



Étude de l'impact sur la flore adventice de plusieurs systèmes de culture à bas niveau d'intrants

Emmanuel Guay

► To cite this version:

Emmanuel Guay. Étude de l'impact sur la flore adventice de plusieurs systèmes de culture à bas niveau d'intrants. Sciences agricoles. 2012. dumas-00799052

HAL Id: dumas-00799052

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00799052>

Submitted on 12 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AGROCAMPUS OUEST

CFR Rennes
65 rue de St Brieuc
CS 84215
35 042 Rennes Cedex

Ecole d'Ingénieurs de Purpan

75 voie du Toec
BP 57611
31076 TOULOUSE CEDEX 3

Mémoire de Fin d'Etudes

Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage

Année universitaire : 2011-2012

Spécialisation / option : SPV option IA

Etude de l'impact sur la flore adventice de plusieurs systèmes de culture à bas niveau d'intrants

Par : Emmanuel GUAY

Volet à renseigner par l'enseignant responsable de l'option/spécialisation*
définitive) ☐

Ou son représentant

Bon pour dépôt (version

Date ; .../.../... Signature :
Oui ☐ Non ☐

Autorisation de diffusion :

Devant le jury :

Soutenu à Rennes le 13/09/2012

Sous la présidence de: Dominique Poulain

Maître de stage: Jean-Marie Savoie

Enseignant référent : Matthieu Carof

Autres membres du jury: Nathalie Moutier

"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST".

Sommaire

1Contexte de l'étude.....	5
1.1Introduction.....	5
1.2Synthèse bibliographique.....	6
1.2.1Les systèmes à bas niveau d'intrants.....	6
1.2.2Les impacts de la baisse des intrants sur les adventices.....	9
1.2.3Les méthodes de gestion alternatives des adventices.....	11
1.3Le projet ANR MicMac-Design :	15
1.3.1Partenaires :	15
1.3.2Organisation scientifique du projet :	16
1.3.3Le workpackage 4 :	16
1.3.4Les objectifs du projet MicMac Design.....	17
2Matériel et méthodes :	19
2.1Le contexte expérimental.....	19
2.1.1Le contexte pédoclimatique.....	19
2.1.2Les systèmes de culture évalués (ITK voir annexes IV à XIX).....	20
2.1.3La plateforme MicMac:	22
2.2Méthodes.....	24
2.2.1Relevés d'adventices.....	24
2.2.2Relevés de biomasses.....	24
2.2.3Analyse des données.....	25
3 Résultats.....	26
3.1Adventices présentes sur le dispositif.....	26
3.2Relations adventices / cultures.....	27
3.3Evolution de la flore adventice.....	30
3.3.1Evolution de la densité adventice.....	30
3.3.2Evolution de la biomasse adventice.....	32
3.4Impact du système de culture sur les adventices.....	34
3.4.1Relation système de culture / adventices.....	34
3.4.2Effet du système sur la densité adventice.....	35
3.4.3Effet du système sur la biomasse adventice.....	35
3.4.4Relation biomasse adventice/ densité adventice.....	37
3.4.5Relation entre biomasse adventice et biomasse de la culture.....	38
3.4.6Relation entre biomasse adventice et rendement.....	38
4Discussion.....	38
5Conclusion générale.....	41
Bibliographie.....	42
Sitographie.....	45
Annexes.....	46

Index des illustrations

Figure 1: nombre de plantules/m ² avant semis de céréales d'hiver en fonction de la longueur de la rotation (David, In: Maîtriser les adventices en grandes cultures biologiques, ITAB, 2005).....	10
Figure 2: Parcelle du dispositif MicMac (source: Google Earth).....	18
Figure 3: Schéma du dispositif MicMac.....	21
Figure 4: Plan d'une parcelle élémentaire.....	22
Illustration 5: densité des principales adventices (moyenne des relevés effectués sur l'ensemble des parcelles, toutes dates confondues, années 2010/2011 et 2011/2012).....	25
Figure 6: Biomasse moyenne des principales adventices (moyenne des relevés effectués sur l'ensemble des parcelles, toutes dates confondues, années 2010/2011 et 2011/2012).....	26
Figure 7: Densité de panic-pied-de-coq en fonction de la culture (tous relevés confondus).....	26
Figure 8: Densité de folle avoine en fonction de la culture (tous relevés confondus).....	27
Figure 9: Densité de linaires en fonction de la culture (tous relevés confondus).....	27
Figure 10: Densité de renouées persicaires en fonction de la culture (tous relevés confondus).....	28
Figure 11: Relation culture / densité adventice: AFC.....	28
Figure 12: Evolution de la densité adventice sur le système MM1, en fonction des stades et de l'année.....	29
Figure 13: Evolution de la densité adventice sur le système MM2, en fonction des stades et de l'année.....	30
Figure 14: Evolution de la densité adventice sur le système MM3, en fonction des stades et de l'année.....	30
Figure 15: Evolution de la densité adventice sur le système MM4, en fonction des stades et de l'année.....	31
Figure 16: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM1, en fonction de l'année et du stade.....	31
Figure 17: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM2, en fonction de l'année et du stade.....	32
Figure 18: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM3, en fonction de l'année et du stade.....	32
Figure 19: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM4, en fonction de l'année et du stade.....	32
Figure 20: Relation système de culture/densité adventices: AFC.....	33
Figure 21: densité adventice suivant le système de culture.....	34
Figure 22: biomasse adventice en fonction du système de culture.....	35
Figure 23: Biomasse adventice en fonction de la densité adventice (floraison).....	36
Figure 24: biomasse adventice en fonction de la biomasse de la culture.....	37
Figure 25: Rendement en fonction de la biomasse adventice (maturité).....	37

Index des tableaux

<i>Tableau 1 : Importance de la population de vulpin des champs en rotation céréalière.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 2 : Efficacité comparée des différentes techniques culturales alternatives avec l'efficacité attendue d'un herbicide.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 3 : Systèmes de culture de la plateforme MicMac Design.....</i>	<i>19</i>

1 Contexte de l'étude

1.1 Introduction

Pour répondre à une demande croissante de nourriture, l'homme a modifié les écosystèmes de façon irréversible, au prix d'impacts environnementaux et sociaux importants (Millenium Ecosystem Assessment, <http://www.maweb.org>). Et on peut s'attendre à une dégradation accrue des écosystèmes si l'exploitation humaine perdure à un tel niveau d'intensité (Tilman, 1999). Les Objectifs du Millénaire pour le Développement (huit objectifs adoptés en 2000 par 193 états membres de l'ONU qui ont convenu de les atteindre pour 2015 (<http://www.un.org/fr>)) seront alors difficiles à atteindre, en particulier celui de la suppression de la faim dans le monde. Il faudra en effet, dans les années à venir, nourrir la planète avec une surface agricole mondiale qui ne peut plus beaucoup s'accroître, et dans un contexte de raréfaction de l'énergie et de hausse des coûts des matières premières.

Le défi est donc aujourd'hui de réconcilier production agricole et environnement. L'intensification a mené aux rendements actuels élevés des agrosystèmes, mais au prix d'une utilisation importante de fertilisants et de pesticides. Les conséquences en sont une pollution importante de l'eau, l'eutrophisation, l'émission de gaz à effet de serre et la pollution de l'air et des aliments. En effet, la présence de pesticides dans les eaux atteint des niveaux préoccupants aujourd'hui : 92 % des points de contrôle en cours d'eau, 75 % sur les plans d'eau et 70 % pour les eaux souterraines sont contaminés par au moins un pesticide quantifié entre 2007 et 2009. De plus, les pesticides les plus retrouvés sont les herbicides, dont certaines substances interdites comme l'atrazine (retirée du marché en 2003) et ses produits de dégradation (Dubois et Lacouture, 2011). Or la Directive Cadre sur l'Eau impose à la France d'atteindre un « bon état des masses d'eau d'ici 2015 » (<http://europa.eu>).

Pour assurer la durabilité des agrosystèmes et réduire la pollution d'origine agricole, une réduction de l'utilisation des intrants est nécessaire. En France, le Grenelle de l'Environnement (2007) a conduit à l'émergence d'un nouveau paradigme : l'intensification écologique. Il s'agit de maintenir la productivité agricole et la rentabilité des exploitations tout en diminuant l'utilisation des intrants agricoles (engrais et pesticides) afin de limiter leurs impacts négatifs sur les eaux, l'air et les sols. Un des engagements du Grenelle de l'environnement est le plan Ecophyto 2018, dont l'objectif est pour l'année 2018 la réduction de moitié, et sans perte de rendement, de l'emploi de pesticides de synthèse. Il est donc crucial de développer des systèmes de culture moins dépendants des intrants.

L'émergence de ces nouveaux enjeux constitue un véritable challenge à relever pour la recherche agronomique qui doit apprendre à raisonner la production non plus uniquement en termes de rendements à l'échelle annuelle de la plante ou de la parcelle mais par une approche globale des systèmes de production, sur plusieurs années. L'objectif du projet ANR MicMac-Design, qui est de concevoir et d'évaluer dans le sud-ouest de la France des prototypes de systèmes de culture innovants à bas niveaux d'intrants basés sur les principes de la production intégrée et de l'agroécologie, s'inscrit donc pleinement dans ce contexte.

L'étude se focalisera sur la gestion des adventices au sein de ces systèmes de culture et tentera de répondre à la question suivante :

Dans le contexte du sud-ouest de la France, quel est l'impact de systèmes de culture à bas niveau d'intrants, présentant des degrés de rupture croissants (méthodes de lutte, techniques culturales et rotation des cultures) par rapport à un système de référence (monoculture de maïs raisonnée) sur la flore adventice ?

Nous réaliserons tout d'abord une synthèse bibliographique sur les systèmes à bas niveau d'intrants. Nous présenterons ensuite le projet MicMac Design, son organisation scientifique, ses objectifs et la position de l'étude au sein du projet. Nous exposerons ensuite le contexte expérimental et les méthodes utilisées dans le cadre de l'étude. Les résultats seront alors exposés puis discutés.

1.2 Synthèse bibliographique

1.2.1 Les systèmes à bas niveau d'intrants

1.2.1.1 Des systèmes intensifs aux systèmes à bas niveau d'intrants

L'agriculture intensive s'est progressivement mise en place après la seconde guerre mondiale, puis consolidée dans les années 70 et 80, dans un contexte de prix des céréales élevés. Elle est fondée sur la disponibilité à coût modéré des intrants, ce qui permet de maîtriser la plupart des facteurs limitants de la production. Cette agriculture est caractérisée par les traits suivants (Meynard et Girardin, 1991) :

- un objectif de production proche du potentiel de la culture,
- des stratégies d'assurance basées sur une surconsommation d'intrants (dont les produits phytosanitaires).

Ce type d'agriculture présente cependant de nombreux points faibles : les externalités négatives, non prises en compte dans le calcul de la rentabilité économique, sont nombreuses : pollution de l'eau, des sols, de l'air, présence de résidus de pesticides dans les denrées agricoles, ce qui pose la question de la durabilité d'une telle agriculture (Altieri, 1989). L'agriculture intensive montre également une forte dépendance aux énergies fossiles (pétrole et gaz), dont le coût est croissant.

La production agricole doit donc évoluer, en s'appuyant sur de nouveaux systèmes de culture. Cependant, la cohérence technique et économique de ces systèmes intensifs est telle qu'il est difficile de faire varier un paramètre sans compromettre la rentabilité de l'ensemble. Une réduction des intrants impose donc de repenser la totalité du système de culture (Meynard et Savini, 2003).

1.2.1.2 Définitions

Avant toute chose, définissons les concepts et termes suivants afin de mieux situer le cadre de l'analyse.

Intensification écologique : « L'agriculture doit s'appuyer sur les processus et les fonctionnalités écologiques qui permettent de lutter contre les bioagresseurs, de réduire les nuisances, de mieux valoriser les ressources rares, comme l'eau, ou encore d'améliorer les services écologiques (stockage du carbone, diversité biologique, prévention des catastrophes dites naturelles) : c'est l'intensification écologique. » (Cirad, 2008).

Production intégrée : La production intégrée est un système agricole de production d'aliments et des autres produits de haute qualité qui utilise des ressources et des mécanismes de régulation naturels pour remplacer des apports dommageables à l'environnement et assurer à long terme une agriculture viable (El Titi *et al.*, 1995).

Agroécologie : L'agroécologie, combinaison des mots agronomie et écologie, est l'étude des interactions qui déterminent la distribution et l'abondance des organismes vivants au sein des agrosystèmes (Krebs, 2001).

Itinéraire technique (ou ITK) : Combinaison logique et ordonnée des techniques mises en œuvre sur une parcelle agricole en vue d'obtenir une production (Sébillotte, 1978).

Système de culture (ou SDC) : Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par la nature des cultures, leur ordre de succession (rotation) et les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures (Sébillotte, 1990).

Systèmes de culture à bas niveau d'intrants : Ces systèmes de culture, dont font partie les systèmes de culture biologiques, visent à réduire simultanément la consommation de tous les intrants externes (fertilisants, pesticides, régulateurs de croissance...) tout en maintenant le revenu de l'exploitant. L'objectif est de conserver ou d'accroître la marge brute malgré le rendement réduit grâce à une dépense moindre en fertilisation, semences, régulateurs de croissance et protection des cultures (Bouchard *et al.*, 2008).

Les systèmes de culture à bas niveau d'intrants s'appuient, à l'échelle du cycle cultural, sur la réalisation d'itinéraires techniques ayant recours à des niveaux d'intrants bas. Nous en présentons les principes ci-après.

1.2.1.2.1 Les itinéraires techniques à bas niveau d'intrants

Exemple du blé

Les premiers travaux sur les itinéraires techniques à bas niveau d'intrants ont porté sur la culture du blé (Meynard, 1985). Leurs objectifs étaient de limiter les impacts environnementaux (notamment les fuites d'azote) et de trouver une autre piste de rentabilité dans un contexte de prix bas des céréales.

La mise en place d'itinéraires utilisant des niveaux d'intrants plus faibles utilise des stratégies différentes de ceux des itinéraires intensifs (Meynard et Savini, 2003 ; Debaeke et Nolot, 2003). On vise ici le rendement accessible une année sur deux, au lieu de viser systématiquement le potentiel du milieu. Ceci permet alors de réduire l'utilisation de semences, d'eau, de fertilisants et de produits phytosanitaires en mobilisant les leviers suivants :

- Réalisation de semis plus tardifs et/ou moins denses, en réduisant la fertilisation azotée, ce qui a pour conséquence de diminuer les risques de verse et d'attaques de bio-agresseurs. L'élongation plus réduite des entre-nœuds permet de faire l'impasse sur les régulateurs de croissance. De plus, la réduction du développement foliaire est moins favorable au développement de maladies fongiques. Le recours aux intrants chimiques en est ainsi limité. Les semis tardifs permettent de plus d'esquiver les levées d'adventices automnales.
- Utilisation de variétés choisies sur d'autres critères que celui du rendement maximum. On prend en compte la résistance aux maladies, ce qui permet de limiter le recours aux traitements chimiques. La tolérance aux carences azotées et au stress hydrique est également prise en compte dans le choix variétal.

Exemple du colza d'hiver

Des itinéraires techniques à bas niveau d'intrants ont également été testés pour le colza d'hiver (Dejoux *et al.*, 1999). En effet, cette culture produit de grandes quantités de feuilles pendant l'automne et l'hiver. Par conséquent, les plants ont un GLAI (Green Leaf Area Index) important, ce qui peut être intéressant dans la compétition face aux adventices. Cet essai, réalisé en conditions expérimentales et sur des parcelles d'agriculteurs, est basé sur l'avancement des dates de semis du colza. Les résultats montrent qu'on peut ainsi diminuer le risque de développement des adventices et utiliser un programme de désherbage faisant l'impasse sur un traitement de prélevée. On peut aussi réduire fortement le risque de fuite d'azote en hiver, ce qui peut être intéressant dans les situations de forte disponibilité en azote du milieu (été, automne et après épandage d'effluents organiques). Il ne semble pas y avoir de facteur limitant concernant l'implantation, les ravageurs ou l'élaboration du rendement dans le cadre d'une date de semis avancée. Cependant le risque d'attaque par le phoma augmente, ce qui limite la faisabilité d'un tel itinéraire technique.

L'importance du choix variétal

Le choix de la variété cultivée est souvent lié à celui de la date de semis. Les paramètres pris en compte dans ce choix sont la sensibilité au froid et à la photopériode, ainsi que la résistance aux ravageurs et aux maladies. De plus, dans le cadre des itinéraires techniques « bas

intrants » du blé, leur pertinence a été accentuée par l'apparition de variétés de blés rustiques. Une variété rustique est une variété atteignant un haut niveau de performance pour 3 critères (Bouchard *et al.*, 2008):

- La résistance aux maladies du feuillage et à la verse,
- La capacité à maintenir un rendement élevé en situation de stress et stabilité du rendement,
- La teneur en protéines.

D'autres critères de rusticité peuvent être pris en compte en fonction des conditions pédo-climatiques de la région : valorisation de fertilisations azotées sub-optimales, tolérance à des stress hydriques, tolérance au piétin verse, adaptation à une large gamme de contextes pédoclimatiques.

De plus, une variété rustique ne doit pas connaître de défaut marqué sur les autres caractères d'importance économique pour être efficace. Ces variétés sont néanmoins moins productives (5 à 10 q/ha de moins) que les variétés de même génération. Elles sont parfaitement adaptées aux itinéraires techniques à bas niveau d'intrants. Rolland *et al.* (2003) ont ainsi souligné l'importance du couple « variété – itinéraire technique » dans la mise en place des systèmes de culture moins consommateurs d'intrants.

Pertinence économique

Meynard, en 1985, montre que les itinéraires techniques à bas niveau d'intrants deviennent compétitifs face aux itinéraires intensifs quand le prix des céréales baisse. 2 itinéraires techniques en blé, avec des objectifs de rendement différant de 15 q/ha, permettent d'atteindre le même niveau de marge brute. Meynard et Savini, en 2003, appliquent cette démonstration pour plusieurs prix de la tonne de blé :

- à 190 euros/tonne, l'itinéraire intensif est le plus rentable,
- à 137 euros/tonne, les deux itinéraires ont des marges proches, souvent légèrement supérieure pour l'itinéraire « bas intrants »,
- à 100 euros/tonne, l'itinéraire « bas intrants » obtient une marge nettement supérieure.

Dans le contexte agricole actuel, sans aide apportée aux systèmes à bas niveau d'intrants, la pertinence économique de tels systèmes de culture reste posée quand les prix des céréales sont élevés.

1.2.1.2.2 Des ITK aux systèmes de culture à bas niveau d'intrants

La construction des systèmes à bas niveau d'intrants est basée sur les itinéraires techniques à bas niveau d'intrants, mais sollicite aussi d'autres leviers (Bertrand et Doré, 2008). On raisonne davantage les successions culturales (y compris les intercultures, les plantes de couverture et les mélanges variétaux). L'objectif est d'optimiser la gestion des bioagresseurs, la fertilisation minérale et l'atteinte des différents critères environnementaux (érosion, lixiviation des nitrates). Les systèmes de culture à bas niveau d'intrants ont un recours plus faible aux pesticides, ainsi qu'une diminution de la quantité d'engrais azotés apportés. L'utilisation de l'irrigation est également rationnée. La simplification du travail du sol est également mobilisée. Ceci présente un intérêt certain sur le plan énergétique, ainsi que sur le temps de travail, la limitation du ruissellement et de l'érosion.

Dans la mise en place de tels systèmes de culture, il devient nécessaire de raisonner non plus à l'échelle du cycle cultural, mais de la rotation (Meynard et Savini, 2003). La fertilisation, la gestion des adventices, l'implantation de couverts végétaux doivent donc être gérés à cette échelle. Chauvel *et al.*, en 2001, ont étudié l'impact du système de culture (et du type de travail du sol) sur la densité de vulpins. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Importance de la population de vulpin des champs en rotation céréalière

Cultures d'hiver, labourées	11 plants/m ²
Cultures d'hiver, travail superficiel	706 plants/m ²
Cultures d'hiver et de printemps, labourées	0,01 plants/m ²
Cultures d'hiver et de printemps, travail superficiel	3 plants/m ²

Une bonne maîtrise agronomique à l'échelle de la rotation permet de limiter fortement le recours aux produits phytosanitaires. Une rotation trop courte peut donc compromettre la faisabilité de systèmes de culture à bas niveau d'intrants.

1.2.1.2.3 Risques liés

L'adoption de systèmes de cultures à bas niveau d'intrants présente toutefois certains risques. On peut craindre une plus forte variabilité des résultats techniques et donc économiques. En effet la réduction du niveau d'intrants entraîne une plus forte dépendance au contexte pédo-climatique et à l'historique de la parcelle. Il est également à craindre un salissement accru par les adventices, et plus particulièrement dans le cadre de techniques culturales simplifiées (Debaeke et Nolot, 2003). Il existe néanmoins une forte variabilité suivant les conditions expérimentales. Les effets de cette simplification dépendent du travail du sol, des conditions de ce travail, des adventices présentes dans le système de culture et des interactions entre ces différents paramètres (Bertrand et Doré, 2008).

1.2.1.2.4 Objectifs

On attend de ces systèmes à bas niveau d'intrants plusieurs types de bénéfices (Debaeke et Nolot, 2003) :

- Bénéfices environnementaux (réduction des pollutions et préservation des ressources naturelles),
- Gains énergétiques (carburant et intrants),
- Réduction du temps de travail.

Liebman et Gallandt, en 1997, ont de plus montré qu'en réduisant la dépendance aux intrants des systèmes de culture (et plus particulièrement aux herbicides), leur autonomie se trouve renforcée, la qualité des sols et de l'eau peut être préservée, et la spécialisation des espèces adventices régresse fortement.

1.2.2 Les impacts de la baisse des intrants sur les adventices

Les adventices sont considérées comme nuisibles par les agriculteurs pour plusieurs raisons (Munier-Jolain *et al.*, 2009) :

- La compétition directe pour les ressources (lumière, eau, nutriments) et ses conséquences sur les pertes de rendement,
- Leur rôle comme plantes hôtes pour les ravageurs et les pathogènes.

1.2.2.1 Impact de l'agriculture intensive sur les adventices

L'agriculture intensive est basée sur une utilisation importante d'engrais minéraux et d'herbicides, sur un labour fréquent du sol et l'utilisation d'espèces semées à des densités élevées, au détriment de la biodiversité non cultivée au sein des agrosystèmes (Hyvönen *et al.*, 2002). Un tel type d'agriculture a causé de grands changements dans les communautés d'adventices (Mc Closkey *et al.*, 1996). En plus d'une baisse de leur diversité, les pratiques culturales intensives ont également un impact sur la composition des communautés.

L'utilisation prolongée des herbicides sur céréales entraîne une baisse de l'abondance des dicotylédones et des adventices sensibles aux herbicides. On constate également une hausse des monocotylédones, telle la folle avoine, liée à l'utilisation d'herbicides à base d'auxines (2, 4-D) pour

contrôler les dicotylédones et des espèces résistantes aux herbicides (Hyvönen *et al.*, 2003). Rassam *et al.* (2011), ont montré qu'en Iran, l'intensification de la culture de blé depuis les années 1970 a causé des changements importants dans la composition et la diversité des communautés d'adventices dans les agrosystèmes. Durant la dernière décennie, ils ont constaté une explosion des problèmes de résistance aux herbicides, ce qui pose la question de la durabilité écologique de l'agriculture conventionnelle.

En système conventionnel, on note également la présence d'espèces nitrophiles. En effet, une fertilisation azotée plus élevée favorise de telles espèces. De plus, la fertilisation azotée permet une croissance accrue de la culture, causant la fermeture des rangs et l'interception d'une partie du rayonnement pour les adventices. Ceci favorise donc les espèces tolérantes à l'ombre, les espèces grimpantes (*Convolvulus arvensis*), capables d'atteindre des conditions de lumière plus propices et les espèces compétitives, mais élimine les autres, avec pour conséquence une baisse de la diversité des adventices (Bengtsson *et al.*, 2005).

1.2.2.2 Impact des systèmes à bas niveau d'intrants sur les adventices

Les systèmes à bas niveau d'intrants sont supposés augmenter la diversité des espèces d'adventices et modifier la composition des communautés (Hyvönen et Salonen, 2002).

Rassam *et al.* (2011) ont comparé 15 parcelles menées en agriculture conventionnelle et 15 parcelles menées en agriculture à bas niveau d'intrants (Iran). Le système conventionnel est basé sur une rotation exclusivement céréalière, les systèmes à bas niveau d'intrants alternant céréales et légumineuses. Dans les deux cas, les fertilisants sont à la fois minéraux (N et P) et organiques. Cependant, les systèmes à bas niveau d'intrants utilisent plus de fumier, et moins de fertilisants de synthèse. Un herbicide de post-levée est appliqué dans les systèmes conventionnels.

Le nombre d'espèces dans les parcelles à bas niveau d'intrants (34) est 1,3 fois plus grand que dans les systèmes conventionnels (26). Les analyses statistiques aboutissent à une différence significative entre les deux communautés d'adventices. La richesse spécifique et l'indice de Shannon sont significativement plus élevés dans les systèmes à bas niveau d'intrants. Les parcelles des systèmes conventionnels possèdent une flore relativement similaire entre elles (à cause d'une gestion relativement homogène). On note plus de variabilité dans les systèmes à bas niveau d'intrants, à cause d'une gestion plus diversifiée.

En systèmes à bas niveau d'intrants, on note une fréquence accrue de la présence de certaines adventices, telles *Veronica persica*, *Capsella bursa-pastoris*, *Ranunculus arvensis*. La densité élevée de ces espèces peut être causée en partie par leur grande compétitivité à de faibles doses d'azote dans le sol. De plus, la faible densité du blé dans le système à bas niveau d'intrants favorise les adventices à faible vitesse de croissance, comme *Centaurea depressa* ou *Sinapis arvensis*.

Chikowo *et al.*, en 2009, ont évalué la performance de cinq systèmes de culture basés sur une lutte intégrée contre les adventices (ou IWM : Integrated Weed Management). L'expérimentation a duré 6 ans. De la même façon que les systèmes à bas niveau d'intrants, la lutte intégrée contre les adventices utilise plusieurs leviers :

- la rotation des cultures,
- un travail du sol adapté pour gérer la profondeur du stock semencier,
- le recours aux faux semis et à des dates et densités de semis adaptées,
- l'utilisation de cultivars compétitifs,
- le désherbage mécanique.

On remarque que la densité moyenne des adventices est très variable entre les deux répétitions d'un même système de culture (probablement à cause de différences dans la banque de graines). Cependant, la densité moyenne d'adventices sur les 6 ans n'est pas significativement distincte entre systèmes intégrés et système de référence. Les systèmes de culture utilisant une gestion intégrée des adventices permettent effectivement de réduire la dépendance aux herbicides, de réduire leur impact sur l'environnement et de contrôler efficacement les populations d'adventices sur le long terme.

Koocheki *et al.* ont évalué en 2008 l'effet de plusieurs systèmes de culture (et de plusieurs rotations) sur le stock semencier du sol et la population d'adventices. L'expérimentation s'est déroulée sur 6 ans, dans une ferme expérimentale en Iran. 3 rotations (monoculture de blé d'hiver, maïs – blé d'hiver, betterave à sucre – blé d'hiver) ont été croisées avec 5 systèmes de culture avec des recours aux intrants (fertilisants et pesticides) d'intensité différentes (haut, moyen et bas niveau d'intrants, intégré et biologique). Les résultats montrent des différences significatives entre systèmes de culture en ce qui concerne la densité totale du stock de graines dans le sol. Elle est supérieure dans les systèmes biologiques et intégrés (5000 à 6000 graines/m²) par rapport au système conventionnel (2000 graines/m²). Cette densité est également plus élevée dans le cas de la monoculture de blé, comparativement aux autres rotations. Cependant les conséquences d'une mauvaise gestion des adventices peuvent, en l'espace d'un cycle cultural, l'emporter sur les effets à long terme des différentes rotations et systèmes de culture.

1.2.3 Les méthodes de gestion alternatives des adventices

1.2.3.1 Les différentes méthodes de lutte

1.2.3.1.1 Lutte agronomique

On distingue plusieurs méthodes de lutte agronomique contre les adventices (Melander *et al.*, 2005). Les méthodes de lutte préventive (choix de la rotation, travail du sol, faux-semis, couverts végétaux et cultures étouffantes) sont utilisées avant l'implantation de la culture : leur but est de réduire l'apparition d'adventices. L'objectif des méthodes culturales (choix de la variété, de la densité et de la date de semis) est de donner l'avantage à la culture dans la compétition entre culture et adventices.

➤ Les méthodes de lutte préventive

Rotation

Elle a un rôle primordial sur la communauté d'adventices présentes dans l'agrosystème (Bertrand et Doré, 2008). En effet, le calendrier cultural détermine les conditions de croissance que rencontre une espèce lors de sa levée. De plus, une culture donnée implique un ensemble de techniques culturales (travail du sol, implantation de la culture, fertilisation, technique de désherbage). La diversification des dates d'implantation (printemps et automne) permet ainsi d'éviter la spécialisation de la flore adventice. L'allongement de la durée de la rotation a également un impact fort sur la flore adventice, comme le montre la figure 1.

Figure 1 - Nombre de plantules/m² avant semis de céréales d'hiver en fonction de la longueur de la rotation
Nombre de plantules /m² avant semis des céréales d'hiver
en fonction de la longueur de la rotation

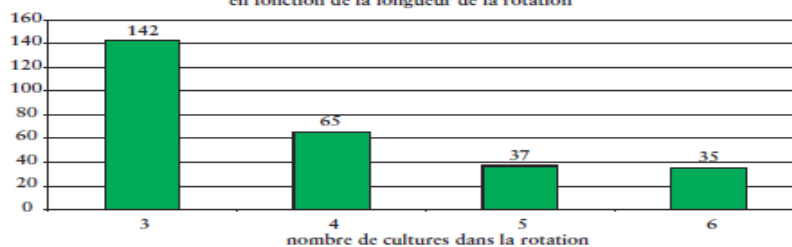


Figure 1: nombre de plantules/m² avant semis de céréales d'hiver en fonction de la longueur de la rotation (David, In: *Maîtriser les adventices en grandes cultures biologiques*, ITAB, 2005).

Travail du sol

Le travail du sol a un rôle important dans la lutte contre les adventices. Pour certaines espèces aux semences fragiles comme le brome, le vulpin, le ray-grass ou le gaillet, un

enfouissement de plus d'un an permet une réduction de leur viabilité. (Chauvel *et al.*, 2001). Néanmoins, ce type d'intervention entraîne également la dormance des semences les plus persistantes, qui pourront au prochain labour être remises en surface. C'est pourquoi il peut être utile d'alterner travail du sol profond et superficiel afin de gérer au mieux la flore adventice (Aubertot *et al.*, 2011).

Faux semis

Le faux semis est une préparation du lit de semence, mais sans être suivi d'un semis. Les graines d'adventices germent en surface, et sont ensuite détruites mécaniquement. L'objectif est de réduire le stock semencier du sol. L'opération peut être répétée plusieurs fois dans le cas d'une interculture longue sans culture intermédiaire. Réalisée avant l'implantation d'une culture, cette technique permet de diminuer de façon significative l'apparition d'adventices dans la culture suivante (Melander *et al.*, 2005).

L'efficacité du faux semis dépend du contexte pédoclimatique (principalement l'humidité résiduelle du sol) et de la flore adventice. Ce levier est efficace pour des cultures d'automne et d'été, mais plus difficile à gérer pour des semis de printemps. En effet, les levées d'adventices sont très échelonnées, rendant moins efficace cette technique (Aubertot *et al.*, 2011).

Couverts végétaux

Ce sont des espèces couvrant une parcelle entre deux cultures (Liebman et Davis, 1999). Les avantages agronomiques de l'implantation d'un couvert végétal sont multiples : amélioration des caractéristiques physiques du sol, réduction des fuites de nutriments et de l'érosion, introduction d'azote dans le milieu (Fabacées), et contrôle de la germination et de la croissance des adventices (Liebman et Davis, 1999). Les couverts végétaux permettent cette régulation des adventices par la compétition exercée sur les ressources (lumière, chaleur, nutriments), et les modifications exercées sur les facteurs environnementaux affectant la germination et la croissance des adventices, ainsi que par allélopathie. Ce contrôle des adventices a pour conséquence la baisse de l'infestation dans les cultures suivantes. Cependant les modalités d'implantation des couverts végétaux doivent être adaptées au contexte pédoclimatique (Justes *et al.*, 2012).

Teasdale et Daughtry (1993) ont noté qu'un couvert végétal de vesce velue (*Vicia villosa*) permet de réduire de 70 à 80 % la densité d'adventices et de 52 à 70 % la biomasse de celles-ci, en comparaison avec un témoin en jachère. Mac Lenaghan *et al.* (1996), dans un essai comparant 5 couverts végétaux et une parcelle en jachère montrent que le pourcentage de recouvrement des adventices est inversement proportionnel à celui du couvert végétal. La jachère présente une couverture d'adventices de 52 %, alors que le couvert de moutarde blanche permet de réduire la couverture d'adventices à 4 %. Les autres couverts végétaux montrent des recouvrements intermédiaires.

Cultures étouffantes

Les cultures étouffantes sont caractérisées par une croissance rapide, un port étalé et une capacité de ramification importante, entraînant une couverture rapide du sol, empêchant ainsi le développement des adventices. On peut citer les prairies, la luzerne, le trèfle, les associations céréales-fabacées et le chanvre (Aubertot *et al.*, 2011). Cependant, le contexte économique et technique ne permet pas toujours d'insérer une telle culture dans la rotation.

➤ Les méthodes de lutte culturales

Choix d'un cultivar compétitif

Les variétés possédant un pouvoir couvrant élevé (comme Renan pour le blé) ou un taux de croissance important peuvent réduire la biomasse des adventices de 25 % (Melander *et al.*,

2005). De plus, les cultures levant plus rapidement que les adventices possèdent de ce fait un avantage compétitif, et cela peut rendre plus efficace l'effet du désherbage mécanique.

Densité de semis

Le choix d'une implantation à densité élevée est également un moyen de contrôler efficacement les adventices. Weiner *et al.* (2001) ont montré que l'augmentation de la densité de semis pouvait avoir comme conséquence la baisse de 30 % de la biomasse totale d'adventices. Cependant, cela entraîne une consommation accrue de semences et peut augmenter le risque de maladies fongiques, nécessitant l'utilisation de fongicides. Une telle stratégie est donc en porte-à-faux dans le cadre de la construction d'un système de culture à bas niveau d'intrants.

Décalage de la date de semis

Les exemples du blé et du colza ont été cités précédemment. Dans le cas du blé, il s'agit d'une stratégie d'évitement qui consiste à planter plus tardivement la culture afin d'esquiver la flore adventice automnale qu'on aura détruite par faux semis. Dans le cas du colza, il s'agit, par avancement de la date de semis, de conférer à la culture l'avantage par rapport aux adventices. Cependant cette stratégie peut être limitée dans certains contextes pédoclimatiques.

1.2.3.1.2 Lutte mécanique

La herse étrille

C'est un matériel de conception simple. Elle est constituée de panneaux articulés indépendants reliés au bâti par des chaînes et un parallélogramme, ce qui permet à l'outil d'épouser parfaitement le sol et d'assurer ainsi un travail optimal. Sur ces parallélogrammes sont fixées des dents métalliques souples, montées sur ressort. Lors du désherbage, les vibrations des dents déracinent les jeunes plantules. Cet outil peut s'utiliser sur tous types de cultures et d'écartements (blé, maïs...). Il permet un désherbage précoce en plein, réalisé en pré-levée (au stade filament) ainsi qu'en post-levée. Il n'est cependant efficace que sur jeunes plantules, son efficacité étant réduite sur adventices plus développées et sur vivaces. Les dicotylédones annuelles sont sensibles jusqu'au stade 3 à 4 feuilles, alors que les graminées sont plus résistantes. Le débit de chantier est élevé (de 3 à 8 ha/h, suivant le stade d'intervention), et le coût de passage faible (environ 7 euros/ha). Cet outil permet de plus un travail superficiel du sol, qui sera cependant limité sur limons battants. L'agressivité des dents résulte de plusieurs réglages : l'inclinaison des dents, la vitesse et la profondeur de travail (Wylleman *et al.*, 2005).

Il est nécessaire d'anticiper la perte de pieds en augmentant la densité de semis (+10%) pour conserver le potentiel de rendement. Il est également important d'intervenir sur un sol ressuyé, en conditions séchantes. En effet, le passage de l'outil doit permettre d'isoler les racines des adventices, et de les exposer à l'air (Wylleman *et al.*, 2005).

La houe rotative

Elle est constituée de roues étoilées disposées sur deux rangées, décalées l'une par rapport à l'autre. Les roues sont équipées de dents en forme de cuillers : leur rotation entraîne alors un travail d'arrachement superficiel du sol. Les dents frappent le sol à grande vitesse et soulèvent les premiers centimètres de terre en mettant à nu les adventices ayant germé. Elle possède les mêmes caractéristiques que la herse étrille. Son débit de chantier est élevé (5 ha/h). C'est cependant un outil plus agressif que celle-ci, moins sensible aux débris végétaux et aux bourrages. Elle permet aussi un travail superficiel du sol (décroûtage et aération). Son efficacité est cependant réduite en sols meubles ou sableux. L'agressivité des roues dépend de 3 réglages : la vitesse de travail, la profondeur de travail et la pression des dents sur le sol. Il est également nécessaire d'anticiper la perte de pieds en augmentant les densités de semis (+ 5%) (Wylleman *et al.*, 2005).

La bineuse à dents

La bineuse est un outil conçu pour le désherbage de cultures sarclées (maïs, soja, tournesol). Elle est constituée d'éléments indépendants montés sur parallélogramme et dont la position sur le bâti est réglable afin de s'adapter aux différents écartements des cultures. Chaque élément est composé de plusieurs dents vibrantes ou rigides, pouvant être équipées d'un large choix de pièces travaillantes (socs, lames...). Des roues de jauge permettent de contrôler la profondeur de travail. Les rangs sont protégés par des disques. Ils permettent de protéger les cultures jeunes lors du binage. Cependant ils sont amovibles : ils permettent alors de butter le rang dans le cas d'une culture plus développée, ce qui permet de recouvrir les adventices se trouvant sur le rang. Deux coutres de guidage circulaires permettent de conserver la bonne trajectoire de l'ensemble (Wylleman *et al.*, 2005).

La bineuse, contrairement à la herse étrille et la houe rotative, permet d'intervenir efficacement sur des adventices plus développées, et à des stades plus avancés des cultures sans les endommager (Figure 4). De plus, le binage permet un travail superficiel du sol intéressant, notamment pour limiter les pertes en eau en été. Le travail important de l'inter-rang de la bineuse réduit considérablement le ruissellement en cas de fortes pluies retardant l'érosion.

L'outil demande cependant un guidage précis pour préserver la culture, et une attention soutenue de la part du conducteur. Le débit de chantier est par conséquent assez lent (de l'ordre de 2 ha/h). L'outil ne permet pas de destruction des adventices sur le rang. Le semis doit être rectiligne et à écartement régulier (Wylleman *et al.*, 2005).

La désherbineuse

Un pulvérisateur est combiné à la bineuse à dent ; il permet d'intervenir en traitement localisé sur le rang, complétant efficacement le travail de la bineuse dans l'inter rang. Ceci permet de réduire de 2/3 la dose de produit phytosanitaire employée par rapport à une pulvérisation en plein. Cet outil permet une très bonne maîtrise des adventices, à la fois dans l'interrang et sur le rang. Cependant, le nombre de jours disponibles est plus restreint pour ce type d'outil : les conditions doivent être adéquates pour le binage mécanique (sol ressuyé et conditions séchantes) et pour la pulvérisation (vent faible). Comme pour le binage simple le débit de chantier est assez bas (Wylleman *et al.*, 2005).

L'herbi-semis

Contrairement aux outils précédemment cités, l'herbi-semis n'est pas un matériel mais une technique de désherbage. Elle associe la pulvérisation d'un herbicide de pré-levée sur le rang lors du semis, avec un binage de l'inter-rang réalisé après la levée. La surface traitée est ainsi divisée par trois. Les outils utilisés sont un semoir équipé de buses de pulvérisation au niveau des éléments semeurs (Figure 5), et une bineuse à dents classique. Cette technique est applicable à toutes les cultures sarclées se désherbant chimiquement avant la levée, comme le tournesol. L'intérêt d'une telle technique est de réduire la quantité d'herbicide utilisée pour le traitement de pré-levée, mais également de pouvoir raisonner l'intervention de post-levée : on peut faire l'impasse sur le binage si l'état de la parcelle ne le justifie pas. Cependant deux passages de bineuse peuvent être à prévoir en cas de forte infestation (Wylleman *et al.*, 2005).

1.2.3.1.3 Association du désherbage mécanique et de la lutte agronomique

Les techniques de désherbage mécanique (ou mixte) doivent être associées à des méthodes de lutte agronomique (lutte préventive et méthodes culturales) pour pouvoir assurer un contrôle efficace des adventices (Melander *et al.*, 2005). En effet, leur efficacité lorsqu'elles sont utilisées seules est inférieure à celle d'un herbicide, comme le montre le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2: Efficacité comparée des différentes techniques culturales alternatives avec l'efficacité attendue d'un herbicide (Munier-Jolain et al., 2009)

Techniques	Herbicides	Désherbage mécanique	Faux semis	Densité de semis, largeur de l'inter-rang	Cultivars compétitifs	Culture de printemps dans une rotation hiver
Efficacité	~98 %	47-61 %	56-72 %	~75 %	~75 %	20-96 %

1.2.3.2 Raisonnement à l'échelle du système de culture

Une gestion efficace à long terme des adventices dans des systèmes de culture à bas niveau d'intrants passe par une approche du problème à l'échelle du système de culture (Melandar *et al.*, 2005). Le pilier central dans la construction d'un système de culture est la diversification des cultures et des pratiques culturales associées. Quand les conditions environnementales et économiques ne sont pas restrictives, cette diversification s'opère par l'alternance de cultures d'hiver et d'été, de céréales et de cultures racines, de cultures exigeantes en azote et de fabacées, et de couverts végétaux. Ces techniques permettent alors d'éviter l'établissement d'une flore adventice spécialisée et très compétitive.

1.3 Le projet ANR MicMac-Design :

MicMac-Design est l'acronyme du nom du projet en anglais: "**M**odelling for Integrated **C**rop **M**anagement in low input farming, **A**ssessment and **C**ropping system **D**esign". Ce qui signifie en français : « Conception et évaluation par expérimentation de prototypes de systèmes de culture intégrés à bas niveau d'intrants ».

1.3.1 Partenaires :

Lancé le 4 janvier 2010, il regroupe plusieurs organismes d'enseignement et de recherche et instituts techniques dont:

- 3 unités de recherche de l'INRA :
 - UMR AGIR (Agronomie, agricultures, Gestion des ressources, Innovations et Ruralités)
 - UR BIA (Biométrie et Intelligence Artificielle)
 - UMR EGC (Environnement et Grandes Cultures)
- 2 unités de service de l'INRA : US Agro Impacts et US Agroclim
- 1 unité expérimentale : Domaine Expérimental INRA de Toulouse – Auzeville
- 2 établissements d'enseignement supérieur et de recherche en agronomie : l'Ecole d'Ingénieurs de Purpan (équipe DINA (Dynamique des intrants dans les agroécosystèmes)) et l'ENFA (Ecole Nationale de Formation Agronomique)
- 1 laboratoire de recherche : le LEREPS (Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur l'Economie, les Politiques et les Systèmes sociaux)
- 2 instituts techniques agricoles : ARVALIS et le CETIOM
- 1 unité mixte de recherche du CNRS : le CESBIO (Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère)

Financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour une durée de 4 ans, le projet MicMac-Design vise à concevoir et à évaluer des systèmes de culture à bas niveau d'intrants conduits selon les principes de la production intégrée en associant approche expérimentale et modélisation.

1.3.2 Organisation scientifique du projet :

Le projet MicMac-Design est structuré en 7 Workpackages (WP) (Figure 6) :

- **WP1**: Méthodologie de conception et d'évaluation des systèmes de culture,
- **WP2** : Estimation quantitative des stocks et flux d'eau, de carbone, d'azote et de pesticides et évaluation des impacts environnementaux,
- **WP3** : Valorisation de la diversité inter et intra spécifique en production intégrée des cultures : approche générique et application aux cultures monospécifiques et aux cultures associées,
- **WP4** : Caractérisation et modélisation des interactions biologiques au sein des biocénoses des agrosystèmes pour réduire l'utilisation de pesticides et surveiller la biodiversité,
- **WP5** : Evaluation économique des systèmes de culture innovants et des effets de verrou dans les filières,
- **WP6** : Conception et mise en œuvre de l'environnement informatique de modélisation "MicMac,"
- **WP7** : Création dans les écoles d'agronomie de Toulouse d'un cursus d'agroécologie et production intégrée des cultures s'appuyant sur l'approche et les résultats du projet "MICMAC-Design".

1.3.3 Le workpackage 4 :

L'étude s'intègre dans le WP 4, tâche 4.1, sous-tâche 4.1.3

Le WP 4 a pour but de caractériser les interactions entre la biocénose (culture, bioagresseurs et auxiliaires) et son biotope (sol et atmosphère) pour plusieurs agrosystèmes afin d'évaluer leurs performances en termes de préservation de la biodiversité et pour quantifier leur capacité à limiter les pertes de rendement dues aux bioagresseurs (agents pathogènes, adventices et ravageurs).

De plus, ce workpackage a pour objectif de développer des modèles qui simuleront les dynamiques de populations, les dégâts et les fonctions de dommage afin d'aider à concevoir des systèmes de culture moins dépendants de l'usage de pesticides.

Le WP4 s'articule autour des deux tâches suivantes :

- WP4.1 : Caractérisation des interactions au sein de la biocénose et entre biocénose et biotope dans les agrosystèmes innovants
- WP4.2 : Modélisation des dynamiques de population de bioagresseurs et des dégâts et dommages occasionnés sur les cultures

L'objectif global de la tâche 4.1 est d'analyser l'effet des systèmes de culture innovants sur les interactions biologiques parmi divers composants de la biocénose et entre ces composants et leur biotope. Trois pratiques agricoles innovantes - les cultures associées, la simplification du travail du sol et les systèmes à bas niveau d'intrants - correspondant aux trois sous-tâches suivantes ont été sélectionnées, afin de couvrir une large gamme de modifications des dynamiques biologiques des champs cultivés :

- Sous-tâche 4.1.1 : Impact de la biodiversité contrôlée sur la régulation des bioagresseurs en parcelles cultivées en association blé / pois
- Sous-tâche 4.1.2 : Analyse de la simplification du travail du sol sur la production d'inoculum primaire de plusieurs agents pathogènes du tournesol
- Sous-tâche 4.1.3 : Analyse des dynamiques biologiques au sein de systèmes de culture à bas niveau d'intrants

Cette sous-tâche 4.1.3 est menée par l'UMR AGIR et l'EI Purpan. Parallèlement au suivi physique et chimique des systèmes de culture testés dans le cadre du projet MicMac-Design pour évaluer leurs impacts environnementaux, l'objectif de cette sous-tâche est d'étudier l'effet de ces systèmes de culture sur la biodiversité.

La diversité spécifique des adventices sera étudiée afin d'analyser comment les systèmes de culture et, plus spécifiquement, les successions de culture, le travail du sol, les dates et densités de semis et la fertilisation azotée affectent la composition de leurs communautés.

En plus de ces observations, un suivi des populations de carabes sera également réalisé, les espèces de cette famille étant sensibles aux modifications anthropogéniques de leur habitat et considérées comme bons indicateurs de l'impact des modes de conduite.

Enfin, le profil de maladies rencontré sur blé dans les systèmes de culture testés sera suivi comme un indicateur des stress biotiques. L'objectif de ces dernières observations est d'aider à la conception d'un modèle générique qui représente les modifications dans les communautés fongiques, les dégâts qu'elles induisent et les dommages sous l'influence des pratiques culturales (sous-tâche 4.2.2).

Le but de la tâche 4.2 est de développer des modèles qui représentent les dynamiques de populations de bioagresseurs, les dégâts qu'ils causent et les dommages associés. Une attention particulière sera prêté à la méthodologie de modélisation, l'une des productions attendues pour cette tâche étant d'aider à la conception de la structure générique de la plateforme MicMac (WP6). Pour ce faire, plusieurs approches de modélisation seront sélectionnées à travers deux sous-tâches afin de couvrir une large gamme de techniques utilisées pour représenter les dégâts et les dommages :

- Sous-tâche 4.2.1 : Modélisation des dégâts et couplage avec les modèles de culture
- Sous-tâche 4.2.2 : Modélisation des profils de dégâts et des dommages associés

1.3.4 Les objectifs du projet MicMac Design

L'évaluation de systèmes de cultures sur le projet MicMac Design est menée conjointement sur deux sites : celui de l'Inra d'Auzeville, au sud de Toulouse, et celui de la station expérimentale de Lamothe, au sein de l'exploitation agricole de L'EI Purpan, à Seysses, 20 km au sud-ouest de Toulouse. L'expérimentation d'Auzeville a pour but de trouver des alternatives à la rotation tournesol – blé dur, tandis que l'équipe de Lamothe recherche des améliorations ou des alternatives à la monoculture de maïs irrigué.

La monoculture de maïs irrigué est très répandue dans la région de Toulouse, du fait du climat favorable et de la possibilité d'irrigation. Cependant, il existe plusieurs limites à ce système de culture. Le retour d'une même culture année après année fait augmenter la pression de ravageurs et de maladies. Aucun couvert végétal n'est mis en place pendant l'interculture, ce qui laisse le sol nu pendant 7 mois de l'année, avec pour conséquence la lixiviation des nitrates et des pesticides. Ceci est d'autant plus préoccupant du fait de la position haute de la nappe en hiver, et par la nature alluviale des sols de la région, possédant localement une forte pierrosité, et donc particulièrement drainants. La culture du maïs est de plus consommatrice d'azote et d'eau, ce qui accentue la dépendance des exploitations aux intrants.

La finalité des systèmes de culture testés sur le dispositif MicMac de Lamothe est donc de préserver la ressource en eau, en conciliant une utilisation efficiente de l'eau et la restitution dans le milieu d'une eau de bonne qualité chimique. La plateforme MicMac Design de Lamothe a pour objectif d'évaluer plusieurs améliorations, voire alternatives à la monoculture de maïs irrigué, avec différents degrés de rupture par rapport au système de référence. Ces systèmes de culture seront présentés dans le chapitre « Matériel et méthodes ».

Pour tous ces systèmes, les objectifs à atteindre sont les suivants :

- Une réduction de l'impact environnemental des cultures, par :
 - Une diminution des apports en intrants (engrais et pesticides)
 - Une limitation des pertes de nitrates et d'intrants chimiques
- Une amélioration de l'autonomie des systèmes de culture

- Un maintien de la marge économique de la monoculture de maïs

1.3.4.1 Stratégies mobilisées

- L'implantation de cultures intermédiaires, possédant différentes fonctionnalités suivant leur insertion dans la rotation
 - Piège à nitrates, après culture de Fabacées (moutarde)
 - Engrais vert, avant culture à haut besoin en azote (vesce)
 - Compétition avec les adventices (avoine)
 - Contrôle des parasites du sol (moutarde ou phacélie)
- La mise en place de rotations, pour perturber le cycle des bioagresseurs et optimiser l'utilisation des ressources abiotiques
- L'utilisation de techniques culturales innovantes
 - Désherbage mécanique (herse étrille, houe rotative)
 - Désherbage mixte (herbi-semis, désherbinage)
 - Réduction du travail du sol (strip-till)
- L'utilisation de règles de décision pour réduire l'emploi d'intrants chimiques, suivant des seuils, l'état des cultures, les conditions climatiques
- L'association de cultures
 - Maïs grain/couvert permanent de trèfle blanc
 - Maïs grain avec culture intermédiaire de Ray-Grass/Trèfle violet semé sous couvert

1.3.4.2 L'Ecole d'Ingénieurs de Purpan

L'école d'ingénieurs de Purpan (Toulouse) est dotée de plusieurs départements d'enseignement et de recherche, dont le département Agriculture et Agroalimentaire, dans lequel j'ai réalisé mon stage. Celui-ci se compose de trois unités de recherche :

- Biodiversité des systèmes agricoles et naturels
- Dynamique des intrants dans les agroécosystèmes (DINA)
- Terroir, élevage et qualité des produits

Mon stage a été co-encadré par Jean-Marie Savoie, docteur en écologie végétale, de l'unité « Biodiversité des systèmes agricoles et naturels » et par Simon Giuliano, ingénieur de recherche dans l'unité DINA.

L'école possède une exploitation agricole, le Domaine de Lamothe, sur la commune de Seysses (31600), à 20 km au Sud-Ouest de Toulouse. Cette exploitation d'une SAU de 250 ha, possède 150 vaches laitières (1.000.000 L de quota) et un atelier de 6000 poules pondeuses. L'assolement est constitué de blé, maïs, soja, tournesol et chanvre. La station d'expérimentations agronomiques de l'école est située sur le Domaine de Lamothe.

La station expérimentale mène plusieurs projets de recherche appliquée en production végétale, dont le projet MicMac Design. Une thèse portant sur le rôle des cultures intermédiaires sur la dégradation des pesticides dans le sol est également en cours, ainsi que des essais factoriels (fertilisation, irrigation, variété) sur la stevia (*Stevia rebaudiana*), une astéracée au fort pouvoir édulcorant, utilisée actuellement en substitution de l'aspartame. Des prestations de service pour des fabricants d'engrais et de produits phytosanitaires sont également réalisées sur le site.

Concernant l'expérimentation sur les productions animales, la conduite du troupeau laitier et des pondeuses est menée en deux lots séparés, ce qui permet de tester l'effet de compléments alimentaires ou de médicaments, l'un des lots servant de témoin. Ceci permet donc d'effectuer des prestations de service pour des agrofournisseurs en nutrition et santé animale.

2 Matériel et méthodes :

2.1 Le contexte expérimental

2.1.1 Le contexte pédoclimatique

2.1.1.1 Localisation

La ferme expérimentale de Lamothe est située à 25 km au sud-ouest de Toulouse, dans le corridor alluvial de la Garonne. L'essai MicMac Design, mis en place pour la campagne 2010/2011, est localisé sur une parcelle de 32 ha, au lieu dit Terreblanque (Figure 2). Avant implantation de l'essai, la parcelle expérimentale était cultivée avec une rotation blé / tournesol (non irrigué) en agriculture raisonnée depuis dix ans. Le précédent est un blé tendre.

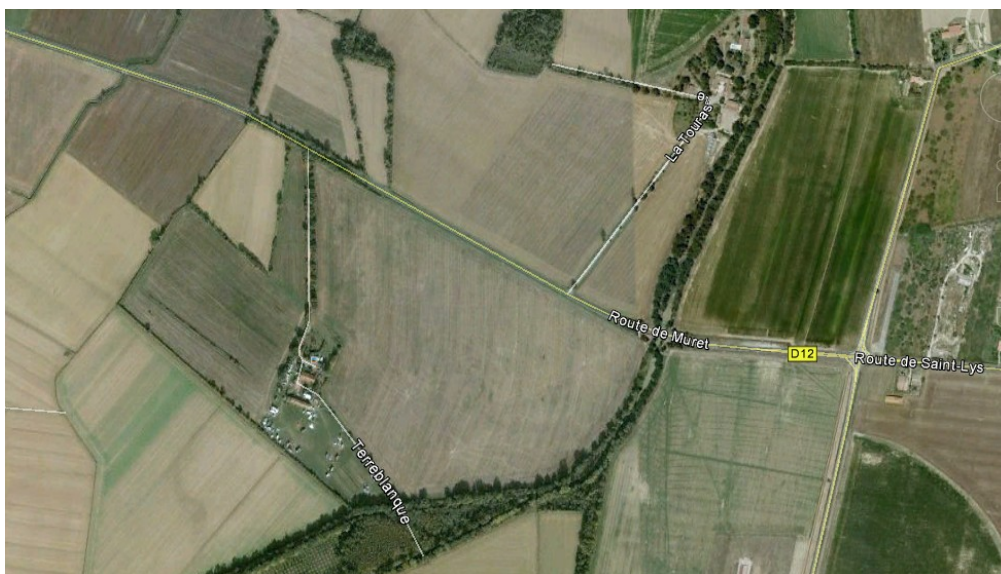


Figure 2: Parcelle du dispositif MicMac (source: Google Earth)

2.1.1.2 Sol

Les terrasses alluviales de la Garonne sont constituées de matériaux arrachés aux Pyrénées par le fleuve et ses affluents, puis transportés et déposés dans de grandes plaines d'inondation au Quaternaire pendant les périodes glaciaires et arides. La haute terrasse, la moyenne et la basse terrasse, ainsi que la basse plaine (où se situe l'actuel lit de la Garonne) se sont successivement formées d'ouest en est au cours du temps. La station expérimentale de Lamothe se situe sur la basse terrasse, constituée de matériaux d'érosion datant de la dernière glaciation (90 000 à 12 000 BP). Sa topographie est très plane, avec une dominance de limons plus ou moins argileux en surface. On trouve également des galets et graviers à des profondeurs variables.

Le dispositif MicMac est installé sur un sol lessivé hydromorphe, limono-argileux à argileux (voir annexe I). Ce type de sol est localement appelé « boubène ». Le sous-sol, à partir de 100 cm, est constitué d'une couche de galets. Les principales caractéristiques du sol sont présentées en annexe. La présence d'un cours d'eau (le Touch) passant au sud de la parcelle est à l'origine du gradient d'argile orienté est-ouest : les parcelles situées à l'ouest sont plus limoneuses que celles de l'est, plus argileuses (voir annexe II).

2.1.1.3 Climat

Le climat de Midi-Pyrénées est un climat de transition entre influences océaniques et méditerranéennes. Les précipitations annuelles à Toulouse sont de 650 mm, et la température moyenne est de 13,4°C (MétéoFrance, période de référence 1878-2008). La quasi-totalité de la région connaît une sécheresse marquée les mois d'été (voir annexe III), rendant nécessaire l'irrigation de certaines cultures, notamment le maïs et le soja.

2.1.2 Les systèmes de culture évalués (ITK voir annexes IV à XIX)

6 systèmes de culture sont évalués sur la plateforme MicMac (Tableau 3). Un système de culture différent est testé sur chaque parcelle élémentaire, et dans chaque bloc l'ensemble des éléments de chaque rotation est présent.

Tableau 3 : Systèmes de culture de la plateforme MicMac Design

Syst.	Conduite	Rotation	Objectifs
MM1	Agriculture « raisonnée »	Maïs grain	« Témoin »
MM2	Cultures intermédiaires semées sous couvert	Maïs grain – Ray-grass/Trèfle Violet	- 25 % eau, - 66 % phytos et flux de nitrates Tendre vers 0 phytos
MM3	Semis direct dans le mulch du couvert précédent	Maïs grain – Phacélie/Vesce/Avoine brésilienne	- 25 % eau - 66 % flux de nitrates et pesticides
MM4	Strip-till végétal + couverture permanente de l'interrang	Maïs grain - Féverole <u>Couvert permanent de trèfle blanc</u>	- 66 % flux de nitrates et herbicides
RC	Rotation de 3 ans avec maïs assolé	Maïs grain – Avoine brésilienne– Soja – Blé tendre – Vesce/Phacélie	- 50 % eau, - 66% flux de nitrates et -50% pesticides
RL	Rotation de 6 ans sans maïs	Sorgho – Repousses de sorgho – Tournesol – Féverole d'hiver – Moutarde – Blé dur – Avoine brésilienne– Pois de printemps – Moutarde – Blé tendre – Vesce/Avoine brésilienne	- 80 % eau -66%flux de nitrates et -50% pesticides Tendre vers 0 phytos

2.1.2.1 Les monocultures de maïs (MM1 à MM4)

Leur but est de proposer des améliorations à la monoculture, en utilisant plusieurs leviers (choix variétal, couvert végétal (intercalaire ou permanent), désherbage mixte et mécanique).

➤ MM1

C'est le système de référence, répandu dans le sud-ouest. Conduit en agriculture raisonnée, son but est de maximiser la marge brute, en accord avec la législation. Aucune restriction en azote, eau et produits phytosanitaires n'est imposée sur ce système de culture. La variété est une variété demi-tardive, Maggi, permettant d'atteindre dans la situation régionale le meilleur niveau de production. L'objectif de rendement est de 130 q/ha. La fertilisation est pilotée par la méthode du bilan azoté prévisionnel. Le désherbage est exclusivement chimique : il est réalisé de façon précoce en post-levée et en plein. Un désherbage de rattrapage peut être également réalisé. L'irrigation prévisionnelle (250 mm) a pour but de satisfaire 90 % de l'ETM. Le sol est nu pendant l'interculture.

➤ MM2

Le but de ce système de culture est de réduire la consommation en eau de 25 %, les fuites de nitrates et de pesticides de 2/3 et de tendre à terme vers un IFT nul. La variété est une variété demi-précoce (Shexspir), afin de réduire le nombre de tours d'eau sur cette culture tout en restant relativement productive; cela permet également de libérer rapidement le sol pour laisser la place au couvert. L'objectif de rendement est de 110 q/ha. Le désherbage est mixte : on utilise la pulvérisation classique, la désherbineuse, ainsi que la houe rotative. L'irrigation prévisionnelle est de 220 mm. A la différence de MM1, un couvert végétal (Ray Grass hybride et Trèfle violet) est semé sous couvert du maïs, au stade 8 feuilles, lors du dernier binage de la culture. Le couvert sera ensuite détruit par broyage puis labour.

➤ MM3

Le but de ce système de culture est de réduire les fuites de nitrates et pesticides de 2/3 et la consommation d'eau de 25 %. Cette monoculture est implantée en strip-till. Le strip-till est une technique de travail du sol impliquant la culture de bandes étroites, séparées par des bandes de sol non travaillées. Ceci permet de fournir un lit de semence favorable à l'établissement de la culture, tout en laissant en surface les résidus de culture sur les bandes non travaillées, ce qui réduit l'érosion du sol (Luna et Staben, 2002). Le strip-till permet également de réduire le nombre de passages sur la parcelle cultivée, d'où une réduction des charges de mécanisation. Ici, le sol est travaillé sur une bande de 20 cm. La variété utilisée est Shexspir, variété demi-précoce. Comme pour MM2, ceci permet une économie d'eau et une implantation plus précoce de la culture intermédiaire. De plus, Shexspir est une variété à démarrage rapide adaptée à un semis en strip-till. L'irrigation prévue est de 220 mm. Le désherbage est mixte : utilisation de la désherbineuse, et pulvérisation classique. Un couvert végétal (avoine + vesce + phacélie) est implanté après la récolte.

➤ MM4

Comme MM3, le but de ce système est également de réduire les fuites de nitrates et pesticides de 2/3 et l'implantation est réalisée en strip-till. La variété utilisée est Maggi (comme pour MM1). Un couvert végétal permanent (trèfle blanc) est implanté la première année. Tout désherbage mécanique étant impossible du fait de la couverture du sol, le désherbage est donc chimique. L'irrigation prévisionnelle est de 250 mm. Une culture intermédiaire (féverole) est également implantée après la récolte du maïs, pour éviter la lixiviation des nitrates durant l'interculture. Elle sera détruite par passage du strip-tiller en sortie d'hiver.

2.1.2.2 Les rotations (courte et longue)

Deux alternatives à la monoculture de maïs sont évaluées sur l'essai : ce sont la rotation courte (RC) et la rotation longue (RL).

➤ RC (voir annexe XXX)

Ce système présente un premier degré de rupture avec la monoculture de maïs : c'est une rotation triennale maïs grain, soja, blé tendre. Un couvert végétal est implanté en interculture quand cela est possible (Figure 3). Le but de ce système de culture est de réduire de 50 % la consommation d'eau et de pesticides, ainsi que les fuites de nitrates (66 %). Les leviers d'action mobilisés sont la diversité des cultures (dont Fabacées), les couverts végétaux et le désherbage mécanique. Ce système permet également de répartir la charge de travail sur l'année, et de réduire les pics d'activité requis par une monoculture de maïs. La stratégie de désherbage associe désherbage chimique, mixte et mécanique.

Le maïs permet de préserver l'efficacité économique du système de culture. Le soja permet une réduction de l'utilisation des intrants, en particulier l'eau et l'azote. L'enrichissement du sol en azote profitera de plus au suivant (blé, culture exigeante en azote). De plus c'est une culture

qui possède une bonne efficacité économique. Le blé tendre d'hiver permet une réduction de la consommation d'eau, et une marge économique relativement bonne. Cela permet de plus d'introduire une culture d'hiver dans la rotation et de diminuer ainsi la pression adventices. La variété utilisée (Nogal) est de plus tolérante aux maladies.

➤ RL (voir annexe XXX)

Le but de ce système de culture est de réduire la consommation en eau de 80 % et de réduire les pertes de nitrates de 66 % et de pesticides de 50%. Ce système présente avec MM1 un degré de rupture plus fort que RC. Aucun maïs n'est assolé ici. La rotation est la suivante : sorgho-tournesol – féverole d'hiver – blé dur – pois de printemps – blé tendre. Un couvert végétal est implanté pendant l'interculture chaque fois que la succession des cultures le permet (Figure 4). Les leviers mobilisés sont la diversité des cultures (dont Fabacées), le désherbage mécanique, les stratégies d'évitement et l'utilisation de variétés tolérantes aux maladies.

Le sorgho permet la réduction de la consommation d'eau, d'azote et de produits phytosanitaires. Il fournit un rendement élevé et régulier (objectif de rendement : 80 q/ha). Le tournesol permet également une réduction de la consommation d'intrants (eau, azote et produits phytosanitaires). La féverole d'hiver et le pois de printemps permettent de réduire la fertilisation azotée pour les suivant (blé dur et tendre). Les blés montrent une bonne rentabilité économique et permettent une réduction de la consommation en eau. La variété de blé tendre (Nogal) est une variété rustique, tolérante aux maladies et adaptée à un semis tardif.

2.1.3 La plateforme MicMac:

2.1.3.1 Plan de l'essai

L'essai est constitué de 2 blocs randomisés de 15 parcelles élémentaires chacun, pour prendre en compte l'hétérogénéité spatiale de la parcelle. Cela fait un total de 30 parcelles, numérotées de P01 à P30 (Figure 3). Chaque parcelle élémentaire mesure 12 m de large sur 60 m de long, soit une superficie de 720 m². La superficie de l'essai est d'environ 2,2 ha (hors bordures et allée centrale).

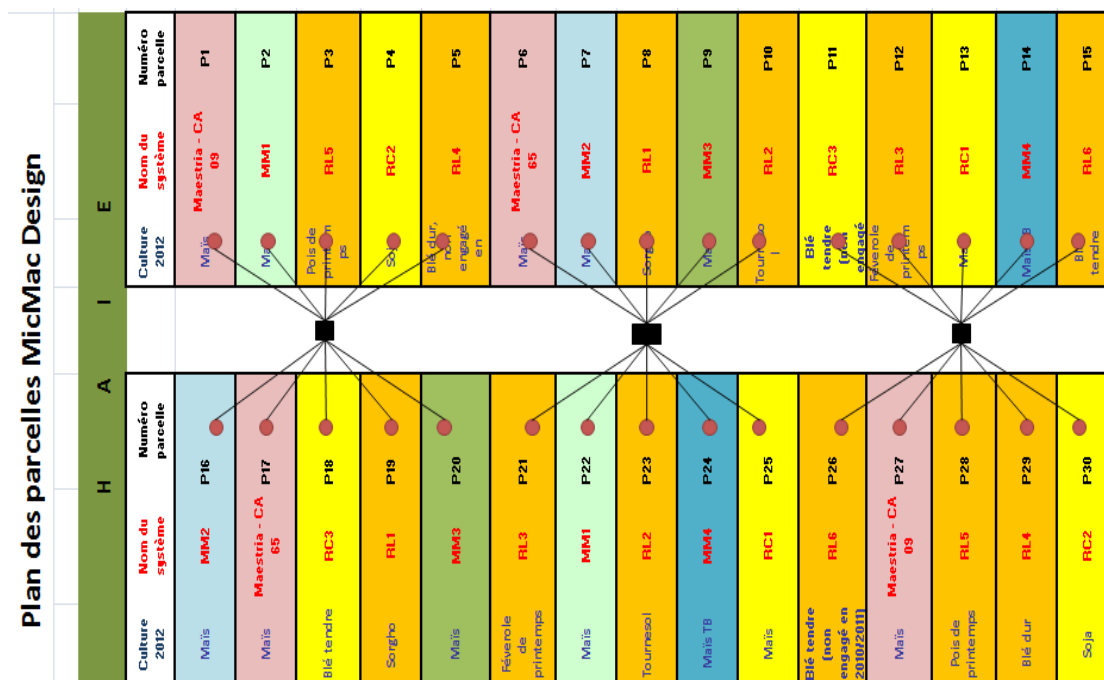


Figure 3: Schéma du dispositif MicMac

2.1.3.2 Nombre de parcelles :

Sur les 30 parcelles du dispositif, la répartition est la suivante :

- 8 parcelles (4 * 2 blocs) sont dédiées aux monocultures de maïs,
- 6 parcelles (3 cultures * 2 blocs) sont dédiées à la rotation courte,
- 12 parcelles (6 cultures * 2 blocs) sont dédiées à la rotation longue.

Les 4 parcelles restantes sont dédiées à l'évaluation de systèmes de cultures construits par des agriculteurs de la région Midi-Pyrénées, en association avec des conseillers agricoles. Ce projet, nommé MAESTRIA (Mise Au point et Evaluation des Systèmes de culTuRes économes en Intrants et durAbles,) a été initié en 2009 en liant recherche et développement agricole. Plusieurs rotations ont été construites et sont actuellement en place sur des parcelles d'agriculteurs, notamment en Ariège (Maestria 09) et dans les Hautes-Pyrénées (Maestria 65). Ces deux rotations ont été ajoutées au dispositif MicMac afin d'acquérir des données sur la lixiviation des nitrates et des pesticides. Ceci permet également de participer au financement de la plateforme de Lamothe.

L'étude évalue seulement les parcelles du dispositif MicMac Design, tel qu'indiqué dans le sujet de stage.

2.1.3.3 Structure d'une parcelle élémentaire

Chaque parcelle élémentaire est divisée en plusieurs zones (Figure 4).

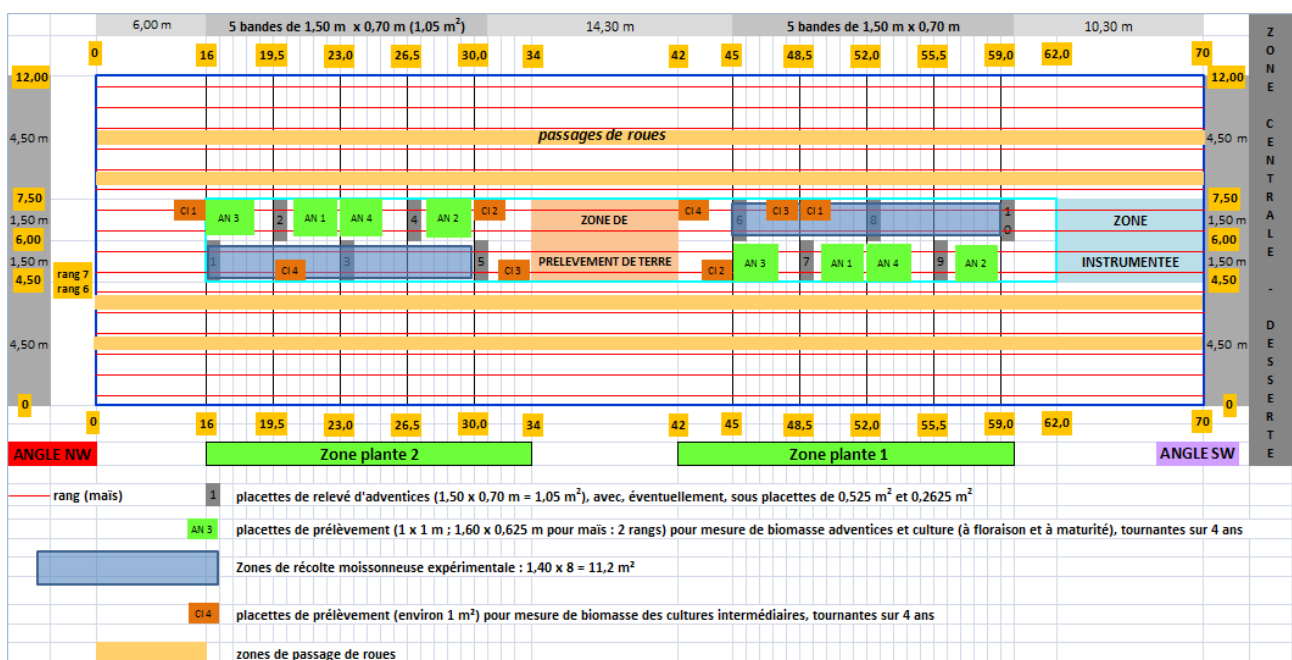


Figure 4: Plan d'une parcelle élémentaire

La zone instrumentée, proche de l'allée centrale, reçoit les équipements de mesures physiques. La zone centrale est destinée aux analyses et prélèvements de terre (analyse granulométrique, et des reliquats azotés). Les zones plantes 1 et 2, de part et d'autre de cette zone centrale, sont destinées aux relevés d'adventices et aux prélèvements de biomasse. Cette division de l'espace a pour but d'éviter les passages répétés sur les zones plantes, où toutes les mesures relatives aux cultures et aux adventices seront réalisées.

Une rampe à avancement frontal permet d'irriguer individuellement chaque parcelle, avec des quantités d'eau variables suivant la parcelle.

2.1.3.4 Zones instrumentées

Les parcelles sont pourvues de tensiomètres, à 3 profondeurs différentes (20, 50 et 100 cm), pour étudier le potentiel de l'eau dans le sol. Elles sont également équipées d'une sonde de teneur en eau et d'un thermomètre, placés à 20 cm de profondeur. Un lysimètre à plaque permet de recueillir l'eau de drainage, et d'étudier ainsi la lixiviation des nitrates et des pesticides. Les parcelles en monoculture de maïs possèdent également des capteurs PAR, afin d'acquérir des références sur le rayonnement incident et réfléchi. La plateforme MicMac est également équipée d'une station météo. Ces données sont recueillies dans 3 casemates, situées dans l'allée centrale.

2.1.3.5 Placettes de relevés d'adventices

Ces placettes fixes sont disposées alternativement de part et d'autre de l'axe central de la parcelle, pour éviter les effets de bordure et les passages de roue du tracteur. Ce sont des rectangles de 0,70 m de large et 1,50 m de long (soit 1,05 m² de surface). Elles sont disposées perpendiculairement aux rangs. La longueur a été déterminée de façon à pouvoir intégrer 2 rangs de maïs (écartement de 0,80 m) et deux inter-rangs complets, pour une bonne représentation de la zone de culture. La largeur de 0,70 m permet d'obtenir une surface proche d'1 m² (1,05 m²).

2.1.3.6 Placettes de relevés de biomasse

Deux types de placettes sont utilisés. Pour toutes les cultures hors maïs, la placette est un carré d'1 m de côté. Pour le maïs, c'est un rectangle d'1m 60 de long et de 0,625 m de large. Ces placettes d'1m² sont situées dans les zones plantes 1 et 2. A chaque relevé, on procède à deux prélèvements simultanés : un prélèvement dans la zone plante 1 et un prélèvement dans la zone plante 2. On observe une rotation de 4 ans sur ces placettes, afin de ne pas systématiquement prélever la totalité de la biomasse sur un même endroit tous les ans, et induire ainsi un biais. Des placettes de relevés de biomasses pour les cultures intermédiaires (CI) sont également prévues, avec le même système de rotation.

2.1.3.7 Zones de récolte

Deux zones de récolte pour la moissonneuse expérimentale sont prévues au centre de chaque zone plante, afin d'éviter tout biais du aux effets de bordure, aux passages de roues et aux prélèvements de biomasse. Cette zone de récolte permettra d'estimer le rendement des cultures.

2.2 Méthodes

2.2.1 Relevés d'adventices

On procède à des relevés d'adventices à plusieurs stades de la culture : en sortie d'hiver (pour les cultures d'hiver), quelques semaines après la levée (pour les cultures de printemps), à la fermeture du couvert et à floraison. Ces relevés sont généralement effectués par 3 personnes : 2 personnes identifiant et dénombrant les adventices, et un notateur. Une fiche de relevé est éditée pour chaque parcelle à chaque relevé (voir annexe XXXI). Sont notés pour chaque placette et pour chaque espèce le stade, le nom et le nombre d'individus présents. On relève également le recouvrement total des adventices en-dessous et au-dessus de la surface du couvert.

2.2.2 Relevés de biomasses

2 relevés de biomasse (voir annexe XXXII) sont effectués sur toutes les cultures : l'un à la floraison, et l'autre à maturité. On prélève la totalité de la biomasse (culture, adventices et éventuellement couvert implanté) sur deux placettes d'1 m². Cependant deux types de placettes sont utilisés pour ces prélèvements. Les adventices sont identifiées et dénombrées, puis l'ensemble des prélèvements est passé à l'étuve à 70°C pendant 48 heures. Les échantillons seront alors pesés en sec, et conservés.

2.2.3 Analyse des données

Nous avons cherché à décrire la flore adventice présente sur le site (densité, biomasse et leur évolution), puis cherché à établir des liens entre différentes variables. Le logiciel R a été utilisé. Nous avons recherché à l'aide d'AFC (Analyse factorielle des correspondances) l'existence de liens entre culture (et systèmes de culture) et flore adventice. Nous avons également étudié l'impact du système de culture sur la densité et la biomasse adventice, à l'aide d'ANOVA. Nous avons procédé par régression linéaire pour les couples de variables biomasse adventice / densité adventice, biomasse adventice / biomasse culture et biomasse adventice / rendement.

3 Résultats

3.1 Adventices présentes sur le dispositif

On rencontre près d'une quarantaine d'espèces d'adventices sur les parcelles du dispositif MicMac. Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont la folle avoine (*Avena fatua*), le panic pied-de-coq (*Echinochloa crus-galli*), le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*), la renouée persicaire (*Polygonum persicaria*) et les linaires élatine et bâtarde (*Kickxia elatine* et *Kickxia spuria*). Les espèces restantes sont listées ci-dessous (les espèces dont les noms figurent en gras sont vivaces).

Les monocotylédones sont les suivantes : *Alopecurus myosuroides*, ***Cynodon dactylon***, *Digitaria sanguinalis*, *Lolium multiflorum*, *Lolium rigidum*, *Phalaris paradoxa* et *Vulpia myuros*.

Les espèces dicotylédones sont : *Abutilon theophrasti*, *Amarantus hybridus*, *Anagallis arvensis*, *Aphanes arvensis*, *Atriplex patula*, ***Calystegia sepium***, *Cerastium arvense*, *Chenopodium album*, *Chenopodium polyspermum*, ***Cirsium vulgare***, *Fallopia convolvulus*, *Geranium molle*, *Lythrum hissopifolia*, *Polygonum aviculare*, *Polygonum lapathifolium*, *Potentilla reptans*, ***Ranunculus repens***, *Ranunculus sardous*, *Raphanus raphanistrum*, ***Rubus gr. Fruticosus***, *Senecio vulgaris*, *Solanum nigrum*, *Sonchus asper*, *Sonchus oleraceus*, *Sorghum halepense*, *Verbena officinalis*, *Veronica arvensis*, *Viola arvensis*.

Les densités moyennes des principales adventices (Figure 5) et leur biomasse moyenne (Figure 6) sont présentées dans les figures suivantes.

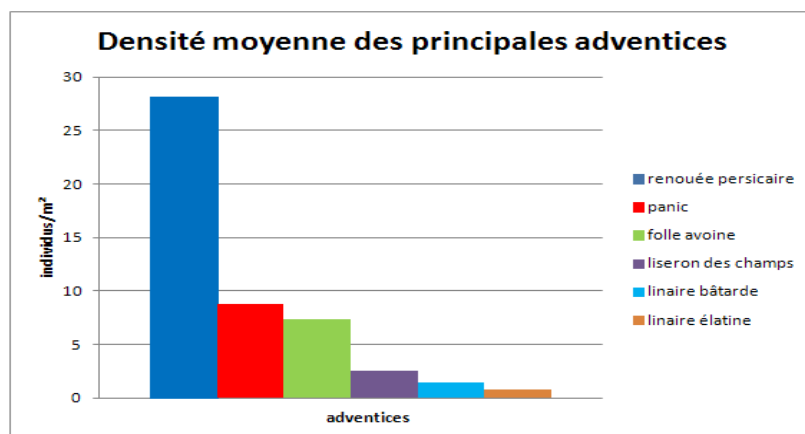


Illustration 5: densité des principales adventices (moyenne des relevés effectués sur l'ensemble des parcelles, toutes dates confondues, années 2010/2011 et 2011/2012)

Concernant la densité, la renouée persicaire est l'espèce la plus fréquente (28 individus/m²), suivie du panic et de la folle avoine. On remarque cependant une décroissance rapide des valeurs à partir de la deuxième espèce (panic : 8 individus/m²). La linaire élatine présente une densité d'environ 1 individu/m², soit 27 fois moins que la renouée. Même si le nombre d'espèces est important sur le dispositif, seul un petit nombre domine la flore adventice.

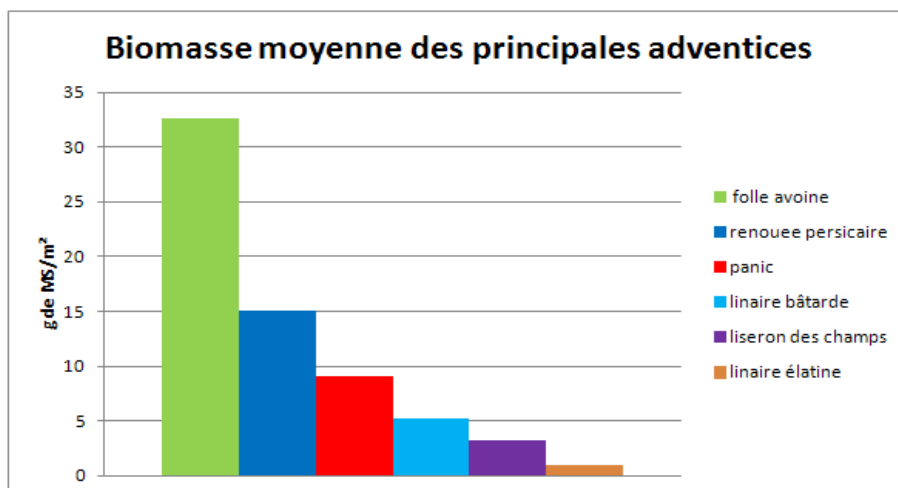


Figure 6: Biomasse moyenne des principales adventices (moyenne des relevés effectués sur l'ensemble des parcelles, toutes dates confondues, années 2010/2011 et 2011/2012)

Concernant la biomasse, on retrouve les mêmes espèces, mais dans un ordre différent. Cependant, les trois premières espèces sont les mêmes dans les deux cas (folle avoine, renouée persicaire et panic). On constate une distribution similaire, avec une forte dominance de la folle avoine, et un saut important entre panic et folle avoine. Ces chiffres (biomasse et densité) cachent cependant de fortes disparités entre cultures.

3.2 Relations adventices / cultures

On note une association préférentielle entre certaines espèces adventices et certaines espèces cultivées, comme le montrent les figures suivantes. Le panic pied-de-coq, adventice d'été, se retrouve principalement sur culture de maïs et de pois (Figure 7). Cette adventice atteint sur maïs le stade fructification.

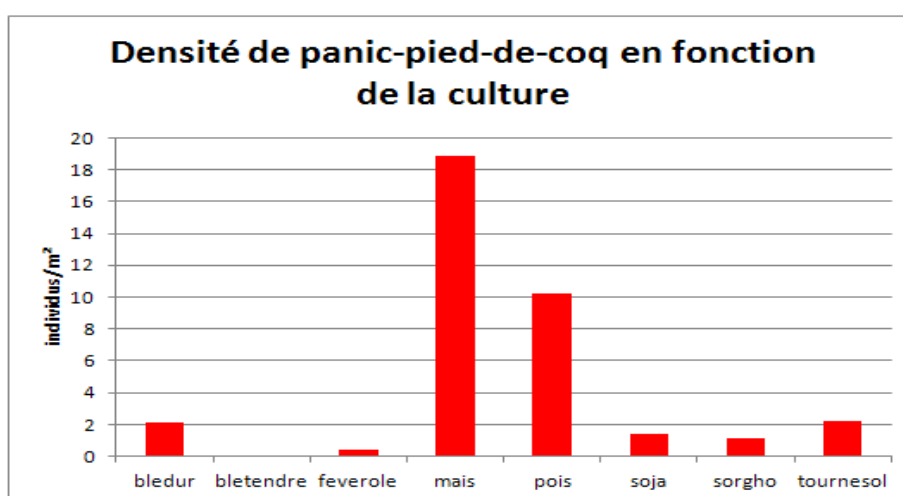


Figure 7: Densité de panic-pied-de-coq en fonction de la culture (tous relevés confondus)

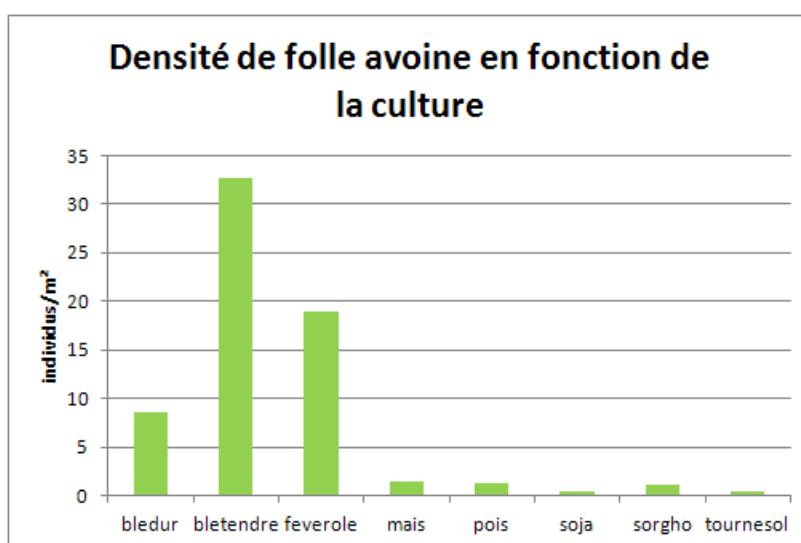


Figure 8: Densité de folle avoine en fonction de la culture (tous relevés confondus)

La folle avoine est principalement présente sur les cultures d'hiver (la féverole est une féverole d'hiver), et quasiment absente sur les autres cultures du dispositif (Figure 8). Elle y atteint également le stade fructification. Panic et folle avoine sont donc fortement inféodées à un très petit nombre de cultures.

Densité de linaires en fonction de la culture

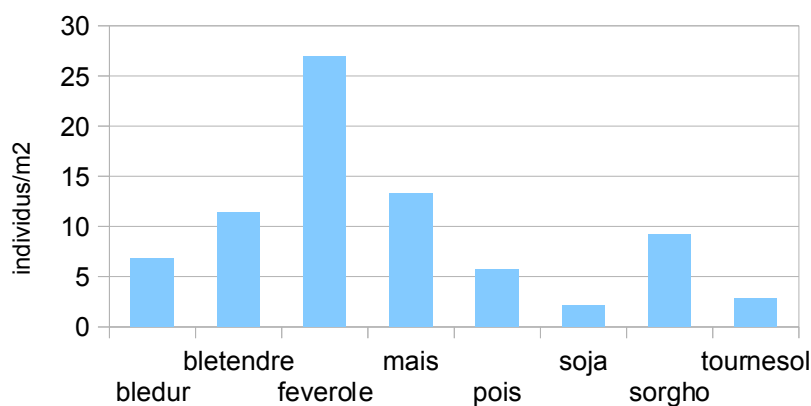


Figure 9: Densité de linaires en fonction de la culture (tous relevés confondus)

Les linaires et les renouées se retrouvent sur un nombre plus important de cultures que la folle avoine et le panic (3 cultures et plus, Figures 9 et 10). Les linaires se retrouvent ici à la fois dans les cultures de printemps (maïs, sorgho) et d'hiver (blé tendre et féverole) alors que les renouées persicaires se situent préférentiellement dans les cultures d'hiver (blé dur et tendre, féverole). Cependant, les renouées atteignent des stades plus élevés dans les cultures d'été (élongation) que dans les cultures d'hiver (1 à 2 feuilles).

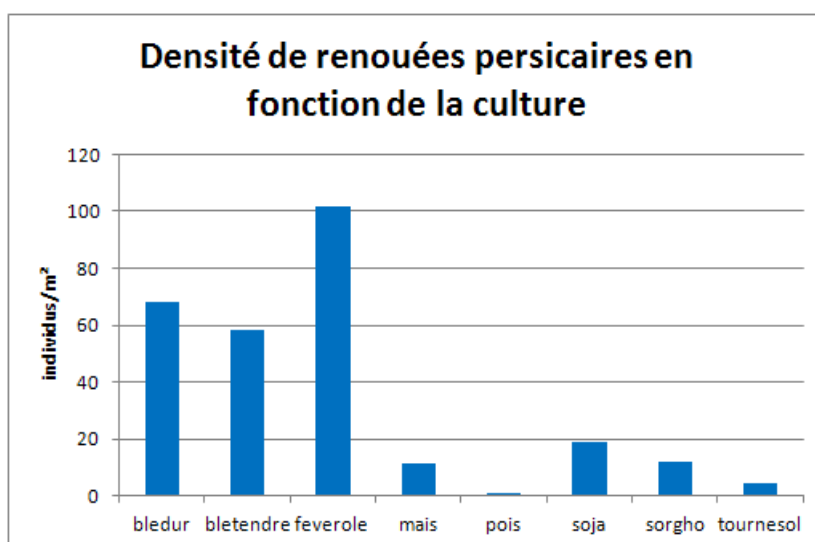


Figure 10: Densité de renouées persicaires en fonction de la culture (tous relevés confondus)

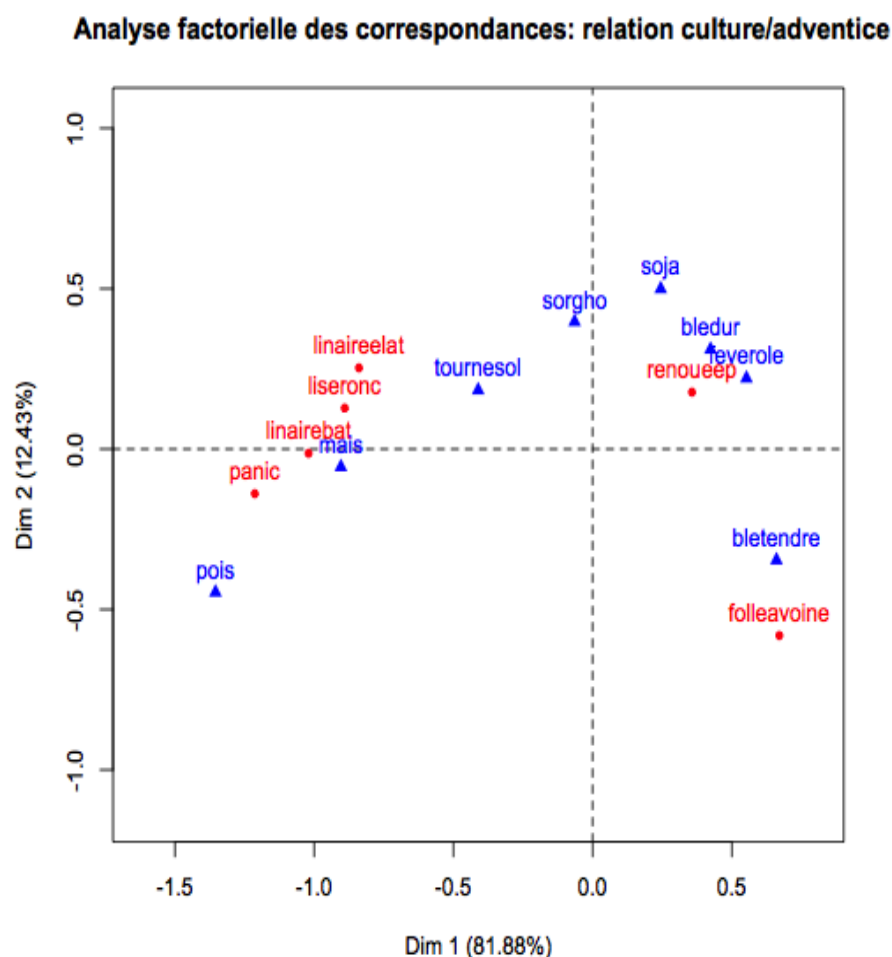


Figure 11: Relation culture / densité adventice: AFC

La figure 11 montre l'analyse factorielle des correspondances réalisée en croisant les variables cultures et adventices (dénombrements). Les pourcentages d'inertie associés aux deux premiers axes sont importants (plus de 94%), d'où une très bonne représentation sur le premier plan. On constate que la modalité folle avoine est proche de la modalité blé tendre. La renouée persicaire est trouvée plus fréquemment dans les cultures de blé dur et de féverole. Sur la partie gauche du

graphique, on constate que les linaires (élatine et bâtarde), le panic et le liseron des champs s'associent préférentiellement aux cultures de maïs. Les modalités pois, soja, sorgho et tournesol sont plus distantes des autres modalités d'adventices.

3.3 Evolution de la flore adventice

3.3.1 Evolution de la densité adventice

Les graphiques suivants présentent l'évolution de la densité totale d'adventices notée lors des relevés de flore adventice effectués aux stades végétation, floraison et maturité. Ces stades sont notés respectivement veg, flo et mat sur les figures ci-dessous. Les données de densité à maturité 2012 n'avaient pas été collectées lors de la rédaction du rapport. Les astérisques (*) figurent les données obtenues à partir des relevés de biomasse (en cas de relevé adventice manquant). L'évolution est décrite sur les 4 monocultures de maïs, l'étude étant trop courte pour décrire la totalité des systèmes RC et RL.

La figure 12 présente l'évolution de la densité adventice sur le système de culture MM1. On note pour l'année 2010/2011 une augmentation de cette densité, due à la hausse des densités des principales adventices présentes sur ce système (panic, renouées et linaires). De plus, on note que la densité importante à floraison perdure jusqu'à maturité. Cependant on observe le phénomène inverse l'année suivante, grâce à une meilleure maîtrise de ces mêmes adventices, notamment aux stades précoces.

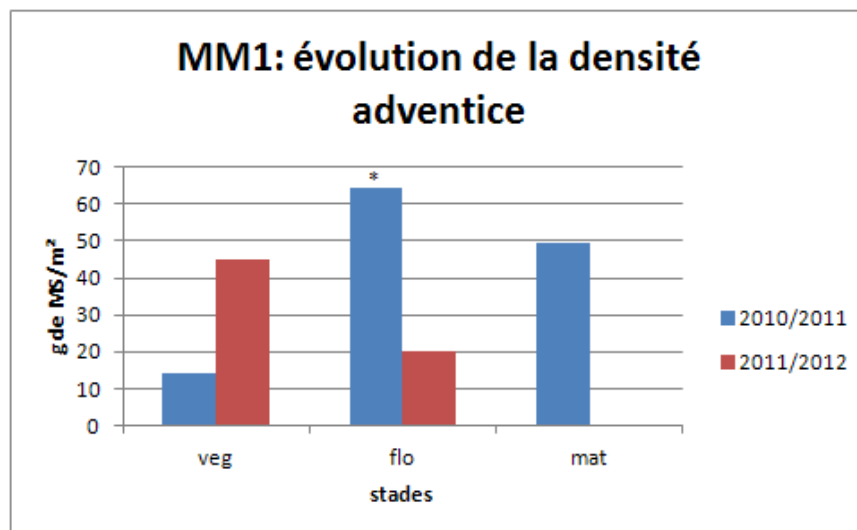


Figure 12: Evolution de la densité adventice sur le système MM1, en fonction des stades et de l'année

La figure 13 présente les résultats obtenus pour le système MM2. On note pour le premier cycle cultural des valeurs relativement stables, et voisines de celles obtenues sur le système MM1. On remarque cependant une très forte densité concernant le premier relevé du deuxième cycle. Cette densité élevée est due à de fortes levées de renouées et de linaires, bien contrôlées par la suite par le désherbage mécanique et chimique. La densité se situe ensuite pour le deuxième relevé à des valeurs inférieures à celles de l'année 2010/2011.

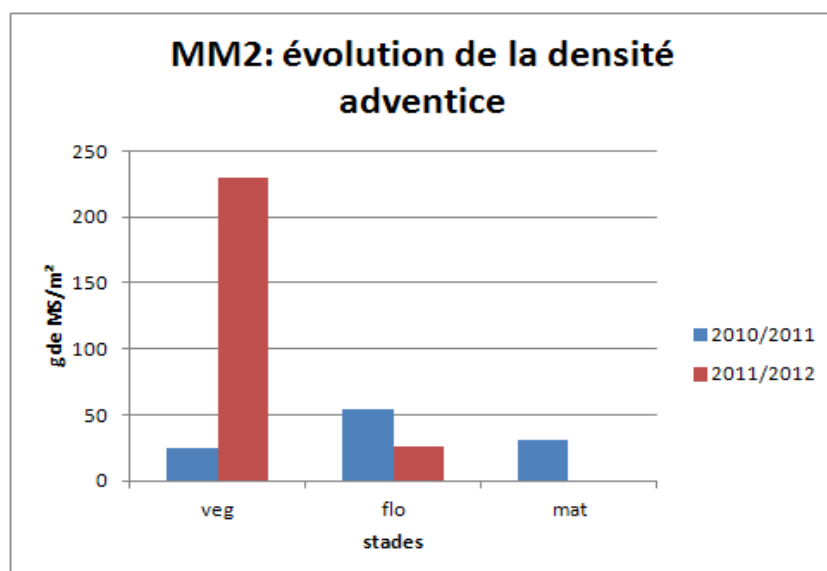


Figure 13: Evolution de la densité adventice sur le système MM2, en fonction des stades et de l'année

La figure 14 présente les valeurs obtenues sur le système MM3. Elles sont constantes pendant les deux cycles culturaux, avec des valeurs environ trois fois plus élevées pour la deuxième année. On observe en effet une forte infestation de renouées et de panic sur ce système de culture lors de la campagne 2011/2012.

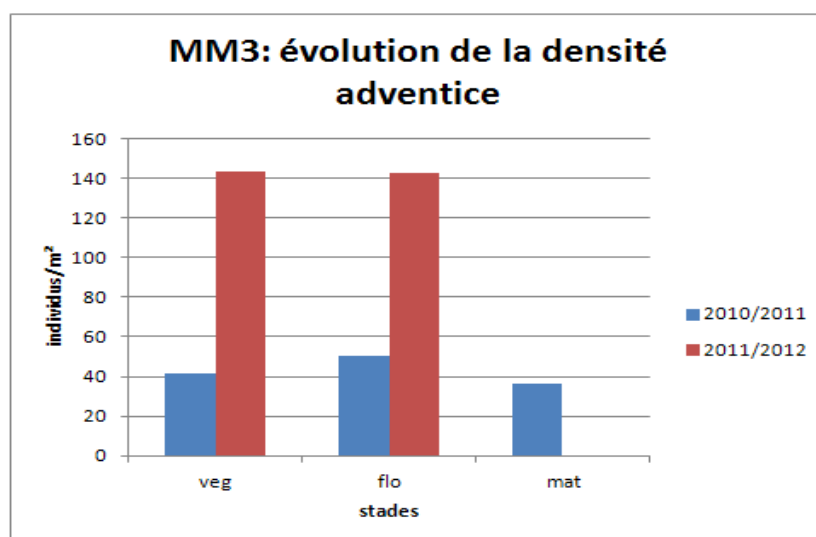


Figure 14: Evolution de la densité adventice sur le système MM3, en fonction des stades et de l'année

La figure 15 présente les données recueillies pour le système MM4. Les valeurs de densité sont constantes et modérées pour la première année. Le premier relevé adventice de la deuxième campagne n'a pu être effectué, pour cause d'infestation de renouées persicaires, maîtrisée par la

suite par un désherbage chimique. Les valeurs de densité sont encore élevées lors du relevé de floraison, causées par une infestation de panic-pied-coq.

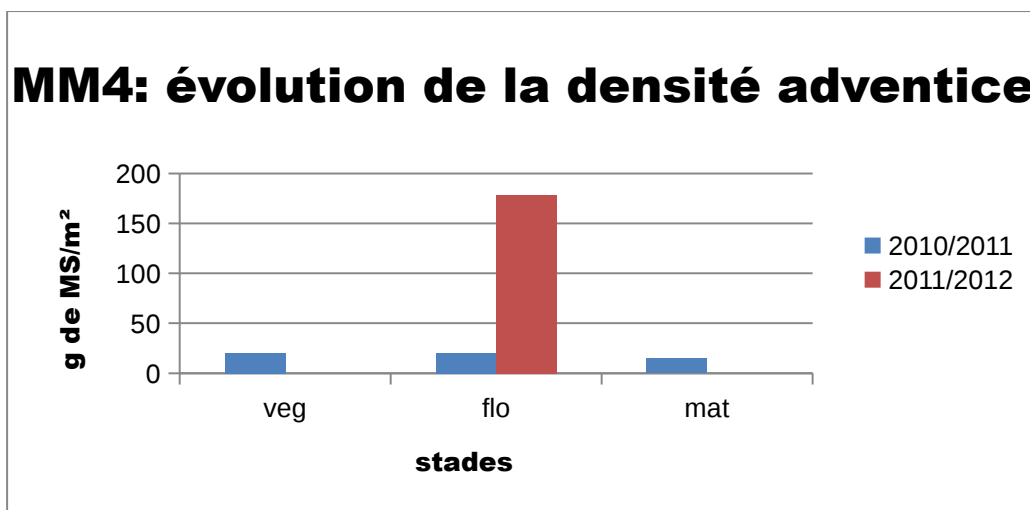


Figure 15: Evolution de la densité adventice sur le système MM4, en fonction des stades et de l'année

3.3.2 Evolution de la biomasse adventice

Les graphiques suivants ont été réalisés à partir des relevés de biomasse effectués à floraison (flo) et maturité (mat) sur les systèmes de culture. L'évolution est décrite sur les 4 monocultures de maïs, l'étude étant trop courte pour décrire la totalité des systèmes RC et RL.

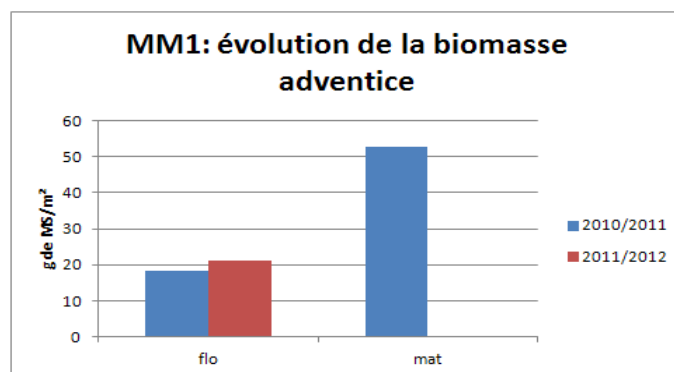


Figure 16: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM1, en fonction de l'année et du stade

La figure 16 montre l'évolution de la biomasse adventice sur le système MM1. Pendant la première année, on note une forte augmentation de celle-ci entre floraison et maturité. Les valeurs sont comparables pour les deux années, concernant la floraison.

Concernant MM2 (Figure 17), on note également une progression de la biomasse adventice au cours du premier cycle cultural. Pour 2011/2012, les relevés à floraison indiquent une très faible biomasse présente. Cependant, la plus faible représentativité de ces relevés (2 placettes de 1 m², contre 10 placettes de 1,05 m² pour les relevés adventices) incite à plus de prudence dans les conclusions.

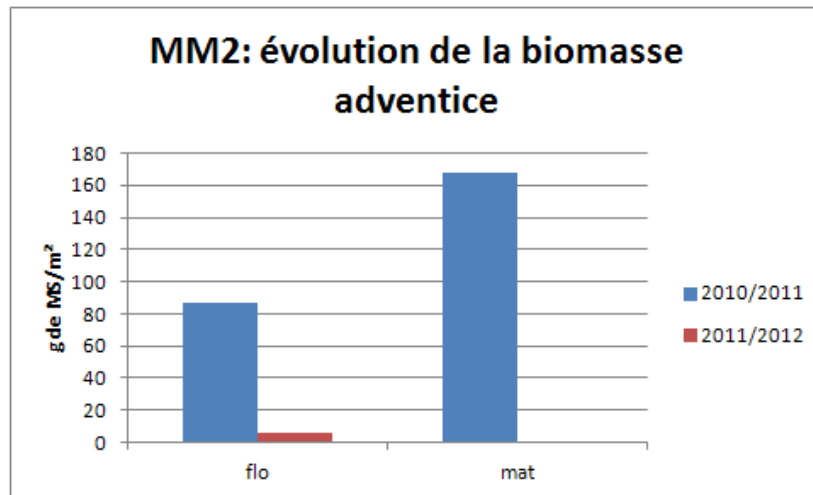


Figure 17: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM2, en fonction de l'année et du stade

Le système MM3 (Figure 18) montre des biomasses évoluant peu entre relevés.

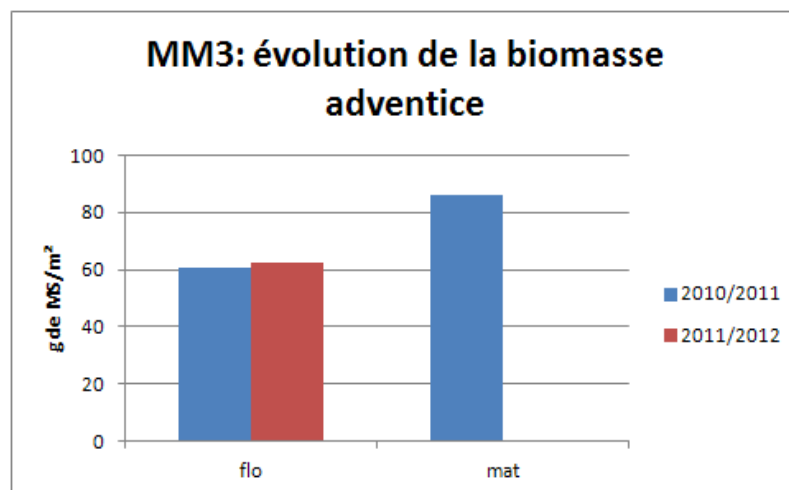


Figure 18: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM3, en fonction de l'année et du stade

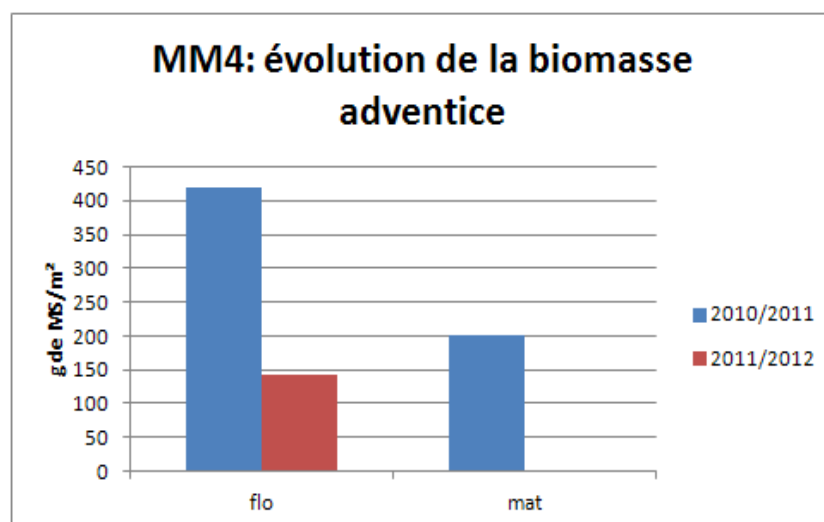


Figure 19: Evolution de la biomasse adventice sur le système MM4, en fonction de l'année et du stade

On note pour le système MM4 (Figure 19) une forte baisse de la biomasse adventice à la floraison entre la première et la deuxième année.

3.4 Impact du système de culture sur les adventices

3.4.1 Relation système de culture / adventices

La figure 20 est l'AFC réalisée à partir du tableau de contingence croisant adventices (dénombrements) et systèmes de culture. Ici encore la représentation sur le premier plan est très bonne, puisque le pourcentage d'inertie pour les deux premiers axes est de plus de 96%. On constate la très forte proximité des systèmes RC et RL à gauche du graphique. Ces deux systèmes possèdent donc un profil proche : ils sont fortement associés aux modalités renouée persicaire et folle avoine. Les systèmes de culture MM3 et MM1 possèdent également un profil voisin, associé aux linaires (bâtarde et élatine) et au liseron des champs. Le système MM4 est associé à la modalité panic, alors que le système MM2 présente un profil plus moyen.

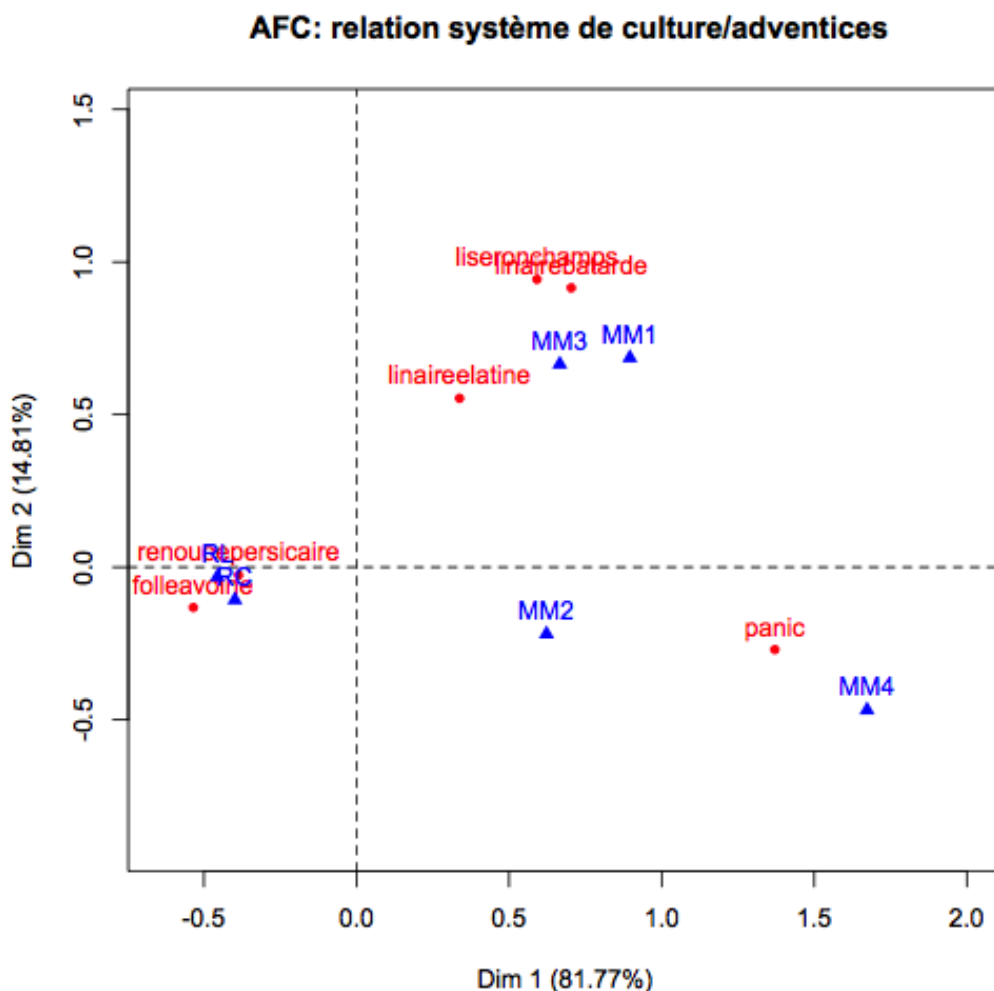


Figure 20: Relation système de culture/densité adventices: AFC

3.4.2 Effet du système sur la densité adventice

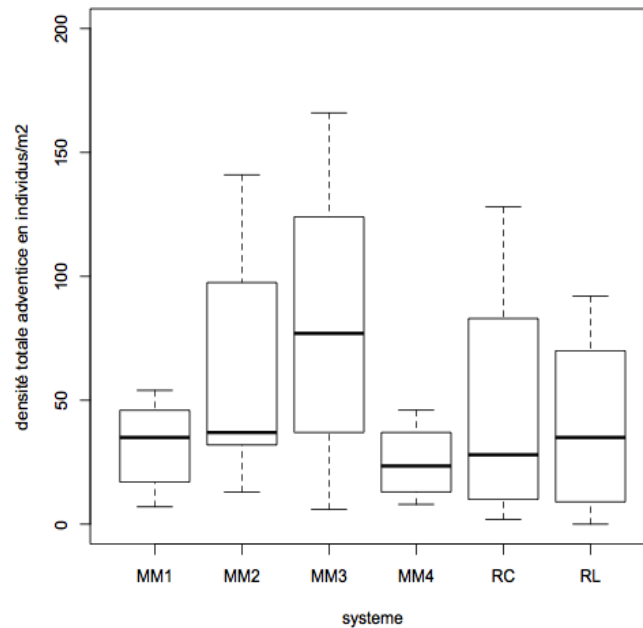


Figure 21: densité adventice suivant le système de culture

La Figure 21 présente la densité totale des adventices à floraison, en individus/m² et en fonction des systèmes de culture. Les résultats de l'ANOVA sont présentés ci-dessous :

Anova Table

Response: total.adv

	Pr(>F)
bloc	9.967e-07 ***
systeme	0.0001197 ***
bloc:systeme	0.0043682 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

L'interaction significative entre bloc et système de culture empêche donc de conclure quant à l'effet du système sur la densité adventice.

3.4.3 Effet du système sur la biomasse adventice

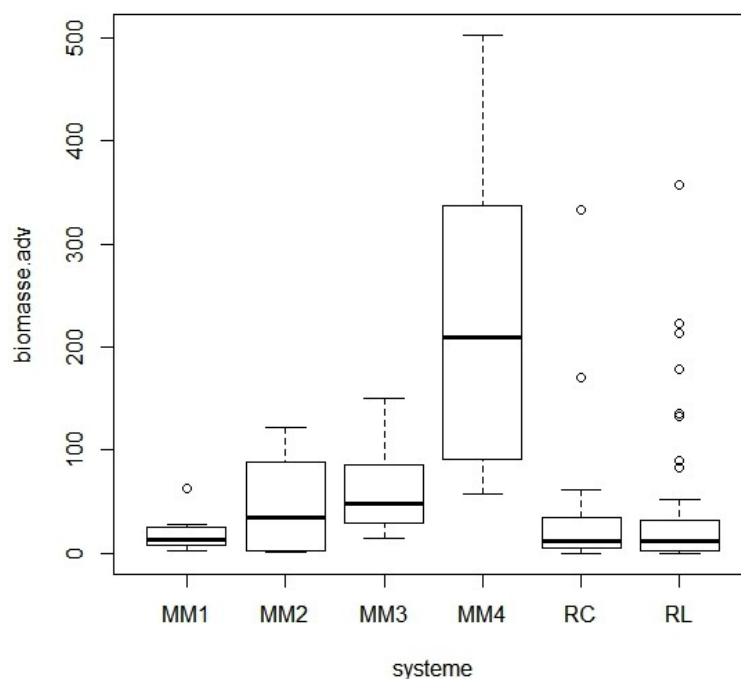


Figure 22: biomasse adventice en fonction du système de culture

La figure 22 représente la biomasse adventice à floraison et sa variabilité en fonction du système de culture. Le système de référence MM1 présente des valeurs de biomasse faibles, et la variabilité la plus limitée. Les systèmes alternatifs montrent des variabilités plus fortes, notamment le système MM4. Les systèmes MM2 et MM3 présentent des profils intermédiaires.

L'analyse de variance donne les résultats suivants :

Anova Table

Response: biomasse.adv

	Pr(>F)
bloc	0.8141
systeme	3.803e-05 ***
bloc:systeme	0.9640

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

L'effet système est très significatif sur la biomasse adventice. Il n'y a pas d'effet bloc ni d'interaction bloc : système. L'analyse des données à l'aide d'un modèle linéaire (annexe XXXIII) montre l'effet du système MM4 sur la biomasse adventice. En effet, celui-ci connaît une très forte infestation de panic pied-de-coq. Aucun autre effet ou interaction n'est mis à jour. Hormis MM4, les systèmes du dispositif MicMac permettent donc une bonne maîtrise de la biomasse de la flore adventice.

3.4.4 Relation biomasse adventice/ densité adventice

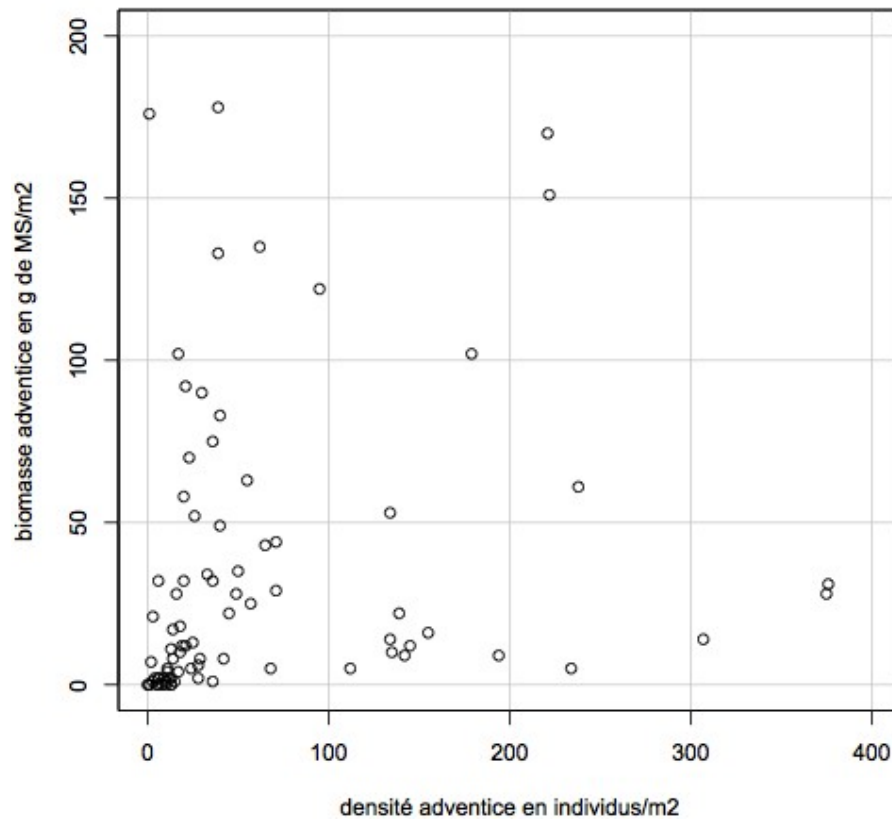
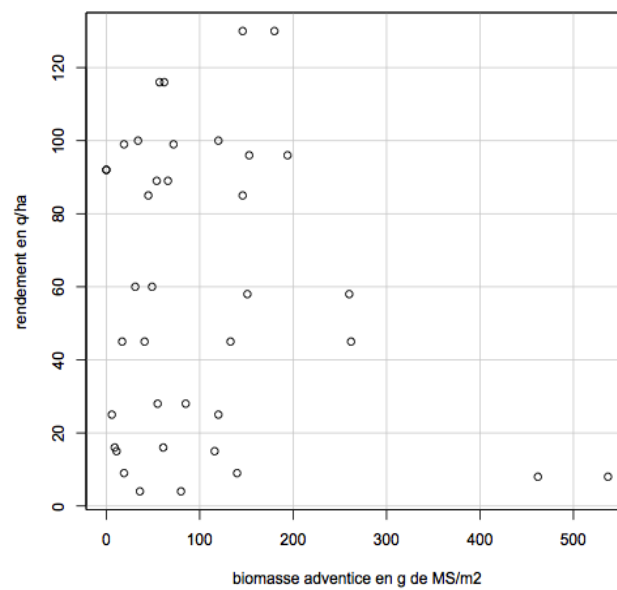


Figure 23: Biomasse adventice en fonction de la densité adventice (floraison)



La figure 23 illustre la relation entre densité adventice et biomasse adventice à floraison. La régression linéaire ne permet pas d'établir de lien significatif entre ces deux variables (annexe XXXIV). La biomasse adventice sur les systèmes de culture est donc indépendante de la densité. On retrouve la même absence de lien à maturité (annexe XXXV).

3.4.5 Relation entre biomasse adventice et biomasse de la culture

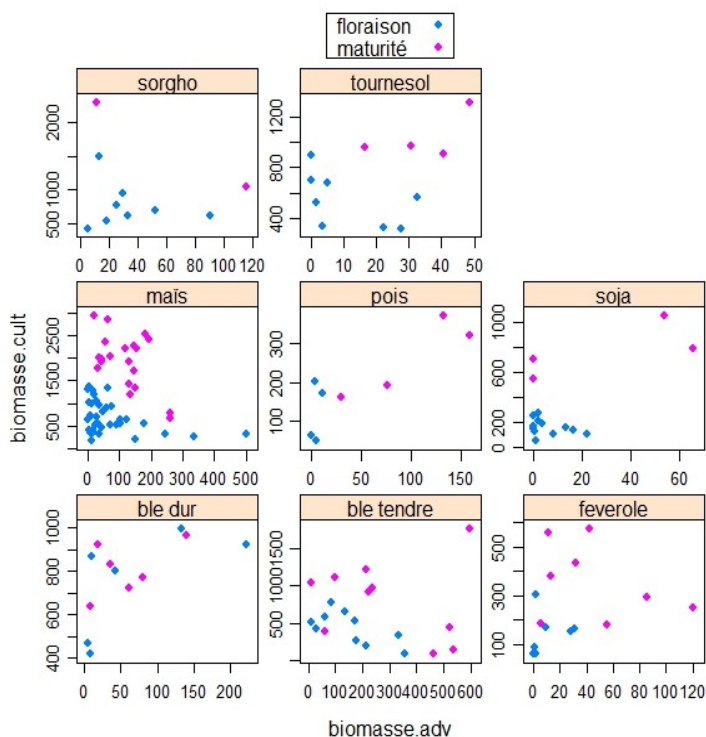


Figure 24: biomasse adventice en fonction de la biomasse de la culture

Il ne semble pas y avoir de relation claire entre la biomasse adventice et la biomasse de la culture (figure 24), ce qui est confirmé par les analyses statistiques. La recherche de lien entre ces deux variables à l'aide de régression linéaire ne donne pas de résultats significatifs.

3.4.6 Relation entre biomasse adventice et rendement

La figure 25 ci-dessous le lien entre biomasse adventice à maturité et rendement des cultures. On ne constate pas de lien entre ces deux variables (voir annexe XXXVI). Il est donc possible d'obtenir des rendements élevés avec des quantités élevées de biomasse présentes sur les parcelles.

Figure 25: Rendement en fonction de la biomasse adventice (maturité)

4 Discussion

Les adventices comme la folle avoine et le panic, qui se retrouvent ici seulement sur un petit nombre de cultures, peuvent être gérées dans une optique de réduction des intrants à l'aide de systèmes de culture intégrant une rotation, alternant cultures d'hiver et de printemps. Une rotation plus longue peut être requise pour maîtriser les linaires et renouées persicaires, plus polyvalentes. Dans le cas d'une monoculture de maïs, la linaire et le panic peuvent être plus difficiles à gérer.

Nous constatons ici que ce sont les systèmes de culture utilisant une rotation (RC et RL) et la monoculture MM2 qui permettent de mieux maîtriser la pression adventice. La rotation est donc

un levier important dans la construction d'un système de culture, avant même le choix des méthodes de lutte. Cependant, les résultats obtenus demandent à être consolidés par la poursuite de l'expérimentation. En l'absence de rotation et dans le cadre d'une réduction des intrants, il faut donc porter une grande attention aux méthodes de désherbage, mettre l'accent sur leur diversité, et positionner au mieux les opérations culturales. Comparativement au système de référence, MM2 permet un bon contrôle de la densité et biomasse adventice. Ce système fait appel à la fois au désherbage chimique et mécanique tout en conservant le labour pour le travail du sol. Un tel système de culture est donc facilement diffusable auprès des agriculteurs : il est proche techniquement de la monoculture de référence, permet de conserver de bons rendements tout en apportant une plus-value sur le plan environnemental.

En termes de densité adventice, c'est le système MM3 qui montre les plus fortes valeurs. Cependant ces résultats sont à analyser en parallèle avec les valeurs de biomasse adventice présente sur les parcelles. En effet, on peut dans certains cas noter des phénomènes de levées importantes, avec pour conséquence une forte densité adventice. Cependant, ces levées, si elles ne surviennent pas dans des conditions propices à la croissance des plantes (manque de lumière du à la couverture de la culture en place, compétition pour les nutriments ou désherbage) ne pénalisent pas le développement de la culture. Ainsi, on note sur blé en début de printemps des levées importantes de renouées persicaires (jusqu'à plusieurs centaines d'individus/m²), alors que c'est la folle avoine qui représente la majeure partie de la biomasse adventice à maturité, et qui pénalise donc le plus le rendement, tout en produisant une forte quantité de graines, enrichissant le stock semencier du sol.

MM3 et MM4, les deux monocultures utilisant la technique du strip-till, posent problème pour la gestion des adventices. En effet cette technique, limitant le travail du sol à la bande de semis, rend la maîtrise des adventices plus difficile et permet notamment à des vivaces de s'implanter durablement. De plus, l'impossibilité de tout désherbage mécanique en présence du couvert permanent sur MM4 complique encore plus la gestion. L'utilisation du strip-till nécessite donc une très bonne maîtrise technique. De plus, le rendement sur ces systèmes sera plus faible que celui de MM1 : le couvert ayant connu une très forte compétition pour l'eau et les nutriments, son développement a été fortement contraint. La marge sera donc limitée.

Il est encore trop tôt pour tirer des conclusions définitives sur les systèmes de culture RC et RL. On note des fortes biomasse de folle avoine sur les cultures de blé, cependant l'alternance de cultures d'hiver et de printemps, ainsi que l'utilisation de cultures sarclées (maïs, soja, tournesol, sorgho), devrait permettre à moyen terme de mieux maîtriser cette adventice.

Le dispositif expérimental

L'analyse du sol a été réalisée après implantation de l'essai, et non avant. Il existe ainsi de fortes différences dans la granulométrie du sol entre deux répétitions d'un même système de culture, alors que toutes les opérations culturales sont synchrones (labour, semis). Ceci introduit donc un biais expérimental.

Les essais systèmes ne permettent pas d'isoler l'effet d'un facteur. Il est donc difficile de déterminer le rôle des différentes méthodes de gestion des adventices (rotation, technique de désherbage mécanique...) dans le résultat final de l'expérimentation. Des essais factoriels supplémentaires (date de semis, travail du sol, méthode de lutte...) pourraient permettre d'acquérir des connaissances plus précises et compléter ainsi le savoir acquis sur la plateforme MicMac.

De plus, les résultats obtenus par les relevés ne sont pas toujours conformes à la réalité observée sur le terrain: en effet la forte infestation de panic sur MM3 et MM4 a impliqué un fauchage régulier du couvert d'adventices, afin d'éviter une compétition trop forte avec la culture et la grenaison. La valeur de biomasse adventice sur ces systèmes est donc pour certains relevés artificiellement basse. De plus, les relevés de biomasse (2 placettes d'1 m²) possèdent une moins bonne représentativité que les relevés d'adventices (10 placettes d'1,05 m²) et ne permettent pas de capter toute la variabilité de la flore adventice présente sur les parcelles.

On note une forte variabilité, inter-annuelle, inter-bloc, inter et intra-parcelle dans les relevés (adventices et biomasse), et le stock grainier du sol évolue lentement, d'où la nécessité de

poursuivre l'étude pour évaluer plus précisément les effets des systèmes de culture sur la flore adventice, même dans le cas d'une monoculture.

Difficultés techniques

L'essai a été construit avec peu de moyens humains et financiers, ce qui a constitué un frein à la réalisation des itinéraires techniques, particulièrement pendant le premier cycle cultural. La conduite de systèmes de culture à bas niveaux d'intrants requière du temps pour l'observation, ainsi que de la réactivité dans la prise de décision et dans l'action, ce qui n'est pas toujours compatible avec un effectif réduit et un parc matériel limité. Cependant, des investissements importants (tracteur, bineuse) et le recrutement d'un technicien dédié à la plateforme MicMac ont été réalisés en 2012, ce qui permettra une conduite des cultures plus performante.

Perspectives

On constate qu'il y a très peu d'adventices dans le sorgho, le soja et le tournesol (cultures présentes dans RC et RL). Ces cultures sarclées (inter-rang de 50 cm), économes en eau et en intrants, insérées dans une rotation, présentent donc un grand intérêt concernant la gestion des adventices. Elles présentent de plus des marges économiques intéressantes, et ont donc toute leur place dans la construction de systèmes de culture à bas niveau d'intrants dans le contexte du sud ouest de la France.

En production intégrée, la combinaison de plusieurs méthodes de contrôle des adventices a pour conséquence une gestion plus complexe et plus coûteuse en temps du système de culture, qui peut gêner son adoption par les agriculteurs. De plus cette méthode de production peut entraîner des surcroûts de travail (désherbage mécanique, faux semis, observation des cultures). L'aspect visuel de ces parcelles, plus riches en adventices, peut constituer un frein supplémentaire. Les agriculteurs sont-ils prêts à adopter des itinéraires techniques à des niveaux d'intrants inférieurs, avec un impact négatif sur le rendement, alors que le contexte de prix hauts favorise une conduite intensive des cultures ? Quelle incitation pour de tels systèmes dans ce contexte économique ?

La rentabilité économique est un volet important à prendre en compte dans la construction d'un système de culture, d'autant que le maïs grain dégage une forte marge (ce qui est une des raisons de son implantation en Haute-Garonne). Ceci conditionne la diffusion d'une culture ou d'un système de culture, avant même sa performance environnementale. Il est donc important d'évaluer conjointement ces deux paramètres dans l'analyse, et de proposer des systèmes de culture à la fois performants économiquement et respectueux de l'environnement.

5 Conclusion générale

Concernant les monocultures, MM2 permet une bonne maîtrise de la biomasse adventice, et donc de sa nuisibilité. C'est le système de culture qui paraît pour l'instant le plus performant, à la fois pour la gestion des adventices et sur un plan économique. Sur les systèmes MM3 et MM4, la stratégie de lutte n'a pas encore porté ses fruits. Le couvert permanent de trèfle blanc présente en 2012 une bonne implantation, cependant une forte densité de panic-pied-de-coq limite le développement de la culture. Ces systèmes très innovants demandent une maîtrise technique importante et demandent donc un temps d'apprentissage avant leur évaluation puis leur diffusion. Cependant, le niveau de rupture très fort avec la monoculture raisonnée, combiné avec la nécessité d'une grande technicité et une moindre rentabilité économique, risque de voir leur diffusion réduite. Les systèmes RC et RL permettent un bon contrôle, même si on note ponctuellement sur certaines cultures (blé) de fortes biomasses adventices. Cependant, l'étude demande à être poursuivie pour valider ces résultats.

La gestion des adventices au sein des systèmes de culture à bas niveau d'intrants nécessite une réflexion agronomique importante, et ce à plusieurs niveaux : au niveau de l'itinéraire technique (décalage de la date de semis, techniques de désherbage mécanique), et au niveau de la rotation (nombre et ordre des cultures, couverts végétaux). La réduction de l'utilisation des intrants doit être compensée par une surveillance accrue des cultures. En effet, les interventions de désherbage mécanique requièrent une forte réactivité pour être positionnées au mieux, car les « fenêtres de tir » peuvent être réduites. On sort donc d'une logique de traitement systématique (agriculture conventionnelle) pour aller vers des opérations individualisées, parfois à la parcelle, ce qui est plus coûteux en temps. Les résultats montrent cependant qu'on peut réaliser de bons rendements avec des densités et des biomasses adventices plus élevées qu'en agriculture raisonnée. Une lutte chimique systématique contre les adventices peut donc être relayée par une gestion plus intégrée de cette flore.

Bibliographie

Altieri M. A. (1989). Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 27, pp. 37–46.

Aubertot J.N., Guichard L., Jouy L., Mischler P., Omon B., Petit M-S., Pleyber E., Reau R., Seiler A. (2011). Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, Paris, 116 p.

Bertrand M., Doré T. (2008). Comment intégrer la maîtrise de la flore adventice dans le cadre général d'un système de production intégré ? *Innovations Agronomiques*, pp. 1-13.

Bouchard C., Bernicot M.H., Félix I., Guérin O., Loyce C., Omon B., Rolland B. (2008). Associer des itinéraires techniques de niveau d'intrants variés à des variétés rustiques de blé tendre : évaluation économique, environnementale et énergétique, *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 55, pp. 53 – 77.

Chauvel B., Guillemain J.P., Colbach N., Gasquez J. (2001). Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop protection*, 20, pp. 127-137.

Chikowo R., Faloya V., Petit S., Munier-Jolain N.M. (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 132, pp. 237-242.

Cirad , 2008. La vision stratégique 2008-2012. Cirad éditions, Paris, 47 p.

Debaeke P., Nolot J.M. (2003). évaluation de systèmes de culture à bas niveaux d'intrants : aspects agronomiques et environnementaux. *Dossier de l'environnement de l'INRA*, 24, pp. 59-61.

Dejoux J.F., Meynard J.M., Reau R. (1999). Rapeseed new crop management with very early sowing in order to reduce N-leaching and N-fertilization. In: 10 th International Rapeseed Congress, Canberra, Australia, 26-29 septembre 1999.

Dubois A., Lacouture L., (2011). Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux– Période 2007-2009, *Etudes et documents*, 54, pp. 9-55.

El Titi A., El Boller E.F., Gendrier J.P. Eds. (1995). Integrated production: Principles and technical guidelines. OILB-SROP, Montfavet, 27 p.

Griffon M. (2006). Nourrir la planète: Pour une révolution doublement verte. 1 éd., Sciences, Editions Odile Jacob, Paris, 456 p.

Hyvönen T., Salonen J. (2002). Weed Species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels – a six year experiment, *Plant Ecology*, 154, pp. 73 – 78.

Hyvönen T., Ketoja E., Salonen J., Jalli H. et Tiainen J. (2003). Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97, pp. 131 – 149.

Institut Technique de l'Agriculture Biologique, (2005). Maîtriser les adventices en grandes cultures biologiques: Guide technique. ITAB, Paris, 119 p.

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., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère 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, Paris, 60 p.

Koocheki A., Nassiri M., Alimoradi L., Ghorbani R. (2008). Effect of cropping systems and crop rotations on weeds, *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp. 401-408.

Krebs, C. J. (2001). Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance, 5 éd. Benjamin Cummings, San Francisco, 655 p

Liebman M., Gallandt E.R. (1997). Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions. In: Ecology in Agriculture. Jackson L.E. ed., Academic Press, San Diego, pp. 291 – 343.

Liebman M., David A.S. (1999). Integration of soil, crop and weed management in low external-input farming systems, *Weed research*, 40, pp. 27-47.

Luna J. M., Staben M. L. (2002). Strip tillage for sweet corn production : yield and economic return, *HortScience*, 7, 37, pp. 1040-1044.

Melander B., Rasmussen I. A., Bàrberi P. (2005). Integrating physical and cultural methods of weed control – examples from European research, *Weed Science*, 53, pp. 369-381.

Mc Closkey M., Firbank L.G., Watkinson A.R., Webb D.J. (1996). The dynamic of experimental arable weed communities under different management practices, *Journal of Vegetation Science*, 7, pp. 799-808.

McLenaghan R.D., Cameron K.C., Lampkin N.H., Daly M.L., Deo B (1996). Nitrate leaching from ploughed pasture and the effectiveness of winter catch crops in reducing leaching losses, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39, pp. 413 – 420.

Meynard J.M. (1985). Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse de Doctorat, INA Paris-Grignon, Thiverval-Grignon, 297 p.

Meynard J.M., Girardin P. (1991). Produire autrement. *Le Courrier de la Cellule environnement de l'INRA*, 15, pp. 1-19.

Meynard J.M., Savini I. (2003). La désintensification : point de vue d'un agronome, *Dossier de l'environnement de l'INRA*, 24, pp.23-33.

Munier-Jolain N.-M., Deytieux V., Guillemin J.-P., Granger S., Gaba S. (2009). Multi-criteria evaluation of cropping systems prototypes based on integrated weed management, In : 13^{ème} colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon, 8-10 septembre 2009, pp. 1-10.

Rassam G., Nasser L., Soltani A., Kamkar B. (2011). Impact of crop management on weed species diversity and community composition of winter wheat field in Iran, *Weed biology and Management*, 11, pp. 83 – 90.

Rolland B., Bouchard C., Loyce C., Meynard J.M., Guyomard H., Lonnet P., Doussinault G. (2003). Des itinéraires techniques à bas niveau d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre : une alternative pour concilier économie et environnement, *Le Courrier de l'environnement de l'Inra*, 49, pp. 47-62.

Sébillotte M. (1978). Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique, *C.R. Acad. Agric. fr.*, 78, pp. 906-914.

Sébillotte M. (1990). Systèmes de culture, un concept opératoire pour l'agronome. In: Les systèmes de culture. Combe L., Picard D., INRA, Paris, pp. 165-196.

Teasdale J.R., Daughtry C.S.T. (1993). Weed suppression by live and dessicated hairy vetch (*Vicia villosa*), *Weed science*, 41, pp. 207-212.

Tilman D. (1999). The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 5, 80, pp. 1455-1474.

Weiner J., Griepentrog H. W., L. Kristensen. (2001). Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity, *Journal of Applied Ecology*, 38, pp. 784-790.

Wylleman R., Ronzon T., Denis C. (2005). Bien choisir et mieux utiliser ses outils de désherbage mécanique: Guide pratique à destination des techniciens et agriculteurs en technique biologique et/ou conventionnelle. Chambre d'Agriculture de l'Yonne, Auxerre, 32 p.

Sitographie

- <http://www.maweb.org>, le 15/06/2012
- <http://www.un.org/fr>, le 05/06/2012
- <http://europa.eu>, le 20/05/2012

Annexes

Granulométrie du sol - Dispositif MicMac

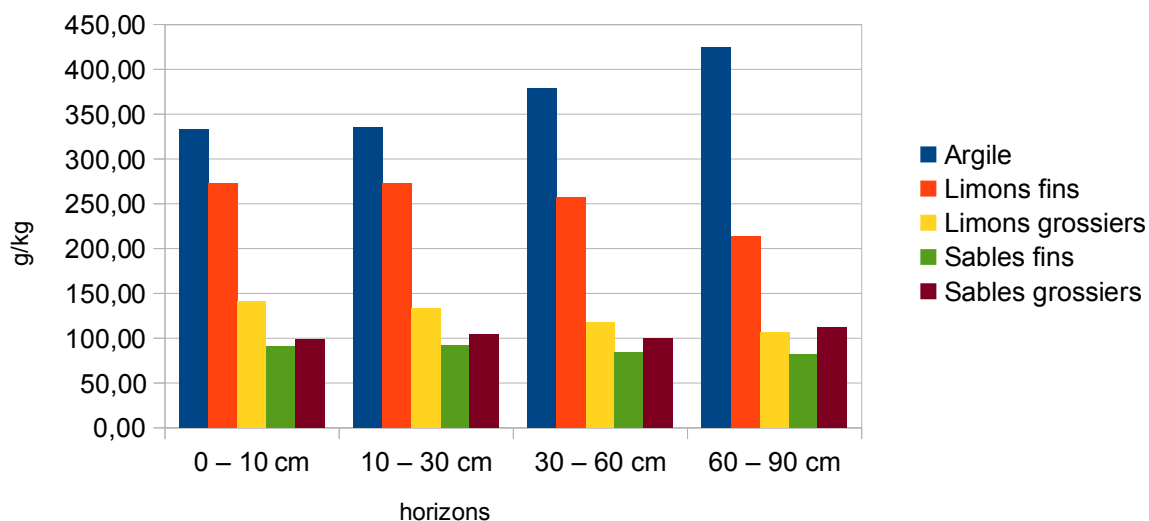


Illustration 26: Granulométrie du sol du dispositif MicMac

Principales caractéristiques du sol sur les deux premiers horizons

Profondeur (cm)	Matière organique (%)	pH eau	Phosphore (P ₂ O ₅) (g/kg)	Calcium (Ca) (g/kg)	Magnésium (Mg) (g/kg)	Potassium (K) (g/kg)
0 - 10	1,80	6,63	0,021	4,27	5,74	17,13
10 - 30	1,26	7,09	0,011	4,24	6,23	17,54

Calcul de l'indice de battance :

$$I = [(1,5 \text{ LF} + 0,75 \text{ LG}) / (A + 10 \text{ MO})] - C$$

Avec : LF : limons fins, LG : limons grossiers, A : teneur en argile, MO : teneur en matière organique

C : terme correctif pour des pH supérieurs à 7 : $C = 0,2 (\text{pH} - 7)$

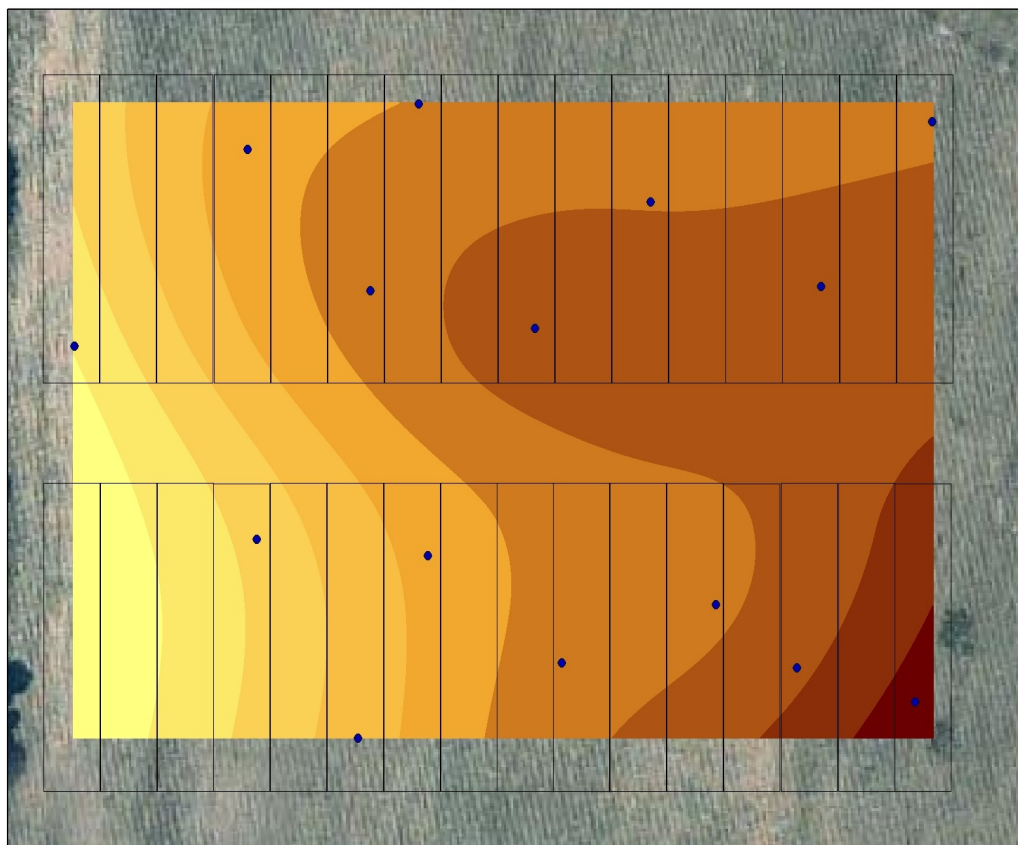
Ici, cet indice se situe entre 0,7 et 1: il n'y a donc pas de risques liés à la battance sur le dispositif (le seuil étant 1,2).

Teneur en matière organique :

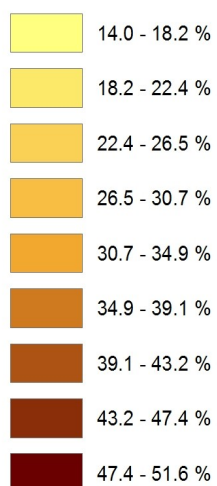
Dans la zone limono-argileuse, le taux de matière organique sur l'horizon 0-30 cm est faible (interprétation du programme CERES). Il est très faible pour les zones argileuses.

Annexe II

Interpolation de la teneur en argile entre 0 et 10 cm - essai Micmac



Taux d'argile entre 0 et 10 cm • Point d'échantillonnage



Parcelle

0 5 10 20 30 40 Mètres

1 Centimètre = 5 Mètres



Auteur : Simon Giuliano
Date : 6 janvier 2011
Données : El Purpan, IGN

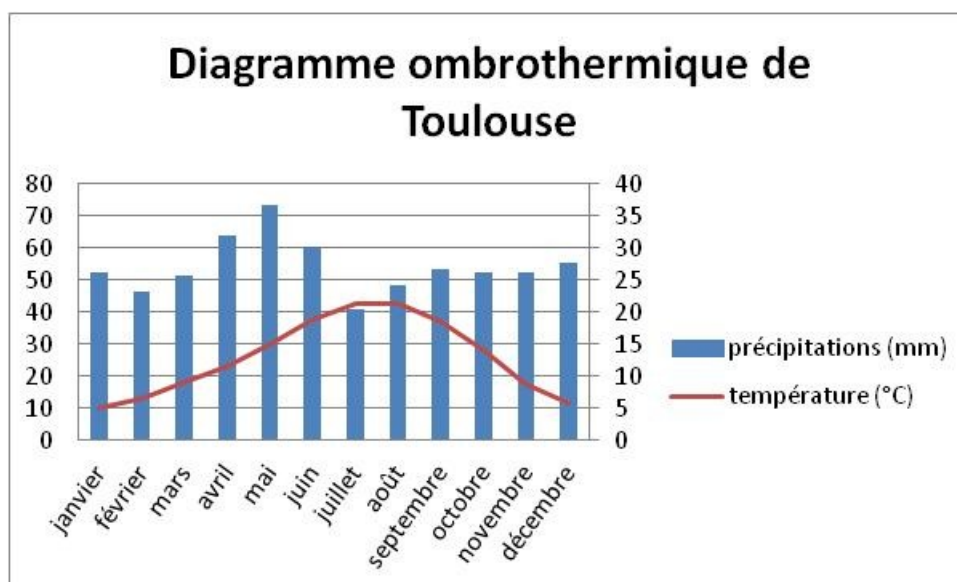


Figure 27: Diagramme ombrothermique de Toulouse
(source MétéoFrance, 1878/2008)

Annexe IV (ITK MM1- année 2010/2011)

Date	Activité	Outil	Produit	Dose appliquée	Unité	Quantité	Unité
30/09/10	Déchaumage	Cover Crop - Besson					
30/09/10	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne					
15/03/11	Labour	Charrue 2 socs - Besson					
25/03/11	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone					
12/04/11	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne					
18/04/11	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone					
18/04/11	Semis	Semoir monograine Maïs	Maggi	9,0	grains/m²	27,0	kg/ha
20/04/11	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne					
05/05/11	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Mercantor Gold_Maïs	2,0	L/ha	2,0	L/ha
05/05/11	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	17-17-17	412,0	kg/ha	412,0	kg/ha
05/05/11	Application phyto	Epandeur à engrais - Kuhn	Carakol	1,5	kg/ha	1,5	kg/ha
20/05/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		40,0	mm	400,0	m3/ha
26/05/11	Fertilisation	Epandeur à engrais	27-0-0	333,0	kg/ha	333,0	kg/ha
26/05/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		30,0	mm	300,0	m3/ha
16/06/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		30,0	mm	300,0	m3/ha
02/07/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		30,0	mm	300,0	m3/ha
12/07/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		30,0	mm	300,0	m3/ha
22/07/11	Application phyto	Distributeur d'insecticide ou anti-limace	Trichogrammes	50,0	Diffuseurs/ha	50,0	Diffuseurs/ha
16/08/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		30,0	mm	300,0	m3/ha
25/08/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		30,0	mm	300,0	m3/ha
07/09/11	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance		30,0	mm	300,0	m3/ha
14/10/11	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Mais	116,0	q/ha	116,0	q/ha

Annexe V (ITK RL5-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
17/02/10	100	Labour	Charrue 6 socs - Kuhn							
21/02/10	100	Reprise	Herse rotative - Amazone							
08/03/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
08/03/11	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences culture	Onyx	100,0	grains/m²	Wakil_Pois	179,0	kg/ha
12/04/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative							
05/05/11	100	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Insecticide	Karate Zéon_Pucerons pois et épis	6,3	cL/ha		6,3	cL/ha
20/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		40,0	mm		400,0	m³/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
05/07/11	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Produit Récolté	Pois de printemps	8,0	q/ha		8,0	q/ha

Annexe VI (ITK RC2-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson						
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne						
04/10/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences cult. int.	Avoine 'Activerf'	43,0	kg/ha	43,0	kg/ha
15/03/11	100	Labour	Charrue 2 socs - Besson						
25/03/11	100	Reprise	Herse rotative - Amazone						
12/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne						
18/04/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone						
19/04/11	100	Semis	Semoir monograin - 50 cm	Semences culture	Lança	45,0	grains/m²	90,0	kg/ha
20/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne						
20/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		40,0	mm	400,0	m3/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm	300,0	m3/ha
10/06/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter						
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm	300,0	m3/ha
25/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm	300,0	m3/ha
07/09/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm	300,0	m3/ha
30/09/11	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Produit Récolté	Soja	32,0	q/ha	32,0	q/ha

Annexe VII (ITK RL4-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (2)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
04/10/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences cult. int.	Avoine Strigosa	43,0	kg/ha		43,0	kg/ha
18/01/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
18/01/10	100	Semis	Semis manuel à la volée	Semences culture	Isildur	415,0	grains/m²	Redigo_Signal_Gaucho	195,1	kg/ha
18/01/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
11/04/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	297,0	kg/ha		297,0	kg/ha
30/04/11	100	Broyage	Broyeur - Desvoys							
19/05/11	100	Irrigation		Eau Touch		40,0	mm		400,0	m³/ha
26/05/11	100	Irrigation		Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
01/07/11	100	Broyage	Broyeur - Desvoys							

Annexe VIII (ITK MM2-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
04/10/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences cult. int.	Chloro 2 (RGH + Trèfle Violet)	20,0	kg/ha	(non traité)	20,0	kg/ha
15/03/11	100	Labour	Charrue 2 socs - Besson							
25/03/11	100	Reprise	Herse rotative - Amazone							
12/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne							
18/04/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
18/04/11	100	Semis	Semoir monograine Mais	Semences culture	Shexspir	10,5	grains/m²	Cruiser	29,9	kg/ha
20/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne							
05/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	17-17-17	353,0	kg/ha		353,0	kg/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		40,0	mm		400,0	m3/ha
24/05/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter							
26/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	260,0	kg/ha		260,0	kg/ha
26/05/11	100	Semis	Semis manuel à la volée	Semences cult. int.	Chloro 2 (RGH + Trèfle Violet)	20,0	kg/ha	(non traité)	20,0	kg/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
02/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
12/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
22/07/11	100	Application phyto	Distributeur d'insecticide ou anti-limace	Insecticide	Trichogramme	50,0	Diffuseurs/ha		50,0	Diffuseurs/ha
16/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
25/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
07/10/11	100	Récolte	Moissonneuse batteuse	Produit Récolté	Mais	96,0	q/ha		96,0	q/ha

Annexe IX (ITK RL1-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
04/10/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences cult. int.	Mél. JFD. Vesc. + Phac. + Av.	35,0	kg/ha	(non traité)	35,0	kg/ha
15/03/11	100	Labour	Charue 2 socs - Besson							
25/03/11	100	Reprise	Herse rotative - Amazone							
12/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne							
18/04/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
19/04/11	100	Semis	Semoir monograin - 50 cm	Semences culture	Fulgus	30,0	grains/m²	Influx XL	9,6	kg/ha
20/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne							
05/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais	Engrais minéraux	17-17-17	353,0	kg/ha		353,0	kg/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		40,0	mm		400,0	m3/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
10/06/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter							
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
24/06/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter							
12/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
16/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
03/10/11	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Produit Récolté	Sorgho	45,0	q/ha		45,0	q/ha

Annexe X (ITK MM3-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne			50,0				
04/10/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences cult. int.	Mél. JFD. Vesc. + Phac. + Av.	35,0	kg/ha	(non traité)	35,0	kg/ha
23/03/11	100	Travail profond	Strip-tiller							
05/04/11	100	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Round-up_ avant mise en culture	4,0	L/ha		4,0	L/ha
14/04/11	100	Semis	Semoir monograine Mais	Semences culture	Shexspir	10,5	grains/m²	Cruiser	29,9	kg/ha
05/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	17-17-17	412,0	kg/ha		412,0	kg/ha
05/05/11	100	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Fornet 4sc	1,5	L/ha		0,4	L/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		40,0	mm		400,0	m3/ha
26/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	260,0	kg/ha		260,0	kg/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
02/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
12/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
22/07/11	100	Application phyto	Distributeur d'insecticide ou anti-limace	Insecticide	Trichogramme	50,0	Diffuseurs/ha		50,0	Diffuseurs/ha
16/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
25/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
07/10/11	100	Récolte	Moissonneuse batteuse	Produit Récolté	Mais	85,0	q/ha		85,0	q/ha

Annexe XI (ITK RL2-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
15/03/11	100	Labour	Charrue 2 socs - Besson							
25/03/11	100	Reprise	Herse rotative - Amazone							
12/04/11	100	Roulage	Cultipacker "Crosskill" - Quivogne							
18/04/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
19/04/11	100	Semis	Semoir monograine - 50 cm	Semences culture	NK Kondi	7,5	grains/m²	Celest	3,3	kg/ha
20/04/11	100	Roulage	Cultipacker "Crosskill" - Quivogne							
05/05/11	100	Application phyto	Epandeur à engrais - Kuhn	Molluscicide	Carakol	5,0	kg/ha		5,0	kg/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau_Touch	Eau	40,0	mm		400,0	m3/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau_Touch	Eau	30,0	mm		300,0	m3/ha
10/06/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter							
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau_Touch	Eau	30,0	mm		300,0	m3/ha
20/09/11	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Produit Récolté	Tournesol	25,0	q/ha		25,0	q/ha

Annexe XII (ITK RL3-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
15/03/11	100	Labour	Charrue 2 socs - Besson							
25/03/11	100	Reprise	Herse rotative - Amazone							
12/04/11	100	Roulage	Cultipacker "Crosskill" - Quivogne							
18/04/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
19/04/11	100	Semis	Semoir monograine - 50 cm	Semences culture	NK Kondi	7,5	grains/m²	Celest	3,3	kg/ha
20/04/11	100	Roulage	Cultipacker "Crosskill" - Quivogne							
05/05/11	100	Application phyto	Epandeur à engrais - Kuhn	Molluscicide	Carakol	5,0	kg/ha		5,0	kg/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch	Eau	40,0	mm		400,0	m3/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch	Eau	30,0	mm		300,0	m3/ha
10/06/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter							
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch	Eau	30,0	mm		300,0	m3/ha
20/09/11	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Produit Récolté	Tournesol	25,0	q/ha		25,0	q/ha

Annexe XIII (ITK RL3-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
18/01/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
18/01/10	100	Semis	Semis manuel à la volée	Semences culture	Nogal	580,0	grains/m²	Redigo	208,8	kg/ha
18/01/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
11/04/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	222,0	kg/ha		222,0	kg/ha
30/04/11	100	Broyage	Broyeur - Desvoys							
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		40,0	mm		400,0	m3/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
01/07/11	100	Broyage	Broyeur - Desvoys							

Annexe XIV (ITK RC1-année 2010-2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne			50,0				
08/12/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
13/12/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences culture	Iréna	40,0	grains/m²	Wakil_Féverole	204,0	kg/ha
13/12/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
18/01/10	100	Semis	Semis manuel à la volée	Semences cult. int.	Mél. JFD. Vesc. ppre + Phac.	31,4	kg/ha	(non traité)	31,4	kg/ha
15/03/11	100	Labour	Charrue 2 socs - Besson							
25/03/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
12/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne							
18/04/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
18/04/11	100	Semis	Semoir monograine Maïs	Semences culture	Shexpir	10,5	grains/m²	Cruiser	29,9	kg/ha
20/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne							
05/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	17-17-17	353,0	kg/ha		353,0	kg/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		40,0	mm		400,0	m3/ha
24/05/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter							
26/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	260,0	kg/ha		260,0	kg/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
10/06/11	100	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter							
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
02/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
12/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
22/07/11	100	Application phyto	Distributeur d'insecticide ou anti-limace	Insecticide	Trichogramme	50,0	Diffuseurs/ha		50,0	Diffuseurs/ha
16/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
25/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m3/ha
07/10/11	100	Récolte	Moissonneuse batteuse	Produit Récolté	Maïs	89,0	q/ha		89,0	q/ha

Annexe XV (ITK MM4-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne			50,0				
14/10/10	100	Labour	Charrue 6 socs - Kuhn							
19/10/10	100	Reprise	Herse rotative - Amazone							
08/12/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences culture	Nogal	350,0	grains/m²	Redigo	126,0	kg/ha
08/12/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
08/03/11	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone							
08/03/11	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences cult. int.	Trèfle blanc 'Aberdai'	5,0	kg/ha	(non traité)	2,5	kg/ha
23/03/11	100	Travail profond	Strip-tiller							
08/04/11	100	Semis	Semis manuel à la volée	Semences cult. int.	Trèfle blanc 'Aberdai'	5,0	kg/ha	(non traité)	2,5	kg/ha
12/04/11	100	Roulage	Cultipacker 'Crosskil' - Quivogne							
14/04/11	100	Semis	Semoir monograine Maïs	Semences culture	Maggi	9,0	grains/m²	Cruiser	27,0	kg/ha
05/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	17-17-17	353,0	kg/ha		353,0	kg/ha
05/05/11	100	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Fomet 4sc	1,5	L/ha		0,4	L/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		40,0	mm		400,0	m³/ha
26/05/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	260,0	kg/ha		260,0	kg/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
16/06/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
02/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
12/07/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
22/07/11	100	Application phyto	Distributeur d'insecticide ou anti-limace	Insecticide	Trichogramme	50,0	Diffuseurs/ha		50,0	Diffuseurs/ha
16/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
25/08/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
07/09/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
13/10/11	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Produit Récolté	Maïs	45,0	q/ha		45,0	q/ha

Annexe XVI (ITK RL6-année 2010/2011)

Date	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité	Traitement de semences (1)	Quantité	Unité
30/09/10	100	Déchaumage	Cover Crop - Besson							
30/09/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
14/10/10	100	Labour	Charrue 6 socs - Kuhn							
19/10/10	100	Reprise	Herse rotative - Amazone							
08/12/10	100	Semis	Semoir céréales (ancien) - Accord	Semences culture	Nogal	300,0	grains/m²	Redigo	108,0	kg/ha
08/12/10	100	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne							
11/04/11	100	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	222,0	kg/ha		222,0	kg/ha
19/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Imifrance	Eau Touch		40,0	mm		400,0	m³/ha
26/05/11	100	Irrigation	Rampe d'irrigation - Imifrance	Eau Touch		30,0	mm		300,0	m³/ha
29/06/11	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale - Hege	Produit Récolté	Blé tendre	15,0	q/ha		15,0	q/ha

Annexe XVII (ITK MM2-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
18/10/11	Déchaumage	Cover Crop - Besson				
01/03/12	Labour	Charrue 2 socs - Besson				
16/03/12	Reprise	Cultivateur Quivogne 3m				
30/03/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
06/04/12	Semis	Semoir monograin	Semences culture	Maggi	8,5	grains/m²
17/04/12	Epandage fertilisant	Epandeur à engrais	Engrais minéraux	Ammonitrate	198,0	kg/ha
17/04/12	Application phyto	Epandeur à engrais	Molluscicide	Metarex	3,0	kg/ha
17/04/12	Epandage fertilisant	Epandeur à engrais	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
03/05/12	Application phyto	Pulvérisateur - Be	Herbicide	Calibra	3,8	L/ha
31/05/12	Epandage fertilisant	Epandeur à engrais	Engrais minéraux	Perlurée	240,0	kg/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Be	Herbicide	Fornet 4sc_Maïs	1,3	L/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Be	Herbicide	Callisto_Maïs	1,5	L/ha
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation	Eau Touch		30,0	mm
26/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation	Eau Touch		30,0	mm
09/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation	Eau Touch		40,0	mm
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation	Eau Touch		30,0	mm
23/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation	Eau Touch		40,0	mm
31/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation	Eau Touch		30,0	mm

Annexe XVIII (ITK RL6-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
29/07/11	Déchaumage	Chisel - Huard - 7 dents				
09/08/11	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
10/08/11	Semis	Semoir céréales - Sulky	Semences cult. int.	Moutarde 'Ascot'	8,0	kg/ha
18/10/11	Travail superficiel	Cover Crop - Besson				
18/10/11	Travail superficiel	Cover Crop - Besson				
02/11/11	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
02/11/11	Semis	Semoir céréales - Sulky	Semences culture	Nogal	300,0	grains/m²
25/11/11	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
28/02/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Hussar Of_Céréales d'hiver	1,25	L/ha
27/03/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Ammonitrate	148,0	kg/ha
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Ammonitrate	134,0	kg/ha
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
01/06/12	Application phyto	Binette (désherbage manuel)				
28/06/12	Récolte	Moissonneuse expérimentale	Produit Récolté	Blé tendre	42,0	q/ha
12/07/12	Broyage	Broyeur - Testas				
12/07/12	Déchaumage	Cultivateur Quivogne 3m				
16/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifra	Eau_Touch		30,0	mm

Annexe XIX (ITK RC3-année 2011-2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
10/10/11	Déchaumage	Cover Crop - Besson				
02/11/11	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
02/11/11	Semis	Semoir céréales - Sulky	Semences culture	Nogal	300,0	grains/m²
25/11/11	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
01/03/12	Désherbage mécanique	Herse étrille - 6m				
27/03/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - K	Engrais minéraux	Ammonitrate	148,0	kg/ha
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - K	Engrais minéraux	Ammonitrate	198,0	kg/ha
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - K	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
01/06/12	Application phyto	Binette (désherbage manuel)				
03/07/12	Récolte	Moissonneuse expérimentale	Produit Récolté	Blé tendre	43,1	q/ha
12/07/12	Broyage	Broyeur - Testas				
12/07/12	Déchaumage	Cultivateur Quivogne 3m				
16/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrif	Eau Touch		30,0	mm

Annexe XX (ITK RL5-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
29/07/11	Déchaumage	Chisel - Huard - 7 dents				
09/08/11	Désherbage méca	Houe rotative - Yetter				
10/08/11	Semis	Semoir céréales - Sully	Semences cult. int.	Avoine 'Activer'	35,0	kg/ha
04/11/11	Labour	Charrue 2 socs - Besson				
18/01/12	Reprise	Cultivateur Quivogne 3m				
19/01/12	Semis	Semoir céréales - Sully	Semences culture	Onyx	95,0	grains/m ²
19/01/12	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne				
19/03/12	Désherbage méca	Herse étrille - 6m				
30/03/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
17/04/12	Epandage fertilisa	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
25/04/12	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne				
26/04/12	Semis	Semoir monograine - 50 cm	Semences culture	Isidor	33,0	grains/m ²
26/04/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Mercantor Gold_Soja	1,4	L/ha
15/05/12	Application phyto	Application manuelle	Herbicide	Chardex	3,0	L/ha
30/05/12	Travail superficiel	Cultivateur Quivogne 3m				
31/05/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
01/06/12	Semis	Semoir monograine Maïs	Semences culture	Isidor	40,0	grains/m ²
01/06/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Ronstar_Soja	3,0	L/ha
01/06/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Mercantor Gold_Soja	1,4	L/ha
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
26/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
04/07/12	Désherbage méca	Bineuse - 50 cm				

Annexe XXI (ITK MM2-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
01/03/12	Labour	Charrue 2 socs - Besson				
16/03/12	Reprise	Cultivateur Quivogne 3m				
30/03/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
06/04/12	Semis	Semoir monograine Maïs	Semences culture	Shexspir	9,5	grains/m²
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Ammonitrate	134,0	kg/ha
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
18/04/12	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
09/05/12	Application phyto	Application manuelle	Molluscicide	Carakol	4,0	kg/ha
16/05/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Callisto_Maïs	1,5	L/ha
29/05/12	Désherbage mécanique	Désherbineuse - Carré				
29/05/12	Semis	Semis couvert désherbineuse	Semences cult. int.	Ray-grass Hybride 'Tonuss'	18,0	kg/ha
31/05/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Perlurée	240,0	kg/ha
11/06/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Fomet 4sc_Maïs	1,5	L/ha
11/06/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Callisto_Maïs	1,5	L/ha
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
26/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
09/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		25,0	mm
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
23/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		25,0	mm
31/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		25,0	mm

Annexe XXII (ITK RL2-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
12/01/12	Broyage	Broyeur - Desvoys				
16/01/12	Labour	Charrue 2 socs - Besson				
05/04/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - K	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
25/04/12	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne				
26/04/12	Semis	Semoir monograine - 5	Semences culture	NK Kondi	7,5	grains/m²
26/04/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Mercantor Gold_Tournesol	1,4	L/ha
02/05/12	Application phyto	Application manuelle	Molluscicide	Carakol	4,0	kg/ha
30/05/12	Travail superficiel	Cultivateur Quivogne 3m				
31/05/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
01/06/12	Semis	Semoir monograine - 5	Semences culture	NK Kondi	8,5	grains/m²
01/06/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Mercantor Gold_Tournesol	1,4	L/ha
01/06/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Racer ME_Tournesol	1,4	L/ha
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrig	Eau_Touch		30,0	mm
26/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrig	Eau_Touch		30,0	mm
04/07/12	Désherbage mécanique	Bineuse - 50 cm				
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrig	Eau_Touch		30,0	mm

Annexe XXIII (ITK MM3-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
10/10/11	Déchaumage	Cover Crop - Besson				
10/10/11	Semis	Semoir céréales - Sulky	Semences cult. int.	FD. Vesc. + Phac	50,0	kg/ha
28/10/11	Reprise	Strip-tiller				
15/03/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Roundup	2,0	L/ha
05/04/12	Travail profond	Strip-tiller				
05/04/12	Semis	Semoir monograine Maïs	Semences culture	Shexspir	9,5	grains/m²
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Ammonitrate	134,0	kg/ha
18/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
23/04/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Roundup	3,0	L/ha
03/05/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Calibra	3,8	L/ha
09/05/12	Application phyto	Application manuelle	Molluscicide	Carakol	4,0	kg/ha
31/05/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Perlurée	240,0	kg/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Fornet 4sc_Maïs	1,3	L/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Callisto_Maïs	1,5	L/ha
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irirfra	Eau_Touch		30,0	mm
21/06/12	Désherbage mécanique	Désherbineuse - Carré				
27/06/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	185,0	kg/ha
26/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irirfra	Eau_Touch		30,0	mm
09/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irirfra	Eau_Touch		40,0	mm
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irirfra	Eau_Touch		30,0	mm
23/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irirfra	Eau_Touch		40,0	mm
31/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irirfra	Eau_Touch		30,0	mm

Annexe XXIV (ITK RL3-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
26/09/11	Déchaumage	Cover Crop - Besson				
15/11/11	Travail superficiel	Cultivateur Quivogne 3m				
18/11/11	Semis	Semoir monograine - 50 cm	Semences culture	Iréna	24,0	grains/m²
18/11/11	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne				
28/11/11	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
28/11/11	Désherbage mécanique	Herse étrille - 6m				
28/02/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Etamine_Protéagineux	1,2	L/ha
19/03/12	Désherbage mécanique	Herse étrille - 6m				
18/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
23/04/12	Application phyto	Application manuelle	Herbicide	Etamine_Protéagineux	3,0	L/ha
02/05/12	Désherbage mécanique	Bineuse - 50 cm				
25/06/12	Récolte	Moissonneuse expérimentale	Produit Récolté	Féverole d'hiver	9,0	q/ha
12/07/12	Déchaumage	Cultivateur Quivogne 3m				
16/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irifrance	Eau Touch		30,0	mm

Annexe XXV (ITK RC4-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
29/07/11	Déchaumage	Chisel - Huard - 7 dents				
09/08/11	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
10/08/11	Semis	Semoir céréales - Sulky	Semences cult. int.	JFD. Vesc. com. + Ph	35,0	kg/ha
16/01/12	Labour	Charrue 2 socs - Besson				
05/04/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
06/04/12	Semis	Semoir monograine Maïs	Semences culture	Shexspir	9,5	grains/m²
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Ammonitrate	134,0	kg/ha
18/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
18/04/12	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
29/05/12	Désherbage mécanique	Désherbineuse - Carré				
29/05/12	Application phyto	Désherbineuse - Carré	Herbicide	Mercantor Gold_Maïs	2,0	L/ha
31/05/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Perlurée	240,0	kg/ha
04/06/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Chardex	3,0	L/ha
11/06/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Fornet 4sc_Maïs	1,5	L/ha
11/06/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Callisto_Maïs	1,5	L/ha
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm
26/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm
09/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		25,0	mm
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm
23/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		25,0	mm

Annexe XXVI (ITK RL4-année 2011/2012)

Date	Tractoriste	% surf.	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
29/07/11	Denis Sicard	100	Déchaumage	Chisel - Huard - 7 dents				
09/08/11	Denis Sicard	100	Désherbage méca	Houe rotative - Yetter				
10/08/11	Technicien	100	Semis	Semoir céréales - Sully	Semences cult. int.	Avoine 'Activer'	35,0	kg/ha
18/10/11	Denis Sicard	100	Travail superficiel	Cover Crop - Besson				
18/10/11	Denis Sicard	100	Travail superficiel	Cover Crop - Besson				
02/11/11	Technicien	100	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
02/11/11	Stagiaire	100	Semis	Semoir céréales - Sully	Semences culture	Isildur	315,0	grains/m²
25/11/11	Denis Sicard	100	Désherbage méca	Houe rotative - Yetter				
28/02/12	Denis Sicard	100	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Flussar Of_Céréales d'hiver	1,25	L/ha
01/03/12	Denis Sicard	100	Désherbage méca	Herse étrille - 6m				
27/03/12	Denis Sicard	100	Épandage fertilisant	Épandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Ammonitrate	222,2	kg/ha
18/04/12	Denis Sicard	100	Épandage fertilisant	Épandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
23/04/12	Simon Giuliano	15	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Etamine_Protéagineux	3,0	L/ha
15/05/12	Denis Sicard	100	Épandage fertilisant	Épandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	27-0-0	185,0	kg/ha
01/06/12	Technicien	100	Application phyto	Binette (désherbage manuel)				
04/07/12	Simon Giuliano	100	Récolte	Moissonneuse expérimentale	Produit Récolté	Blé dur		q/ha
12/07/12	Technicien	100	Broyage	Broyeur - Testas				
12/07/12	Technicien	100	Déchaumage	Cultivateur Quivogne 3m				

Annexe XXVII (ITK RC2-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
10/10/11	Déchaumage	Cover Crop - Besson				
10/10/11	Semis	Semoir céréales - Sully	Semences cult. int.	Avoine 'Activert'	50,0	kg/ha
03/02/12	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne				
16/03/12	Travail superficiel	Cultivateur Quivogne 3m				
30/03/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
18/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
25/04/12	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne				
26/04/12	Semis	Semoir monograine - 50 cm	Semences culture	Lança	33,0	grains/m²
26/04/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Mercantor Gold_Soja	1,4	L/ha
15/05/12	Application phyto	Application manuelle	Herbicide	Chardex	3,0	L/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Pulsar	0,6	L/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Adjuvant	Actirob	2,0	L/ha
08/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Pulsar	0,6	L/ha
08/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Adjuvant	Actirob	2,0	L/ha
14/06/12	Désherbage mécanique	Bineuse - 50 cm				
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm
04/07/12	Désherbage mécanique	Bineuse - 50 cm				
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm
23/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		25,0	mm

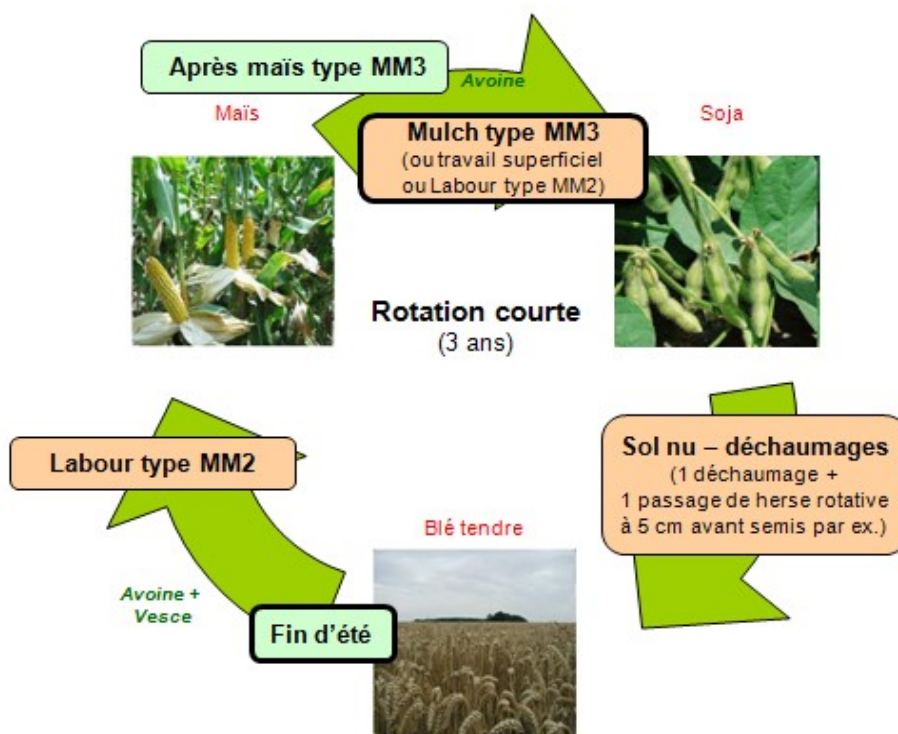
Annexe XXVIII (ITK MM4-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
28/10/11	Reprise	Strip-tiller				
28/02/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Roundup	1,5	L/ha
16/03/12	Travail superficiel	Cultivateur Quivogne 3m				
30/03/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
02/04/12	Semis	Semis manuel à la volée	Semences cult. int.	Trèfle blanc 'Haïfa'	25,0	kg/ha
02/04/12	Semis	Semoir céréales - Sully	Semences cult. int.	Trèfle blanc 'Haïfa'	25,0	kg/ha
02/04/12	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne				
06/04/12	Semis	Semoir monograine Maïs	Semences culture	Maggi	8,5	grains/m²
17/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Ammonitrate	198,0	kg/ha
18/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
15/05/12	Application phyto	Application manuelle	Herbicide	Chardex	3,0	L/ha
15/05/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Basagran_Maïs et Sorgho	0,8	kg/ha
25/05/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Basagran_Maïs et Sorgho	0,8	kg/ha
31/05/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Perlurée	240,0	kg/ha
01/06/12	Application phyto	Désherbineuse - Carré	Herbicide	Fomet 4sc_Maïs	1,5	L/ha
04/06/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Fomet 4sc_Maïs	1,5	L/ha
18/06/12	Application phyto	Binette (désherbage manuel)				
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
27/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
09/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		40,0	mm
11/07/12	Application phyto	Binette (désherbage manuel)				
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		30,0	mm
23/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau Touch		40,0	mm
27/07/12	Application phyto	Binette (désherbage manuel)				

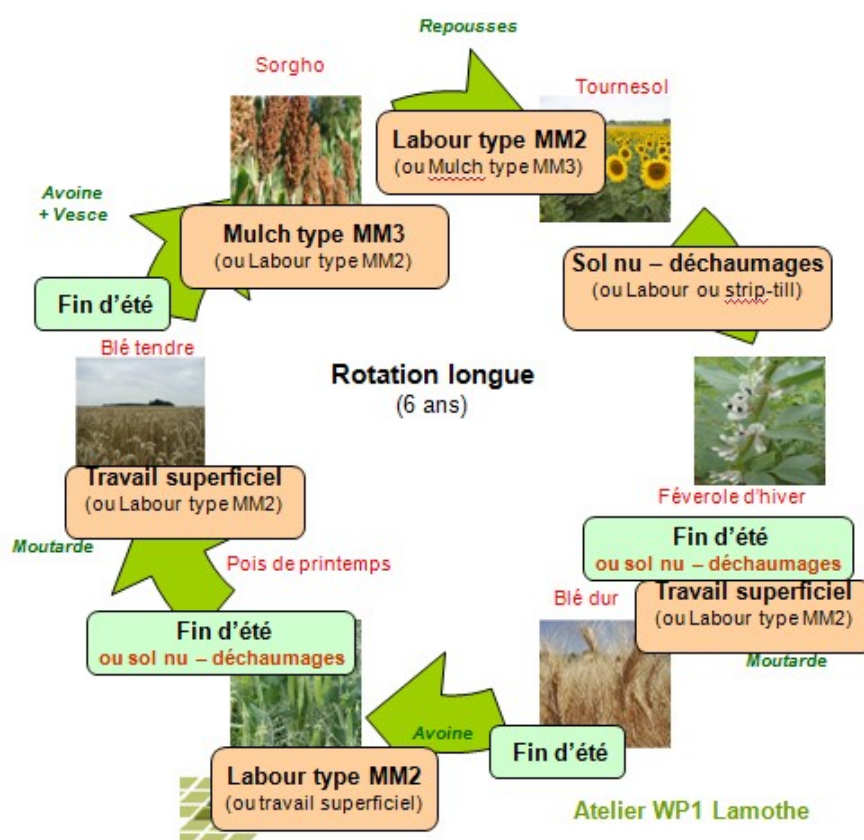
Annexe XXIX (ITK RL1-année 2011/2012)

Date	Activité	Outil	Type de produit	Produit	Dose appliquée	Unité
01/07/11	Broyage	Broyeur - Desvoys				
29/07/11	Déchaumage	Chisel - Huard - 7 dents				
09/08/11	Désherbage mécanique	Houe rotative - Yetter				
10/08/11	Semis	Semoir céréales - Sully	Semences cult. int.	Chloro 25 (Vesc. com. + Av. st.)	50,0	kg/ha
03/02/12	Roulage	Cultipacker 'Crosskill' - Quivogne				
16/03/12	Travail superficiel	Cultivateur Quivogne 3m				
05/04/12	Travail superficiel	Herse rotative - Amazone				
18/04/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Super 45	440,0	kg/ha
25/04/12	Travail superficiel	Herse plate - Quivogne				
26/04/12	Semis	Semoir monograine - 50 cm	Semences culture	Fulgus	32,0	grains/m²
26/04/12	Application phyto	Herbi-semis Berthoud	Herbicide	Mercantor Gold_Sorgho	1,4	L/ha
15/05/12	Application phyto	Application manuelle	Herbicide	Chardex	3,0	L/ha
31/05/12	Epandage fertilisants	Epandeur à engrais - Kuhn	Engrais minéraux	Perlurée	240,0	kg/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Herbicide	Mikado_Sorgho	.5	L/ha
01/06/12	Application phyto	Pulvérisateur - Berthoud	Adjuvant	Actirob	2,0	L/ha
04/06/12	Application phyto	Pompe à dos	Herbicide	Chardex	3,0	L/ha
14/06/12	Désherbage mécanique	Bineuse - 50 cm				
20/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm
27/06/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm
04/07/12	Désherbage mécanique	Bineuse - 50 cm				
09/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		25,0	mm
17/07/12	Irrigation	Rampe d'irrigation - Irrifrance	Eau_Touch		30,0	mm

Annexe XXX



Rotation courte (source: S. Giuliano)



Rotation longue (source S. Giuliano)

Annexe XXXI

date :	culture en place :	S	Dicot	Poacées	RELEVÉ D'ADVENTICES - DISPOSITIF LAMOTHE		
		1	Cotylédons	Coléoptile			
parcelle :	stade :	2	1-2 feuilles	1-2 feuilles	6	floraison	Epiaison
		3	3 f. et +	3 f. et +	7	G. formées	G. formées
observateurs :		4	Rosette	Tallage	8	G. mûres	G. mûres

[illegible]

Annexe XXXII

Date:
Parcelle:
Culture:
Observateurs:
Stade:

Biomasse

[illegible]

Annexe XXXIII

L'analyse des données à l'aide d'un modèle linéaire donne les résultats suivants :

Coefficients:

	Pr(> t)
(Intercept)	0.555547
systeme[T.MM2]	0.890940
systeme[T.MM3]	0.603291
systeme[T.MM4]	0.000185 ***
systeme[T.RC]	0.768424
systeme[T.RL]	0.558519
bloc[T.bloc2]	0.882446
systeme[T.MM2]:bloc[T.bloc2]	0.639121
systeme[T.MM3]:bloc[T.bloc2]	0.761601
systeme[T.MM4]:bloc[T.bloc2]	0.747044
systeme[T.RC]:bloc[T.bloc2]	0.809077
systeme[T.RL]:bloc[T.bloc2]	0.932182

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Annexe XXXIV

Lien Biomasse adventice /densité adventice à floraison

Call:

```
lm(formula = biomasse.adv ~ densiteadv, data = Dataset)
```

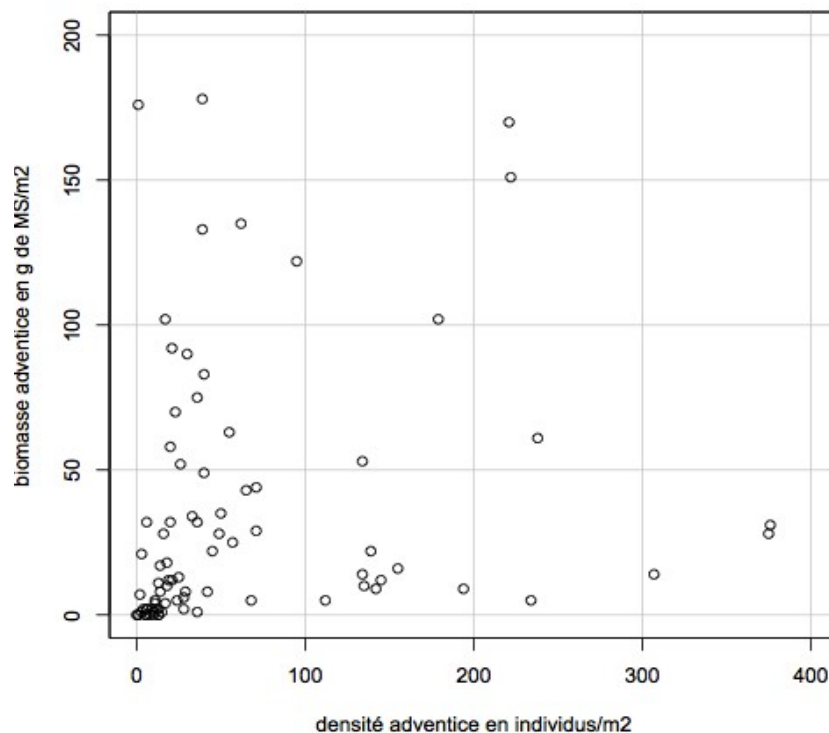
Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-134.55	-46.82	-37.06	7.45	453.25

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	46.70663	10.80453	4.323	4.04e-05 ***
densiteadv	0.10883	0.06271	1.736	0.0861 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Biomasse adventice en fonction de la densité adventice à floraison

Annexe XXXV

Lien Biomasse adventice /densité adventice à maturité

Call:

lm(formula = biomasse.adv ~ densiteadv, data = Dataset)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-150.11	-73.56	-31.59	49.09	416.12

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	85.1215	21.9241	3.883	0.000293 ***
densiteadv	0.4809	0.2671	1.801	0.077563 .

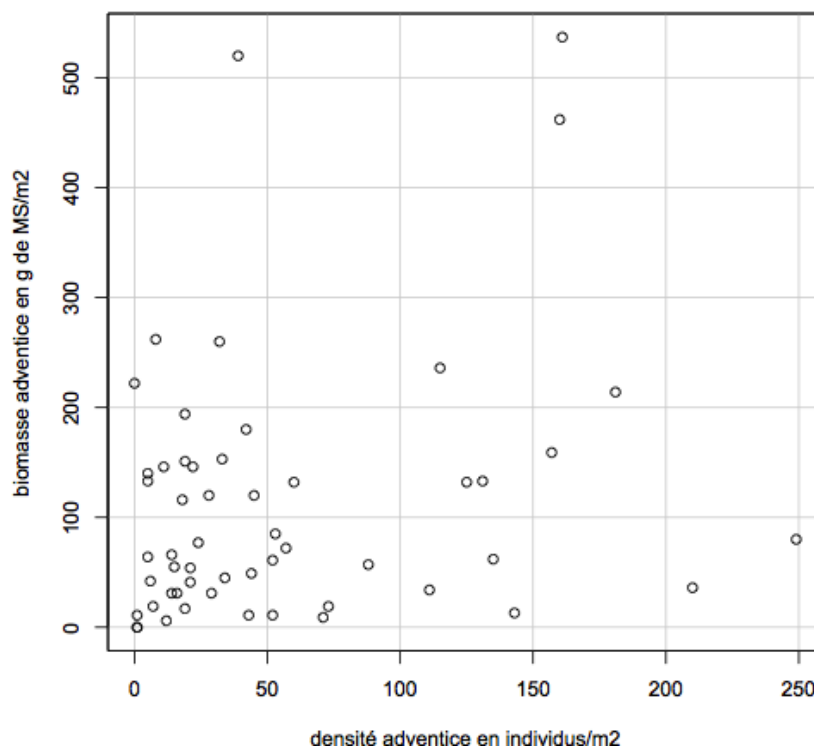
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 117.4 on 52 degrees of freedom

(2 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.05869, Adjusted R-squared: 0.04059

F-statistic: 3.242 on 1 and 52 DF, p-value: 0.07756



biomasse adventice en fonction de la densité adventice à maturité

Annexe XXXVI

Lien biomasse adventice à maturité et rendement

```
lm(formula = rendement ~ biomasse.adv, data = Dataset)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	64.81583	8.90669	7.277	1.43e-08 ***
biomasse.adv	-0.05535	0.05702	-0.971	0.338

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 40.32 on 36 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.02551, Adjusted R-squared: -0.001563

F-statistic: 0.9422 on 1 and 36 DF, p-value: 0.3382