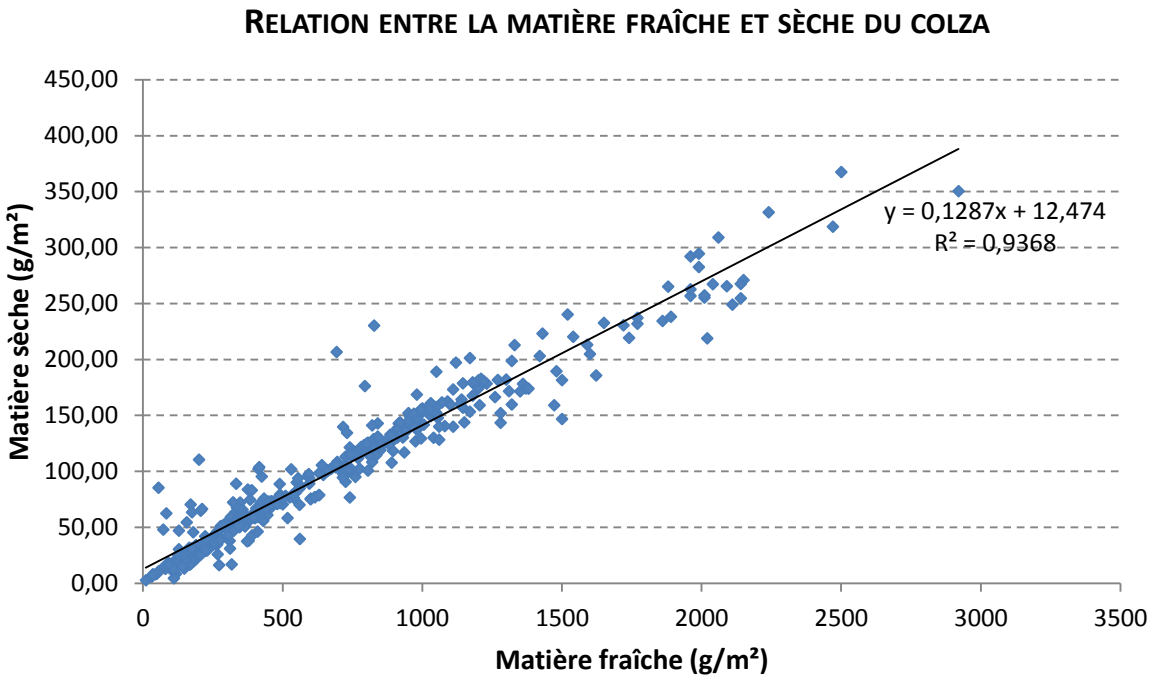


Figure B *: Relation entre la matière fraîche et la matière sèche du colza.*
(y=0.1287x+12.474 et R^2=0.9368)

ANNEXE XI

Tableaux de résultats

Tableau A : **Résultats de l'analyse de variance suivie d'un test de Tukey au seuil de 5%**

Groupe statistique	Type de sol	Biomasse moyenne des couverts	Sites
a	AL (argilo limoneux)	94.62	Lorraine 2012
a	AC (argilo calcaire	88.78	Berry 2011/2012/2013
ab	LA (limono argileux)	69.77	Berry 2011/2011 Lorraine 2013
ab	LS (limono sableux)	68.16	Berry 2012/2013
b	ACP (argilo calcaire profond)	46.16	Charentes 2012/2013

Tableau B : **Classement des sols (test de Tukey au seuil 5%) selon le LER moyen de l'azote absorbé par le colza, les sites et l'année.**

Groupe statistique	Type de sol	LER moyen de l'azote absorbé par le colza	Sites
a	AC (argilo calcaire)	1.065	Berry 2011/2012/2013
ab	LS (limono sableux)	0.9573	Berry 2012/2013
ab	LA (limono argileux)	0.9023	Berry 2011/2011 Lorraine 2013
b	ACP (argilo calcaire profond)	0.9614	Charentes 2012/2013
b	AL (argilo limoneux)	0.8102	Lorraine 2012

Tableau C : **Comparaison entre une culture pure de colza (pleine dose d'herbicide) et les colzas associés (1/2 dose d'herbicide).**

Colza associé	Peuplement d'adventices (p-value)	Couverture des adventices (p-value)
Cam	0.455	0.067
FevLent	0.194	0.914
GFL	0.175	0.247
Nav	0.346	0.044
VVT	0.315	0.340
AvLent	0.686	0.014
AvPois	0.466	0.044

ANNEXE XII

Prix des couverts

Code	*Couverts*	*Dose (kg/ha)*	*Prix (€/ha)*
Cam	Colza associé à de la **cameline**	1,5	40
FevLent	Colza associé à de la **féverole** et des **lentilles**	50/15	41
GFL	Colza associé à de la **gesse**, du **fenugrec** et des **lentilles**	15/10/10	62
Lent	Colza associé à des **lentilles**	30	60
Nav	Colza associé à de la **navette**	1,5	16
Pois	Colza associé à du **pois**	45	13
VVT	Colza associé à des **vesces pourpres** et **communes** et du **trèfle d'Alexandrie**	20	60
AvLent	Colza associé à de l'**avoine** et des **lentilles**	15/25	54
AvPois	Colza associé à de l'**avoine** et du **pois**	15/35	15
FevGess	Colza associé à de la **féverole** et de la **gesse**	50/25	52
FevFenu	Colza associé à de la **féverole** et du **fenugrec**	50/15	37
FevVesce	Colza associé à de la **féverole** et de la **vesce commune**	50/15	30
FevLentTb	Colza associé à de la **féverole**, des **lentilles** et du **trèfle blanc**	50/15/2	54
VpVc	Colza associé à des **vesces pourpres** et **communes**	20	40

ANNEXE XIII

Comparaison des charges opérationnelles entre un colza seul et un colza associé

Tableau I : **Comparaison des charges opérationnelles (en €) entre un colza seul et un colza associé sur la saison 2012-2013 en Charentes (sol argilocalcaire profond : ACP), dans le Berry (sol argilocalcaire : AC et sol limono sableux : LS) et en Lorraine (sol argilo limoneux : AL).**

Sites / Charges	**Charentes ACP**		**Berry AC**		**Berry LS**		**Lorraine AL**	
	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé
Semence	0	40	0	40	0	40	0	40
Herbicide	77,3	39	115,3	54	100,3	39	143,7	117,7
Insecticide	11,4	0	16,4	8,2	16,4	8,2	11,9	11,9
Azote	190	160	186	156	153	123	180,5	150,5
TOTAL	278,7	239	317,7	258,2	269,7	210,2	336,1	320,1
Différence	**39,7**		**59,5**		**59,5**		**16**	

Tableau II : **Comparaison des charges opérationnelles (en €) entre un colza seul et un colza associé sur la saison 2011-2012 en Charentes (sol argilocalcaire profond : ACP), dans le Berry (sol argilocalcaire : AC et sol limono sableux : LS) et en Lorraine (sol argilo limoneux : AL).**

Sites / Charges	**Charentes ACP**		**Berry AC**		**Berry LS**		**Lorraine AL**	
	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé
Semence	0	40	0	40	0	40	0	40
Herbicide	38,5	0	123,6	15,6	131,2	61,2	54	0
Insecticide	57,2	57,2	21,9	13,7	13,7	5,5	11,9	11,9
Azote	190	160	170	140	130	100	155	125
TOTAL	285,7	257,2	315,5	209,3	274,9	206,7	220,9	176,9
Différence	**28,5**		**106,2**		**68,2**		**44**	

Tableau III : **Comparaison des charges opérationnelles (en €) entre un colza seul et un colza associé sur la saison 2010-2011 dans le Berry sur sol argilo calcaire (AC) et limono argileux.**

	Berry AC		**Berry N°1**		**Berry N°2**	
	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé
Semence	0	40	0	40	0	40
Herbicide	119,9	61,2	134,6	75,9	184,6	125,9
Insecticide	21,9	21,9	19,5	19,5	19,1	19,1
Azote	185	155	185	155	185	155
TOTAL	326,8	278,1	339,1	290,4	388,7	340
Différence	**48,7**		**48,7**		**48,7**	

*Les sites du Berry n°1 et n°2 se différencient sur le type d'implantation.

ANNEXE XIV

Comparaison de l'IFT appliqué entre un colza seul et un colza associé

Tableau IV : **Comparaison de l'indice de fréquence des traitements (IFT) appliqué entre un colza seul et un colza associé sur la saison 2012-2013 en Charentes (sol argilocalcaire profond : ACP), dans le Berry (sol argilocalcaire : AC et sol limono sableux : LS) et en Lorraine (sol argilo limoneux : AL).**

Site / IFT	Charentes ACP		Berry AC		Berry LS		Lorraine AL	
	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé
Herbicide	1.6	1	1,6	0,8	1,8	1	2,19	1.73
Insecticide	2	0	2	1	2	1	2	2
TOTAL	5,4	2,8	4,53	2,73	4,73	2,93	5,56	5.10
Différence	-2,6		-1,8		-1,8		-0.46	

Tableau V : **Comparaison de l'indice de fréquence des traitements (IFT) appliqué entre un colza seul et un colza associé sur la saison 2011-2012 en Charentes (sol argilocalcaire profond : ACP), dans le Berry (sol argilocalcaire : AC et sol limono sableux : LS) et en Lorraine (sol argilo limoneux : AL).**

Site / IFT	Charentes ACP		Berry AC		Berry LS		Lorraine AL	
	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé
Herbicide	0,6	0	2,43	1	1,9	0,9	0,8	0
Insecticide	5	5	3	2	2	1	2	2
TOTAL	6,6	6	6,36	3,93	4,83	2,83	3,63	2,83
Différence	-0,6		-2,43		-2		-0,8	

Tableau VI : **Comparaison de l'indice de fréquence des traitements (IFT) appliqué entre un colza seul et un colza associé sur la saison 2010-2011 dans le Berry sur sol argilocalcaire : AC, sur sol limono argileux : LA.**

Site / IFT	Berry AC		Berry N°1*		Berry N°2*	
	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé	Colza seul	Colza associé
Herbicide	1,9	0,9	2,17	1,17	2,97	1,97
Insecticide	3	3	3	3	3	3
TOTAL	5,78	4,78	6,05	5,05	6,85	5,85
Différence	-1		-1		-1	

*Les sites du Berry n°1 et n°2 se différencient sur le type d'implantation.