



Méthode d'analyse de facteurs d'élaboration du rendement des cultures annuelles dans un système de polyculture élevage autonome en agriculture biologique : application au blé meunier

Gabin Gil

► To cite this version:

Gabin Gil. Méthode d'analyse de facteurs d'élaboration du rendement des cultures annuelles dans un système de polyculture élevage autonome en agriculture biologique : application au blé meunier. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. hal-03144564

HAL Id: hal-03144564

<https://hal.inrae.fr/hal-03144564>

Submitted on 17 Feb 2021

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.

DUT Génie Biologique, Université Paul Sabatier
24 rue d'Embaquès,
32000 Auch, France,
Tel : 0562616304, Mail : contact.gbio@iut-tlse3.fr



INRA SAD-ASTER Mirecourt
662 Avenue Louis Buffet,
88500 Mirecourt, France,
Tel : 03.29.38.55.00



Méthode d'analyse de facteurs d'élaboration du rendement des cultures annuelles dans un système de polyculture élevage autonome en agriculture biologique : application au blé meunier

Rapport de stage de fin d'études, DUT Génie Biologique option agronomie.



Gabin Gil,
Promotion Agro 2015

Monsieur Xavier Coquil,
Ingénieur de recherche,
UR SAD-ASTER

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement toute l'équipe de l'unité de recherche ASTER de l'INRA de Mirecourt pour leur accueil, leur aide dans l'avancée de mon travail mais aussi pour des moments de convivialité qui m'ont permis de rendre mes trois mois de stage très agréables. Je remercie aussi les stagiaires du local pour m'avoir permis d'expérimenter la vie en colocation durant ces trois mois.

Je remercie le DUT Génie Biologique de l'IUT de Auch pour ces deux années de diplôme qui vont me permettre d'accéder à mon projet professionnel.

Je remercie particulièrement et chaleureusement mon équipe d'encadrement qui m'aura permis de faire de ce projet de stage une réalité, de découvrir l'univers de la recherche agronomique qui m'intéresse tout particulièrement et surtout de m'avoir accompagné et supporté durant ces trois mois. Un grand merci donc, à Jean-Marie Trommenschlager pour son aide sur les extractions de données et son apport de savoir impressionnant sur sa base de données, à Catherine Mignolet pour son encadrement et son accompagnement bienveillant, à Thomas Puech pour son aide précieuse, sa sollicitude, sa pédagogie et surtout pour m'avoir permis de découvrir l'univers de R et des statistiques, pour nos échanges sur les analyses qui m'ont permis d'avancer. Enfin, je remercie mon maître de stage, Xavier Coquil pour son encadrement et pour nos échanges agronomiques qui m'ont permis d'agrandir mes connaissances.

Lexique

AB : Agriculture Biologique

ACP : Analyse en Composantes Principales

Adventice : Plante qui accompagne une espèce cultivée et dont la présence n'est pas souhaitée

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances

AFCM : Analyse Factorielle des Correspondances Multiples

AQR : Assurance Qualité en Recherche

ASTER : AgroSystèmes Territoires et Ressources

ASTER-ix : Application pour la Saisie et le Traitement des Evènements Recensés sur l'Installation eXpérimentale

BH : Blé d'Hiver

CAB : point de mesure

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CS P ou H : Céréales Secondaires de Printemps ou d'Hiver

ENSEMBLE : EvaluationN pour l'action de SystEMes agricoles en agriculture BioLogique

H : Hiver ; P : Printemps

IE : Ingénieur d'Etudes

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IR : Ingénieur de Recherche

ITK : Itinéraire Technique

Luz/Dact : Luzerne et Dactyle

PP : Prairie Permanente

Prot : Protéagineux

PT : Prairie Temporaire

qtxMS/ha : quintaux de Matière Sèche par hectare ; cette unité, exprimée en matière sèche, permet de s'affranchir des taux d'humidité à la récolte dont la valeur peut varier significativement selon les conditions météorologiques précédant la moisson et qui sont variables d'une année à l'autre.

SAD : Sciences pour l'Action et le Développement

SDC : Système De Culture

SH : Système Herbager

SPCE : Système de Polyculture-Elevage

SQL : Structured Query Language ou Langage structuré de requête

t/ha : tonnes par hectare

TR : Technicien de Recherche

UR : Unité de Recherche

VL : Vaches Laitières

Sommaire

I. Introduction : chargé d'une étude au sein d'une unité de recherche INRA.....	1
a) L'Institut National de la Recherche Agronomique.....	1
b) L'Unité de Recherche AgroSystèmes Territoires et Ressources	1
c) Problématique de recherche durant le stage	3
II. Elaboration du rendement des blés meuniers dans un système de polyculture élevage autonome sous certificat agriculture biologique.....	4
a) Comment analyser l'élaboration du rendement des céréales en agriculture biologique.....	4
b) Matériel et méthodes.....	5
1. Matériel	5
2. Méthodes	11
c) Résultats.....	14
1. Structuration du facteur explicatif : Données adventices.....	14
3. Caractérisation des facteurs explicatifs des rendements en blé d'hiver sur le SPCE de l'IE INRA ASTER-Mirecourt	20
d) Discussion	26
1. Caractérisation des facteurs explicatifs du rendement	26
2. Caractérisation du type de flore.....	27
3. Structuration des données adventices : le protocole de mesure	28
4. Perspectives.....	28
III. Conclusion.....	29
Bibliographie	1
Webographie.....	2
ANNEXES	1
Annexe 1 : Méthode de structuration du facteur « type de flore »	I
Annexe 2 : Méthode de caractérisation des facteurs d'élaboration des rendements, application au blé d'hiver.	II
Annexe 3 : Tableau des données initiales.....	III
Annexe 4 : Regroupements des adventices issus de l'expertise de Claire Thiery et Etienne Gaujour.	IV

Annexe 5 : Tableau des données suite au regroupement des adventices et au choix de la période Fermeture Culture.	V
Annexe 6 : Tableau des données suite à l'agrégation des CAB par zones de fertilité.....	VI
Annexe 7 : Mise en forme des données pour AFCM	VII
Annexe 8 : Représentations graphiques des AFC entre clusters et facteurs explicatifs.....	VIII

I. Introduction : chargé d'une étude au sein d'une unité de recherche INRA

Mon travail de stage s'est déroulé dans l'unité de recherche INRA ASTER-Mirecourt dans le département des Vosges. Dans cette unité, j'ai été chargé de mener une étude, en collaboration avec un groupe de 4 ingénieurs et 1 technicienne, visant à analyser les facteurs influençant l'élaboration du rendement du blé meunier dans un système de polyculture élevage laitier autonome et sous certificat agriculture biologique. Dans cette introduction, je présente successivement l'organisme puis l'unité d'accueil de ce stage, puis j'aborde la mission ou plus précisément, la problématique de recherche, qui m'a été initialement confiée.

a) L'Institut National de la Recherche Agronomique

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) est un organisme de recherche public fondé en 1946 pour répondre à une demande sociale pressante « Nourrir la France ». Aujourd'hui, ses recherches concernent trois domaines fortement connectés : l'alimentation, l'agriculture et l'environnement avec l'ambition de développer une agriculture à la fois compétitive, respectueuse de l'environnement, des territoires et des ressources naturelles, et mieux adaptée aux besoins nutritionnels de l'homme ainsi qu'aux nouvelles utilisations des produits agricoles. L'objectif est désormais de « Nourrir durablement le Monde ».

En 2015, cet organisme de recherche de rang mondial compte 8165 agents titulaires dont 1815 chercheurs pour 250 unités de recherches et 48 unités expérimentales. Cette même année, il produit 4081 publications scientifiques et 114 faits scientifiques marquants. Le budget de l'institut s'élève à 881,57 millions d'euros (77% du ministère chargé de la recherche, 20% de crédits publics).

b) L'Unité de Recherche AgroSystèmes TErritoires et Ressources

L'UR ASTER-Mirecourt est une Unité de Recherche (UR) dotée d'une Installation Expérimentale (IE) : elle se situe à Mirecourt (88500) dans le département des Vosges en région Grand Est. Cette unité fait partie du département de recherches Sciences pour l'Action et le Développement (SAD) de l'INRA. Elle est administrativement rattachée au centre INRA Grand Est-Nancy.

La thématique centrale de l'UR est organisée autour d'un triptyque : activités agricoles, territoires et environnement, dans le cadre d'un projet initié en 2004. Elle a pour missions de :

- Produire des connaissances scientifiques et des méthodes sur l'innovation et les dynamiques de changement en agriculture dans les territoires ruraux
- Développer des instruments mis à la disposition de communautés scientifiques (notamment sur l'Installation Expérimentale)
- Produire des connaissances opérationnelles et des outils pour guider l'action dans le cadre de partenariats diversifiés avec des agriculteurs, des acteurs des milieux agricoles et ruraux (organismes de développement agricole, gestionnaires de ressources naturelles) et des pouvoirs publics (ministères, collectivités territoriales).

Le projet scientifique de l'unité est de comprendre les dynamiques de changements des systèmes techniques agricoles dans les territoires pour accompagner les transitions des systèmes vers une meilleure prise en compte des ressources territoriales. Cette question est déclinée en trois volets :

- Volet 1 : *modéliser le changement d'usage des terres dans les territoires* et ce en répondant à deux questions, comment comprendre et expliquer les systèmes dynamiques issus du couplage humain-environnement qui génèrent les changements d'usage des terres ? et quelles améliorations des modèles spatialement explicites de changements d'usage des terres ?
- Volet 2 : *Analyser et accompagner les transformations des systèmes sociotechniques* et ce via une compréhension des impacts des systèmes agricoles sur les ressources d'intérêts, une analyse des Aires d'Alimentation de Captage en eau, un développement de démarches de modélisation d'accompagnement, une élaboration de scénarios prospectifs spatialisés de l'évolution de territoires à enjeux et un développement de dispositifs de partage d'informations entre acteurs hétérogènes sur des territoires locaux
- Volet 3 : *Concevoir et évaluer pas à pas des systèmes de polyculture élevage laitiers présumés durables au sein d'un territoire*. Ces recherches combinent sciences biotechniques (agronomie, zootechnie et écologie) et sciences humaines (sociologie, ergonomie et science de l'éducation). Ce volet est conduit sur le postulat que les systèmes de production agricoles autonomes sont durables. C'est dans ce volet que s'inscrivent les travaux de recherche conduit sur l'IE de Mirecourt.

L'unité est composée de 30 agents titulaires INRA et accueille chaque année des doctorants, post-doctorants, ingénieurs contractuels et des stagiaires. L'équipe de l'unité associe sciences agronomiques, sciences sociales et sciences informatiques.

c) Problématique de recherche durant le stage

Mon travail de stage prend place dans le volet 3 de l'unité (figure 1) : il contribue à l'évaluation des systèmes économes et autonomes testés sur l'IE depuis 2004.

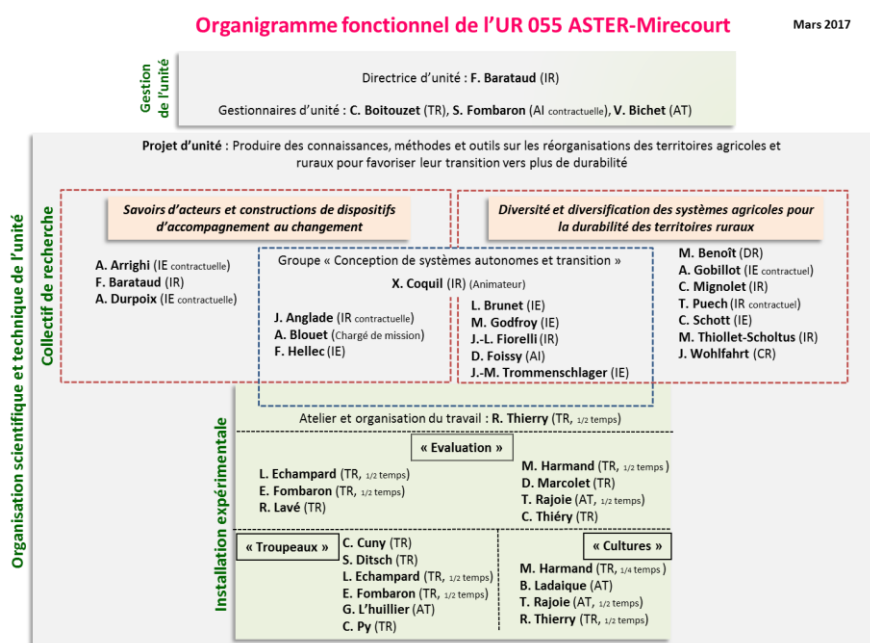


Figure 1 : Organigramme Fonctionnel de l'UR ASTER-Mirecourt, Mars 2017. Ici IE signifie Ingénieur d'Etudes.

Mon stage s'inscrit dans un projet de recherche financé par le programme INRA AGRIBIO 4, qui soutient les projets de recherche relatifs à l'agriculture biologique dans l'institut. Ce projet, qui est programmé de 2015 à 2019, s'intitule ENSEMBLE, pour EvaluationN pour l'action de SystEMes agricoles en agriculture BioLogique. ENSEMBLE est porté par l'UR ASTER de Mirecourt. Son but est d'évaluer les performances et l'élaboration des performances des systèmes de polyculture-élevage autonomes, économes et sous certificat AB testés sur l'installation expérimentale de l'INRA ASTER-Mirecourt. Dans le cadre de ce projet, un dispositif d'interaction entre chercheurs et utilisateurs potentiels des résultats de la recherche (agriculteurs, conseillers, enseignants...) vise à tester la pertinence des connaissances scientifiques produites sur ces systèmes pour accompagner l'action des agriculteurs évoluant vers l'autonomie et l'économie en intrant (Jean-Louis Fiorelli, 2015). Les questions travaillées dans ce projet se résument comme suit : comment les performances agricoles, environnementales, économiques et sociales des systèmes autonomes et biologiques conçus depuis 2004 ont-elles été élaborées sur le plan biologique et sur le plan des pratiques agricoles ? Comment ont-elles évolué au cours de la transition vers l'autonomie ? Comment travailler ces questions dans l'optique de rendre les connaissances produites accessibles à des utilisateurs potentiels ?

Mon travail de stage s'intéresse à l'élaboration des performances agronomiques appliquée aux grandes cultures durant 9 campagnes culturales sur le dispositif expérimental de l'INRA ASTER-Mirecourt. Il vise à construire une méthode d'analyse des facteurs influençant l'élaboration des rendements des céréales dans le système de polyculture élevage biologique testé sur l'IE selon deux objectifs : (i) mettre au point une méthode d'analyse de certains facteurs d'élaboration du rendement des céréales ; (ii) tester cette méthode sur la culture du blé d'hiver meunier, culture la plus fréquente parmi les cultures annuelles pratiquées sur le dispositif expérimental.

II. Elaboration du rendement des blés meuniers dans un système de polyculture élevage autonome sous certificat agriculture biologique

Dans cette seconde partie, nous présentons la démarche scientifique mise en place afin de mener l'analyse des performances agronomiques des grandes cultures attendue durant le stage. Ainsi, nous introduisons dans un premier temps la problématique de stage et la déclinons en questions. Puis, nous présentons le matériel et les méthodes mobilisés pour mener l'étude, qui sont suivis des principaux résultats. Enfin, nous discutons ces résultats au regard des interprétations agronomiques et au regard de la littérature.

a) Comment analyser l'élaboration du rendement des céréales en agriculture biologique

L'évaluation des systèmes de production mise en place est de trois ordres (Coquil et al., 2009a) : une évaluation globale, une évaluation agronomique et des essais analytiques. L'évaluation globale vise à rendre compte de la capacité des systèmes de production à réaliser les objectifs assignés. L'évaluation agronomique vise à évaluer l'élaboration des performances des systèmes de production. Les essais analytiques peuvent être mis en place ponctuellement afin de tester la réponse d'un système à la variation d'un facteur.

Dans ce travail, nous nous concentrons sur l'élaboration des performances des systèmes. Cette évaluation a été conçue à partir du principe de l'écologie de production (Van Ittersum et Rabbinge, 1997) appliquée aux troupeaux et aux champs cultivés. Ainsi, Van Ittersum et Rabbinge (1997) proposent de distinguer 3 niveaux de production : la production potentielle, la production limitée et la production réduite. La production potentielle renvoie à l'optimum de production à partir du matériel biologique mis en place (espèce, variété...) et le climat dans lequel ce matériel est installé. La production limitée renvoie à la disponibilité en nutriments et en eau (cette production est inférieure à la production potentielle) et la production réduite renvoie à la réduction de la production en raison des

facteurs abiotiques (pollution) et biotiques (adventices, maladies et ravageurs) limitant les performances. Ainsi, l'évaluation vise à quantifier l'impact des facteurs limitants et réducteurs sur l'élaboration des performances.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'évaluation de l'élaboration des performances des systèmes de culture. De nombreux facteurs ont une potentielle influence sur la production potentielle, la production limitée et, finalement, la production réduite : ainsi, quels sont les facteurs explicatifs de l'élaboration des rendements (grain et paille) des cultures annuelles dans le système de polyculture élevage laitier autonome et économe de l'IE de Mirecourt ?

Nous nous concentrons, dans un premier temps, sur un facteur réducteur important (Jolain et al, 2010) : la concurrence adventice. Ainsi, la question posée est : quels sont les effets de la flore adventice présente sur les rendements des cultures ? Nous proposons, dans le cadre de ce stage, de resserrer cette question sur les performances des blés meuniers cultivés entre 2008 et 2016 afin de conduire l'étude à son terme sur la durée du stage. Ainsi la question posée devient : quels sont les effets de la flore adventice présente sur les rendements des blés meuniers ?

Pour aborder cette question, il convient de passer des données relevées pour mesurer la flore adventice présente, à des indicateurs de cette flore adventice dans les parcelles permettant de tester, statistiquement, le lien entre flore adventice et rendement des cultures. Ce travail de structuration des données est réalisé sur l'ensemble des parcelles de cultures et sera réduit aux cultures de blé meunier dans un second temps. Ainsi, une question d'ordre méthodologique est posée : comment structurer les données adventices relevées afin de les mobiliser comme des facteurs explicatifs de l'élaboration du rendement des grandes cultures ?

b) Matériel et méthodes

1. Matériel

Ce travail est mené à partir des données recueillies de 2008 à 2016 sur les parcelles de grandes cultures du Système de Polyculture-élevage laitier (SPCE) économe et autonome, sous certificat AB, testé sur l'IE de l'INRA ASTER-Mirecourt. Dans un premier temps, nous présentons ce système testé, les modalités de collecte de données sur les grandes cultures et l'archivage de ces données dans une Base de Données dénommée ASTER-ix. Dans un second temps, nous présentons les méthodes utilisées pour traiter ces données, qui sont constituées de méthodes d'analyse de données statistiques et de recueil d'expertise auprès de spécialistes du sujet.

i. Le SPCE de l'INRA ASTER-Mirecourt

L'IE de Mirecourt se situe dans la petite région agricole dite du Plateau Lorrain Sud dans l'Ouest des Vosges à 300 m d'altitude. Le sol est constitué principalement d'argiles et de limons issus d'une roche mère calcaire qui forme les plateaux. L'ensoleillement compte en moyenne 1500 heures par an et les précipitations sont en moyenne de 850 mm par an.

Le Système de PolyCulture Elevage (SPCE) de l'unité ASTER a été mis en place en 2004 lors de la conversion en Agriculture Biologique (AB) de l'IE de Mirecourt. Ce passage en AB avait pour but de travailler sur une agriculture pensée à partir des potentialités du milieu naturel : les systèmes agricoles testés sont conduits selon une logique d'autonomie et de très forte économie en intrants. Deux systèmes de production ont été conçus : le système de polyculture-élevage et le système herbager (SH). Les deux systèmes ont été conçus afin de valoriser des parcelles de potentialités contrastées et fonctionnent de manière complémentaire. Le partage du parcellaire (figure 2) a été réfléchi en fonction des potentialités agronomiques et logistiques du parcellaire : les parcelles les plus « productives », soit avec un sol argilo-limoneux, sont incluses au SPCE, soit 110ha de cultures et 50ha de prairies permanentes (PP) ; les parcelles ayant un sol trop argileux et hydromorphe, mais aussi dans un rayon de 2km de la salle de traite, sont en PP pour le SH, soit 80ha de PP. Le SH vise une gestion de la saisonnalité des besoins alimentaires des vaches laitières afin de maximiser le pâturage. Le SPCE vise, quant à lui, une gestion de l'articulation entre deux ateliers, polyculture et élevage laitier, afin de boucler au mieux le cycle des éléments (Coquil et al, 2009b). Les troupeaux des 2 systèmes sont composés de Prim'Holstein et de Montbéliardes : pour permettre une production constante de lait durant l'année tout en groupant les vêlages sur chaque système, les périodes de reproduction des 2 systèmes sont décalées de 6 mois : les 37 vaches laitières (VL) du SH et leur renouvellement vêlent entre janvier et août afin de produire du lait durant la période printemps/été ; les 60 VL du SPCE et leur renouvellement mettent bas entre août et octobre pour produire du lait en automne/hiver. Les deux systèmes entretiennent une relation d'échange : le SH apporte fumier et lisier aux cultures du SPCE et ce dernier apporte de la paille et des concentrés issus des cultures au SH. En outre, chaque système est autonome en fourrage.

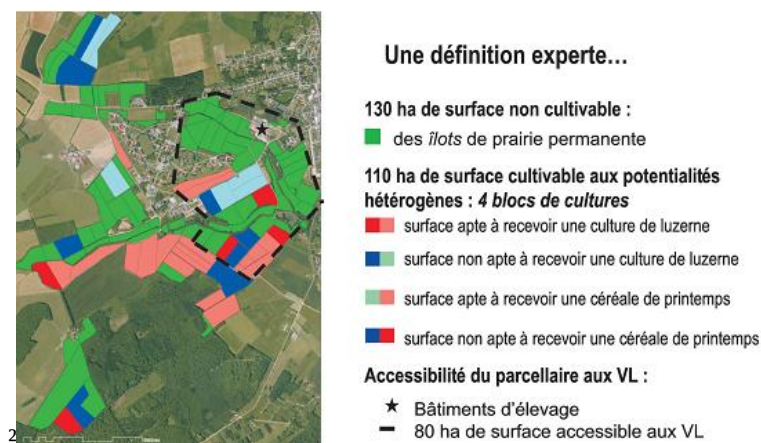


Figure 2 : Configuration de l'installation expérimentale de l'INRA de Mirecourt (240ha), à partir de la caractérisation, à dire d'experts, des potentialités agricoles des parcelles, dans le cadre de la conception de systèmes de polyculture-élevage laitiers biologiques.

L'atelier de polyculture s'articule autour de quatre systèmes de culture (figure 3) qui s'étendent sur 110 hectares :

- 6 ans avec céréales d'hiver et PT en tête de rotation, appelé 6H et couvrant de 31,2 ha ;
- 6 ans avec alternance de céréales d'hiver et de printemps et PT en tête de rotation, nommé 6P et couvrant 18,1 ha ;
- 8 ans avec céréales d'hiver et luzerne+graminée en tête de rotation (3ans), appelé 8H et couvrant 9,7 ha ;
- 8 ans avec alternance de céréales d'hiver et de printemps et luzerne+graminée en tête de rotation (3ans), nommé 8P et couvrant 47,3 ha.

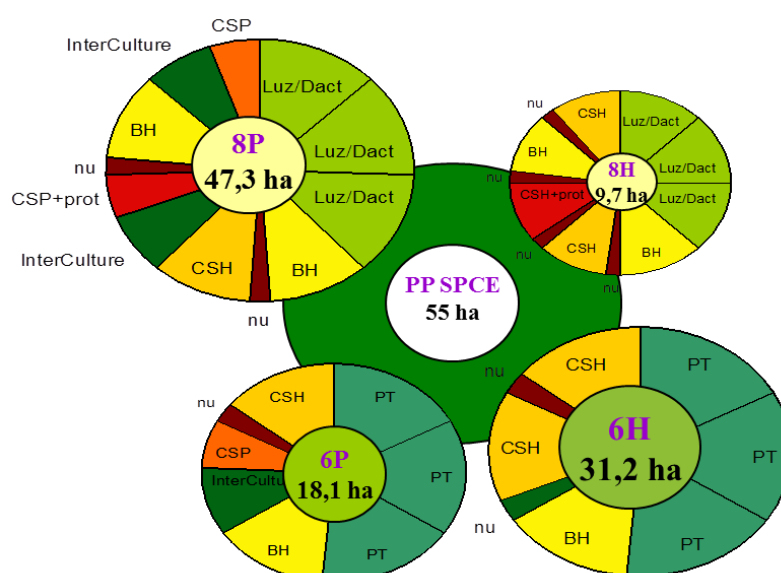


Figure 3 : Schéma des différents systèmes de culture du SPCE INRA ASTER-Mirecourt

Les rotations ont été conçues avec une tête de rotation fourragère et pluriannuelle à savoir (i) des prairies temporaires à flore complexe (mélange de graminées et de légumineuses de type trèfle et lotiers) pour les parcelles en rotation de 6 ans (parcelles peu propices à la culture de luzerne), (ii) des associations luzerne/dactyle ou luzerne/graminées pour les parcelles en rotation de 8 ans (parcelles propices à la culture de la luzerne). Ces têtes de rotation pluriannuelle permettent un apport de matière organique et d'azote (fixation symbiotique associée aux légumineuses) et permettent de rompre le cycle des adventices annuelles. Ces têtes de rotation permettent également l'épuisement de certaines adventices vivaces (ex.: chardon des champs) par les fauches répétées des prairies et luzerne.

Les cultures annuelles sont toutes composées de céréales à paille afin de permettre l'autonomie de l'IE en pailles ; les céréales secondaires servent à compléter les vaches laitières du SPCE. Les veaux des 2 systèmes reçoivent de l'épeautre. Aucun intrant, mis à part la fumure de l'élevage, n'est apporté aux surfaces (prairies et cultures).

L'IE est donc autonome et très économe : seuls une partie de semences, les sels minéraux, les traitements alternatifs pour les animaux (huiles essentielles et homéopathie) et l'énergie sont importés. Le pâturage est maximisé dans l'alimentation des animaux. L'autonomie est un principe conducteur de la conduite des systèmes : en cas de manque de fourrages ou de paille, des animaux sont réformés afin de ne pas acheter des ressources externes (par exemple un manque de paille lors de l'hiver 2006/2007 a obligé la réforme anticipée de 8 vaches laitières ainsi que 5 génisses de 24 mois (Blouet et Coquil, 2009)).

ii. Collecte des données adventices

Les données adventices proviennent de relevés effectués sur les 4 systèmes de culture du SPCE. Ces relevés sont effectués par Claire Thiery et David Marcolet, techniciens à l'UR ASTER. Ils sont réalisés sur un total de 39 zones de fertilité réparties sur les 37 parcelles du SPCE. Les zones de fertilité sont des zones délimitées de 90 mètres carrés au sein d'une parcelle, choisies pour être représentatives d'une combinaison « système de culture x type de sol ». Elles constituent le support de protocoles d'observation des populations d'adventices, de ravageurs et de maladies présents sur la parcelle. Elles comprennent 9 points de mesures dénommés CAB (figure 4). Ces 9 CAB par zone de fertilité, qui sont homogènes sur le plan de la culture implantée, de la fertilisation et des pratiques, créent des répétitions de mesures permettant une meilleure analyse des résultats par la suite.

Les relevés de populations adventices sont réalisés sur la base d'une échelle de notation faisant correspondre la densité en nombre d'individus au mètre carré avec une classification sous forme d'échelle, dénommée l'échelle de Barralis. Cette méthode provient d'études menées par Gilbert Barralis, spécialiste en malherbologie, en 1976. L'échelle Barralis ne caractérisant que les espèces présentes, nous nous sommes permis d'appliquer une majoration de plus 1 à toutes les classes, afin de pouvoir caractériser l'absence de certaines espèces par une classe 0.

En voici l'échelle modifiée :

- 0 = Absence de l'espèce
- 1 = espèce vue une fois
- 2 = moins d'1 individu/m²
- 3 = entre 1 et 3 individus/m²
- 4 = entre 3 et 20 individus/m²
- 5 = entre 20 et 50 individus/m²
- 6 = entre 50 et 500 individus/m²
- 7 = plus de 500 individus/m²

Les estimations de densité d'adventices sont effectuées 3 fois durant le cycle cultural : une première fois en post semis, une deuxième à la fermeture du couvert cultural et une troisième avant la récolte. Lors des relevés, les techniciens commencent par relever les populations adventices sur l'ensemble de la parcelle sur un total de 6 points, puis effectuent les relevés sur les 9 CAB des zones de fertilité. Dans ce travail, nous choisissons de concentrer nos analyses sur les données collectées au sein des zones de fertilité et ne prenons pas en compte les données collectées à l'échelle des parcelles dans leur ensemble.

Aujourd'hui, les relevés se font à l'aide d'une tablette numérique tactile permettant ainsi une collecte directe des données en cohérence avec la structure de la base de données ASTER-ix. Les données recueillies sur les tablettes sont ensuite validées par les techniciens avant d'être importées dans ASTER-ix via une interface client.

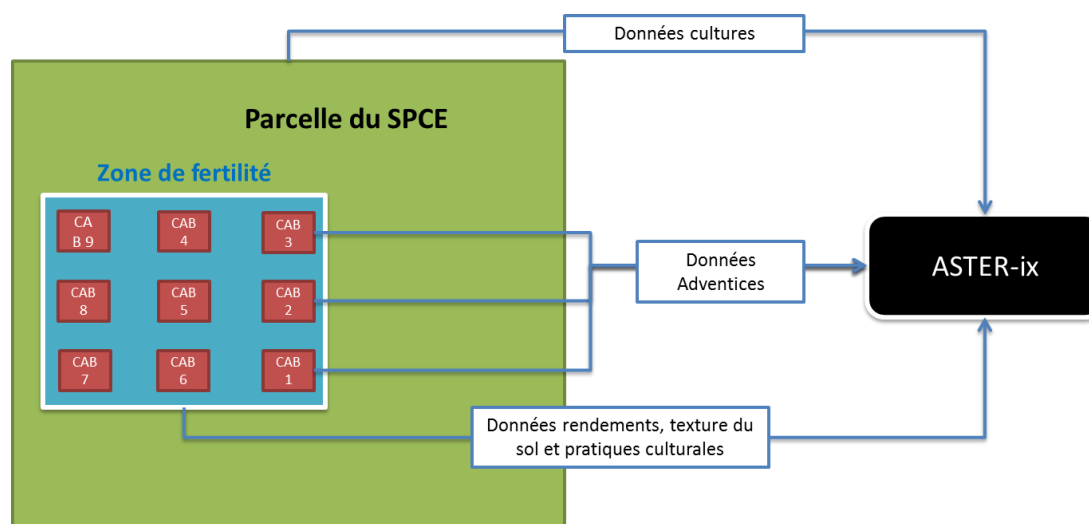


Figure 4 : Schéma de représentation de la collecte
des données

Au total, sur la période 2008 – 2016 et sur les 39 zones de fertilité, ont été dénombrées 102 espèces adventices.

iii. La base de données ASTER-ix

La mise en place de l'expérimentation système sur l'IE de l'UR ASTER-Mirecourt a entraîné une augmentation du jeu de données recueillies ainsi que la nécessité de pouvoir tracer les itinéraires techniques (ITK) au fil des années. C'est dans le but de rendre ces données accessibles informatiquement aux utilisateurs, en saisie et en extraction, que la base de données ASTER-ix (Application pour la Saisie et le Traitement des Evénements Recensés sur l'Installation eXpérimentale) a été créée par l'unité.

Cet objectif a été réalisé en deux étapes majeures :

- Organiser les données, c'est-à-dire inventorier les données disponibles, les regrouper et les structurer ;
- Les rendre accessibles aux utilisateurs en permettant la saisie et les extractions par requête SQL (Structured Query Language ou Langage structuré de requête).

Les données structurées dans la base contiennent l'ensemble des informations sur les ITK ante et post conversion AB. Grâce à ces données, nous pouvons connaître toutes les informations relatives aux flux de matières (semences, effluents...) et à la conduite des parcelles (depuis le travail du sol préparatoire au semis jusqu'à la récolte, en passant par des actions mécaniques telles qu'un désherbage...). De plus, elles nous apportent toutes les informations sur le profil d'une parcelle via la texture de son sol, son précédent. ASTER-ix contient également les données relatives aux relevés de populations d'adventices, de ravageurs et de maladies, aux relevés effectués sur les espèces cultivées, et aux rendements de produits récoltés (en grain et en paille pour les céréales).

L'ensemble de ces données permettent de conduire une évaluation des performances agronomiques des systèmes de culture, évaluation qui peut être utilisée pour guider les choix de conduite des cultures.

A ce jour, des interactions ont été permises avec d'autres bases de données présentes dans l'UR telle qu'ALADIN qui contient des informations sur les troupeaux laitiers. Le but premier d'ASTER-ix est atteint, cette base de données est devenue un élément clé permettant de tracer le fonctionnement agricole et permet une nette amélioration de l'AQR (assurance qualité en recherche) de l'unité. La base est améliorée en continu via l'ajout de nouveaux objets répondant aux besoins de l'expérimentation système (Trommschlager et al, 2010).

En collaboration avec le concepteur de la base de données, nous avons extrait de la base ASTER-ix et récupéré sous tableur Excel, l'ensemble des données nécessaires à la réalisation de l'étude :

- les données portant sur les relevés adventices effectués sur les 39 zones de fertilité de 2008 à 2016,
- les données de rendements en grain et en paille sur les 39 zones de fertilité de 2008 à 2016,
- certaines données de pratiques agricoles (système de culture, précédent cultural, pratique du labour) relevées à la parcelle et affectable aux zones de fertilité.

2. Méthodes

i. Méthodes d'analyses statistiques

Lors de ce projet, nous avons utilisé plusieurs méthodes d'analyses statistiques qui nous ont permis d'orienter notre démarche méthodologique mais aussi notre raisonnement statistique et agronomique. Ces méthodes, qui relèvent des analyses statistiques multivariées, sont au nombre de 4 : l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Leur mise en œuvre a été précédée d'analyses statistiques univariées simples.

La mise en place des analyses multivariées a été réalisée sous le logiciel R, à partir de la librairie FactomineR (Lê et al, 2008).

a. Analyses statistiques simples

Le travail de tri des données m'a permis de mobiliser des méthodes d'analyses statistiques simples telles que le calcul de moyennes, d'écarts types et de fréquences, mais aussi la mise en forme des données via l'utilisation d'histogrammes. La mise en forme des données de rendements via leur distribution par centile m'a permis de pouvoir élaborer des classes de valeurs.

b. L'Analyse en Composantes Principales

L'ACP ou Analyse en Composantes Principales est une des techniques les plus classiques de la statistique multivariée. Son but est d'extraire le maximum d'information sous une forme simple et cohérente à partir d'un ensemble très important de données et de mettre en évidence les interrelations entre les variables et les ressemblances et oppositions entre les unités agronomiques analysées. Ses résultats se présentent sous forme de composantes, qui sont des combinaisons linéaires de variables différenciant au maximum les individus statistiques analysés. Dans l'interprétation des adventices, cela correspond à une association des adventices, jouant ici le rôle de variable, conceptuellement liées qui classent les différentes espèces de manière comparable (Sanders, 1989).

L'ACP est une technique qui ne s'applique qu'aux variables quantitatives, qui s'expriment soit dans une même unité de mesure soit dans des unités différentes. Chaque individu doit être unique afin qu'une correspondance (X) individu (i) x variable (j) ne soit représentée qu'une seule fois sous la forme X_{ij} .

L'ACP sert de fondement théorique aux autres méthodes de statistique multidimensionnelle dites factorielles qui en apparaissent comme des cas particuliers (Besse, 2016).

c. L'Analyse Factorielle des Correspondances

L'AFC ou Analyse Factorielle des Correspondances a les mêmes buts qu'une ACP, c'est-à-dire la hiérarchisation de l'information contenue dans un tableau de données par le calcul de l'allongement successifs des nuages de points (Sanders, 1989).

Cependant, il existe des différences fondamentales à ne pas négliger :

- Sur la façon de construire le nuage de point,
- Dans la manière de mesurer et d'interpréter les proximités entre les individus et les variables,
- Les variables doivent être qualitatives,
- La formation d'un tableau de contingence est obligatoire.

L'AFC permet une compréhension plus facile des relations entre individus et variables, mais utilisant un tableau de contingence nous ne pouvons pas mettre en relation plus de deux variables.

d. L'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples

L'AFCM ou Analyse Factorielle des Correspondance Multiples permet le même travail que l'AFC mais pour un plus grand nombre de variables. C'est donc une méthode factorielle de réduction de dimension pour l'exploration statistique de données qualitatives complexes. Cette méthode est une généralisation de l'AFC, permettant de décrire les relations entre p ($p > 2$) variables qualitatives simultanément observées sur n individus. Elle est aussi souvent utilisée pour la construction de scores comme préalable à une méthode de classification nécessitant des données quantitatives (Besse, 2016).

e. La Classification Ascendante Hiérarchique

La CAH ou Classification Ascendante Hiérarchique est une méthode d'analyse des données complémentaire aux trois méthodes précédentes. Alors que les trois premières mettent en évidence des structures dans un tableau initial des données, la CAH permet un regroupement des individus selon leur proximité (quantifiée à partir du tableau de données initiales quand celles-ci sont quantitatives ou à partir des coordonnées des individus sur les axes factoriels d'une ACP ou d'une AFCM) (Sanders, 1989).

Les individus analysés sont regroupés de manière itérative selon leur degré de ressemblance (méthode de Ward, Ward, 1963) jusqu'à l'obtention d'une unique classe. Lors de l'utilisation de logiciels de statistiques tels que le logiciel R, des indicateurs permettent de définir un nombre optimal de clusters au regard de leur distribution sur les axes utilisés pour la classification.

ii. Conduite de réunions et d'entretiens

Lors de mon stage, j'ai eu l'occasion d'organiser et d'animer des réunions et des entretiens afin de faire avancer mon travail.

J'ai pu organiser plusieurs entretiens avec l'équipe technique de l'UR INRA ASTER-Mirecourt. Ces entretiens m'ont permis de comprendre les réalités opérationnelles de l'IE et de m'appuyer sur des expertises et compétences présentes dans mon collectif de travail pour réaliser certains choix méthodologiques, et ce via :

- une visite du parcellaire avec **Matthieu Godfroy**, Ingénieur d'Etudes attaché à l'IE. Cette visite m'a permis de visualiser à mon arrivée les différentes parcelles, de discuter des différents types de sol et des différentes pratiques culturales.
- Un entretien à but explicatif sur les systèmes de cultures du SPCE avec **Jean-Louis Fiorelli**, Ingénieur de Recherche.
- Un entretien avec **Jean-Marie Trommenschlager**, Ingénieur d'Etudes, qui m'a permis de comprendre la base de données ASTER-ix.
- Un travail sur le terrain avec **Claire Thiery**, Technicienne de Recherche en production végétale attachée aux relevés sur l'atelier de polyculture. Ce travail m'a permis de mieux comprendre la genèse des données adventices présentes sur la base de données.
- Un entretien avec **Claire Thiery** qui m'a permis de trier les espèces adventices
- Plusieurs entretiens avec **Xavier Coquil**, Ingénieur de Recherche et maître de stage, ayant pour but de résoudre certaines questions sur mon avancée
- Plusieurs entretiens avec **Thomas Puech**, Ingénieur de Recherche, ayant pour but de travailler sur les données et de résoudre des problèmes de script sur R.

L'organisation et l'animation des comités de pilotage faisaient également partie de mon travail. Ils se déroulaient une fois par semaine permettant de présenter l'avancée de mon travail et de me permettre d'exprimer mes problèmes et questionnements issus de mon travail. L'équipe de pilotage était constituée de :

- **Xavier Coquil**, Ingénieur de Recherche, docteur en agronomie/ergonomie (thèse : Comprendre et formaliser le rôle des apprentissages dans les évolutions systémiques : le cas des systèmes de polyculture élevage en quête d'autonomie.) et maître de stage principal.
- **Catherine Mignolet**, Ingénieur de Recherche, docteur en agronomie (thèse : Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement), maître de stage secondaire et appui de connaissances sur les analyses statistiques.
- **Thomas Puech**, Ingénieur de Recherche, appui technique et de connaissances sur les analyses statistiques.
- **Jean-Marie Trommenschlager**, Ingénieur d'Etudes, appui sur l'utilisation de la base de données.
- **Claire Thiery**, technicienne de Recherche, appui technique et de connaissances sur les adventices.

Chaque résultat marquant l'avancée du projet a été justifié via un rapport écrit et une présentation orale devant le comité de pilotage.

c) Résultats

Pour rappel, l'objectif de ce stage est de proposer (i) une méthode d'analyse et de caractérisation de la structuration des adventices sur l'IE afin de mobiliser ces données comme facteur explicatif des performances des cultures (Annexe 1) et (ii) des facteurs explicatifs des rendements des cultures annuelles sur le cas du blé tendre d'hiver (Annexe 2).

1. Structuration du facteur explicatif : Données adventices

Le début de mon travail a été axé sur la structuration des données adventices. Les données ont été extraites de la base de données ASTER-ix suite à un premier comité de pilotage entre les différents membres de l'équipe. Ces données initiales sont composées de 9 477 individus (qui correspondent à 9 CAB x 39 zones de fertilité x 3 périodes de mesure x 9 ans) : l'individu est un CAB caractérisé par un ensemble d'espèces adventices, chacune d'elles étant caractérisée par une note Barralis à une date donnée. Sur ces 9 477 CAB, 102 espèces adventices ont été observées. Vous retrouverez une illustration du tableau des données initiales en annexe (Annexe 3).

Nous avons réalisé tout d'abord une première ACP sur ces données initiales structurées en un tableau qui croise en lignes les individus (9 477 CAB) et en colonnes les variables (102 espèces adventices). Au croisement des deux figure la classe Barralis à laquelle l'espèce adventice a été mesurée pour ce CAB à une date donnée. L'objectif de cette ACP est rechercher d'une part une éventuelle structuration des adventices et de leurs caractéristiques de densité (synergies – antagonismes) et d'autre part de repérer des groupes de CAB caractérisés par des combinaisons d'adventices proches.

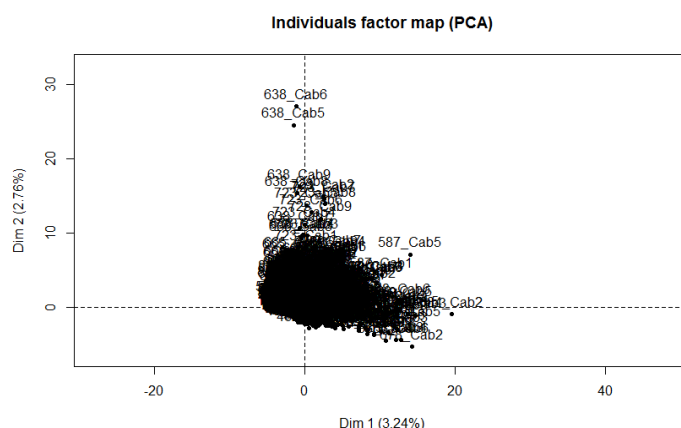


Figure 5 : présentation graphique en format R de la première ACP : projection des individus sur les axes 1 et 2

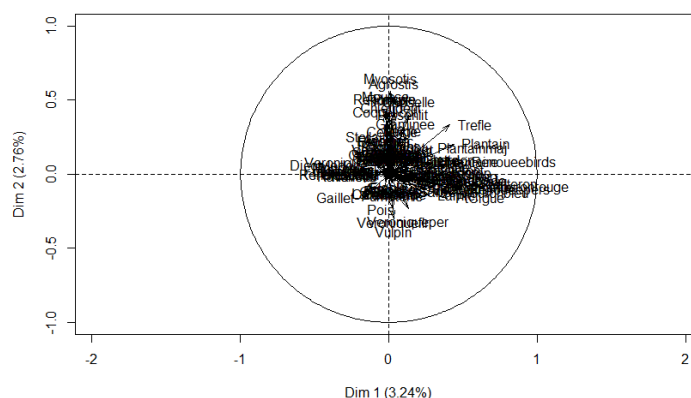


Figure 6 : Représentations format R de la première ACP : Projection des variables sur les axes 1 et 2

Les résultats de cette première ACP montrent (i) que les individus (figure 5) et les variables (figure 6) de l'ACP sont groupés au centre des graphiques : cela ne nous permet pas de mettre en avant une structuration des populations d'adventices tant sur le point des individus que sur les variables d'adventices présentes. Le cumul des pourcentages d'inertie des deux premiers axes (Figures 5 et 6) est égal à 6%. Or de manière usuelle, nous considérons que les résultats d'une ACP sont corrects et robustes lorsque le cumul d'inertie des deux premiers axes est supérieur à 60-70%.

Globalement, les résultats de cette ACP montrent qu'aucune structuration des adventices ne peut être établie à partir des données initiales prises dans leur totalité et qu'une démarche de restructuration / tri des adventices est nécessaire pour une valorisation ultérieure.

i. Réduction de la dispersion des variables : élimination des adventices non explicatives du rendement, des adventices peu présentes et regroupement des espèces par classes pertinentes

Dans un premier temps, nous avons décidé de retirer les espèces adventices présentes de manière trop homogène dans les zones de fertilité car elles ne peuvent pas être explicatives de variations de rendements. L'homogénéité des pressions adventices ne permet pas de discriminer les éventuels effets de ces adventices sur les populations de céréales. Toutefois, ce choix est discutable sur le plan agronomique : une adventice toujours densément présente (classes Barralis 6 et 7), avec de potentiels forts effets dépressifs sur les performances des cultures, se trouve écartée de l'analyse. Toutes les espèces adventices dont les densités de présence se concentrent dans 1 à 2 classes de l'échelle Barralis ont été écartées (figure 7). Ceci nous conduit à écarter 25 espèces non explicatives de l'analyse.

Dans un second temps, nous avons analysé, via des statistiques descriptives, les espèces adventices présentes aux 3 périodes de mesures à savoir à l'entrée d'hiver, à la fermeture du couvert et avant la récolte. Cette analyse a révélé des espèces adventices dont la densité diminuait fortement entre l'entrée en hiver et la fermeture du couvert : après avoir écarté des diminutions par effets des désherbages mécaniques, nous avons fait appel à l'expertise de Claire Thiery, technicienne en charge de la prise de mesure adventice. Elle explique ces diminutions de densité de certaines espèces adventices entre les 2 prises de mesure par des erreurs potentielles de détermination des espèces à l'entrée de l'hiver (de nombreuses adventices sont au stade plantule) : le comité de pilotage a alors décidé de conserver les individus statistiques recueillis sur la période fermeture du couvert uniquement. Ainsi, nous avons écarté 6 318 individus et il nous reste 3 159 individus statistiques à l'issue de cette phase de tri. En écartant ces individus, nous avons été amenés à écarter à nouveau des adventices qui étaient peu présentes ou présentes de manière très homogène au stade de fermeture du couvert : 43 espèces adventices ont ainsi été écartées, ce qui monte le nombre de variables restantes à 39.

Nous avons vérifié la structuration de ces 3 159 individus restants au regard des 39 espèces adventices par une nouvelle ACP (résultats non présentés). L'ACP n'étant toujours pas satisfaisante, nous avons décidé de réaliser un regroupement des espèces adventices observées dans les CAB restants. Nous avons fait appel à deux experts en malherbologie que sont Claire Thiery, technicienne à l'UR INRA ASTER-Mirecourt, et Etienne Gaujour, docteur en agronomie et en écologie fonctionnelle. Leur expertise sur la botanique des espèces et sur leur nuisibilité sur le développement des espèces cultivées nous a permis de supprimer certaines espèces adventices et d'en regrouper d'autres. Ainsi, les 39 espèces observées sur les 3 159 CAB ont été regroupées en 12 groupes

d'adventices (Annexe 4). Afin d'affecter ces groupes d'adventices à chaque CAB, nous avons retenu la classe Barralis maximum obtenue par une des espèces adventices du groupe pour le CAB à une année de mesure donnée. Cette méthode de regroupement réduit la densité des adventices présentes dans la mesure où l'on limite la présence à la densité maximum d'une adventice présente par groupe d'adventices. (Annexe 5).

La réalisation d'une ACP (résultats non présentés) sur les 3 159 CAB et les 12 groupes d'adventices caractérisés par une note Barralis ne nous a nouveau pas permis de définir une structuration des données.

Nous avons alors décidé de mieux comprendre la structuration de nos données en analysant les relations entre les 12 groupes d'adventices et leur distribution dans les 8 classes Barralis au sein de notre population de 3 159 CAB. Pour cela, nous avons réalisé une AFC sur le tableau de contingence qui représente le nombre de CAB pour lesquels un groupe d'adventices donné est observé avec une classe Barralis donnée. Cette AFC s'est révélée satisfaisante et concluante (Figure 7).

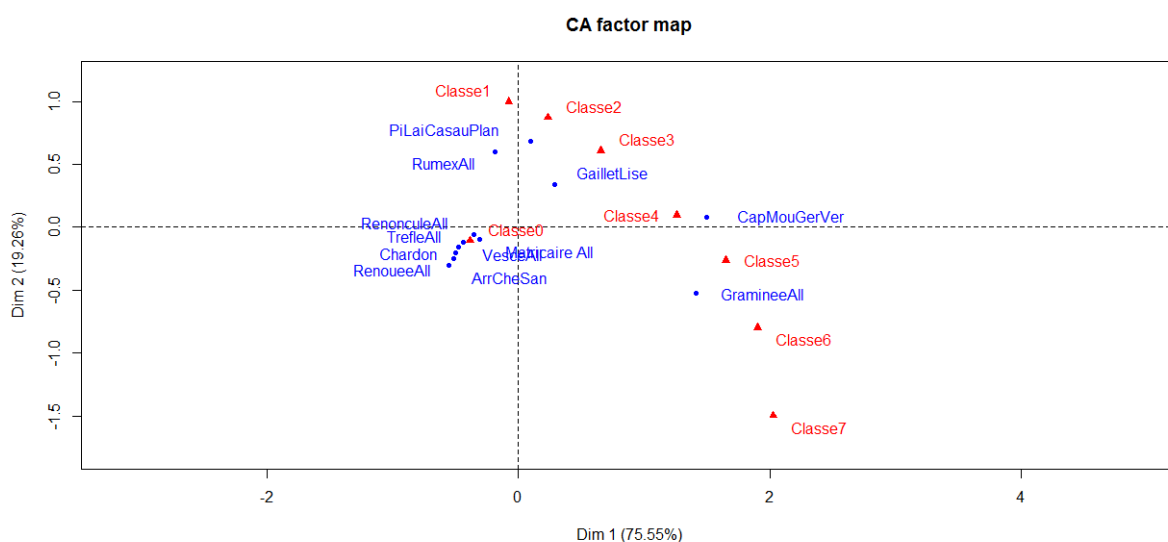


Figure 7 : AFC entre classes Barralis et groupes adventices, représentation format R

Tout d'abord, les explications et observations issues de cette analyse sont considérées comme robustes puisque le cumul des pourcentages d'inertie est égal à 94%. Nous remarquons un lien entre les classes Barralis. Une majorité d'adventices sont liées de façon importante à la classe 0, ces adventices sont généralement absentes dans les parcelles du SPCE ; malheureusement, nous ne pouvons conclure à ce stade sur leur concurrence avec les cultures en place. Par exemple, le Rumex qui est situé entre les classes 0 et 1, donc peu présent en termes de densité, a pourtant une concurrence importante avec la culture due à une racine pivotante importante (concurrence eau et nutriment) et à une grande couverture du sol grâce à ses feuilles. Nous trouvons un groupe très représenté qui est les Graminées, ce groupe adventice est généralisé et en forte densité. Cette AFC est limitée puisqu'elle ne nous permet pas de conclure sur la concurrence des adventices.

ii. Agrégation des CAB par zone de fertilité et concentration sur le Blé meunier d'hiver

Suite au tri des espèces adventices, nous avons décidé de préparer les données aux analyses visant à établir des liens avec les rendements des cultures annuelles du SPCE. Nous avons donc extrait les données de rendements en grain et en paille des différentes céréales cultivées sur les quatre systèmes de culture du SPCE. Ces données rendements sont attribuées aux zones de fertilité : chaque donnée de rendement est alors affectée à 9 CAB. L'unicité des individus statistiques des adventices n'étant plus respectée, il est apparu nécessaire de regrouper les 9 CAB d'une même zone de fertilité afin de créer, pour les adventices, des individus statistiques à l'échelle de la zone de fertilité. Pour chaque groupe d'adventices, la classe Barralis retenue est la classe la plus représentée parmi les 9 CAB de la zone de fertilité. Ce regroupement des données sous un seul individu s'est fait via la réalisation d'une macro Visual Basic Analysis (VBA). (Annexe 6).

L'objectif de mon stage est de proposer une méthode de caractérisation des facteurs explicatifs des rendements des cultures annuelles. Les rendements de deux cultures différentes peuvent difficilement être comparés à partir de leur valeur absolue. Deux rendements égaux de deux espèces différentes ne peuvent être comparés en termes de valeurs agronomiques : un rendement de Blé d'hiver peut par exemple difficilement être comparé au rendement d'un mélange céréales-protéagineux. Ainsi, il apparaît nécessaire de caractériser les facteurs explicatifs des variations de rendement au sein d'une même culture.

Nous avons choisi d'orienter la suite du travail sur la culture du Blé d'hiver, culture la plus représentée dans l'atelier polyculture du SPCE (Figure 8). Un simple tri des données nous a permis d'isoler les zones de fertilité concernées par le blé d'hiver sur la période d'analyse, soit 65 zones de fertilité.

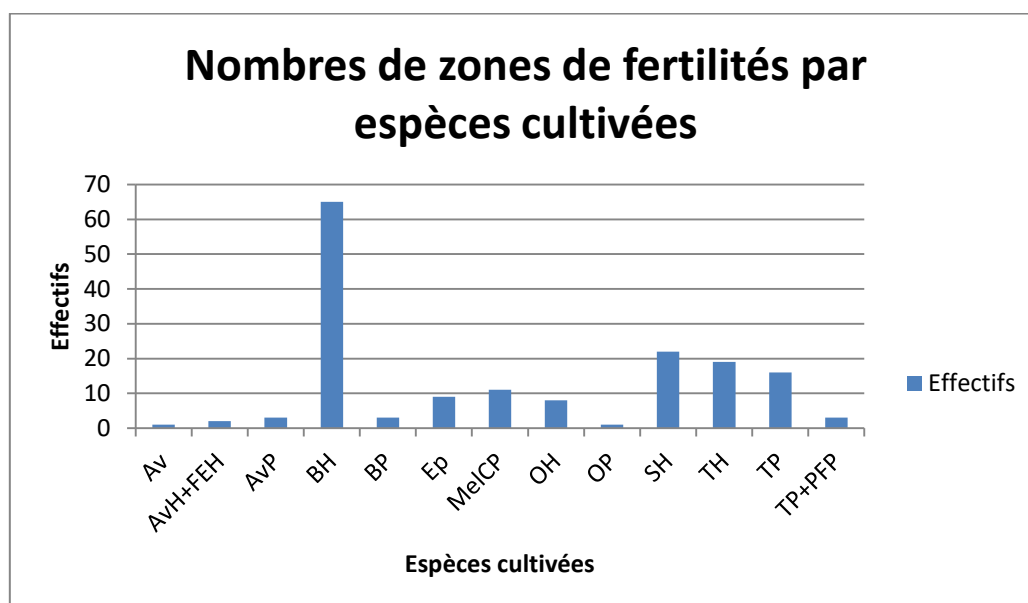


Figure 8 : Histogramme des effectifs de zones de fertilité par espèce cultivée toutes années confondues

iii. Caractériser la flore adventice des 74 zones de fertilité en blé tendre d'hiver

Chaque zone de fertilité cultivée en blé tendre d'hiver entre 2008 et 2016 est caractérisée par une combinaison de groupes d'adventices représentés par une classe Barralis. Pour mettre en relation ces combinaisons de groupes d'adventices avec le rendement du blé, nous avons choisi de construire une typologie des zones de fertilité selon les combinaisons de groupes d'adventices qui y ont été relevées sur les 9 années étudiées. Pour cela, nous avons effectué une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur le tableau qui croise en lignes les 74 zones de fertilité et en colonnes les 12 groupes d'adventices représentés par leur classe Barralis. Le résultat de la CAH est l'identification de clusters qui regroupent des zones de fertilité proches en termes de combinaison et de densité de groupes d'adventices. Ces clusters représentent des types de flore observés sur des groupes homogènes de zones de fertilité.

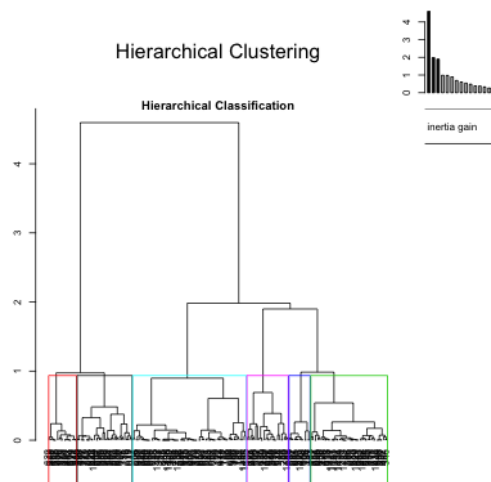


Figure 9 : Dendrogramme issu de la CAH sur les classes Barralis des 12 groupes adventices

La procédure utilisée sous R propose de retenir 3 clusters de combinaisons de groupes d'adventices. Après discussion avec l'équipe, nous avons retenu qu'une caractérisation de la flore adventice en 3 clusters semblait très réductrice au regard de la diversité observée. Compte tenu du dendrogramme et en particulier du graphique de gain d'inertie (figure 9), nous avons choisi de décrire la flore adventice sur la base de 6 combinaisons des groupes d'adventices :

- Cluster 1 : forte présence du groupe Gaillet-Liseron et des Renoncles
- Cluster 2 : absence de Graminées.
- Cluster 3 : forte présence du groupe Gaillet-Liseron et présence significative des groupes Graminées, Capselle-Mourons-Géraniums-Véroniques et Arroche-Chénopode-Sanve.
- Cluster 4 : présence du groupe Graminées et absence du groupe Capselle-Mourons-Géraniums-Véroniques
- Cluster 5 : très forte présence du groupe Matricaire, présence des groupes Renouées et Trèfles et présence significatives des groupes Chardons, Graminées, Rumex et Vescs.
- Cluster 6 : présence des groupes Graminées et Capselle-Mourons-Géraniums-Véroniques.

Nous sommes alors en mesure de caractériser le type de flore de chaque zone de fertilité sur la base de ces 6 clusters. Par exemple, les individus du cluster 2 ne présenteront pas ou très peu d'adventices du groupe Graminées.

3. Caractérisation des facteurs explicatifs des rendements en blé d'hiver sur le SPCE de l'IE INRA ASTER-Mirecourt

Pour caractériser les facteurs d'élaboration des rendements (en grain et en paille) du blé tendre, plusieurs méthodes sont disponibles. J'ai d'abord étudié la faisabilité de méthodes d'analyse de variance (type ANOVA). Or l'ANOVA nécessite certaines conditions (échantillons indépendants, la variable quantitative suit une loi normale, homogénéité des variances) non valides dans le cadre du jeu de données proposé (homogénéité des variances). Le jeu de données n'est, de plus, pas compatible pour la mise en place de tests non paramétriques (toutes les situations de combinaisons de variables ne s'observent pas sur le jeu de données de l'IE).

Nous avons choisi de réaliser des analyses factorielles multivariées sur la base de variables qualitatives supposées intervenir dans l'élaboration du rendement. Ce choix a été réalisé en concertation avec les différents membres du comité de pilotage :

- Type de flore, caractérisé par les 6 groupes de combinaisons d'adventices : le type de flore réunit les espèces adventices retenues afin de permettre une explication des rendements via la densité et la diversité de populations adventices.
- Le système de culture (SDC) : il est caractérisé par les 4 systèmes de culture définis dans le matériel. Il apporte des informations à l'échelle de l'ensemble de la rotation culturale.
- La texture du sol, caractérisée par plusieurs textures de combinaisons argileuses et limoneuses, permet d'apporter une information sur le type de sol.
- L'année culturale, caractérisée par les 9 années culturales de notre jeu de données : elle apporte des informations sur l'effet année comme par exemple le climat (année humide ou sèche).
- Le précédent cultural : il permet de caractériser les rendements selon la culture en place avant un blé d'hiver (prairies, céréales, protéagineux). Cette variable est complémentaire du système de culture (SDC).
- Le travail du sol, caractérisé par le type de labour (avec ou sans rasette¹) ou le non labour.

¹ La rasette est un petit soc et un petit versoir placés en amont de la charrue. La présence de rasette permet d'enfouir au fond du sillon de labour la partie la plus superficielle du sol (résidus de culture, fumier...).

Les deux variables de rendement utilisées sont mises en classe de manière à être intégrées en tant que variables supplémentaires dans l'AFCM :

- Rendement Grain, exprimé en quintaux de Matière Sèche par hectare (qtxMS/ha²). Ces données sont réparties en 3 classes via l'utilisation des 33^{ème} et 67^{ème} percentiles (figure 11).
- Rendement Paille, exprimé en tonnes par hectares (t/ha). Les classes sont également définies à partir des 33^{ème} et 67^{ème} percentiles (figure 10).

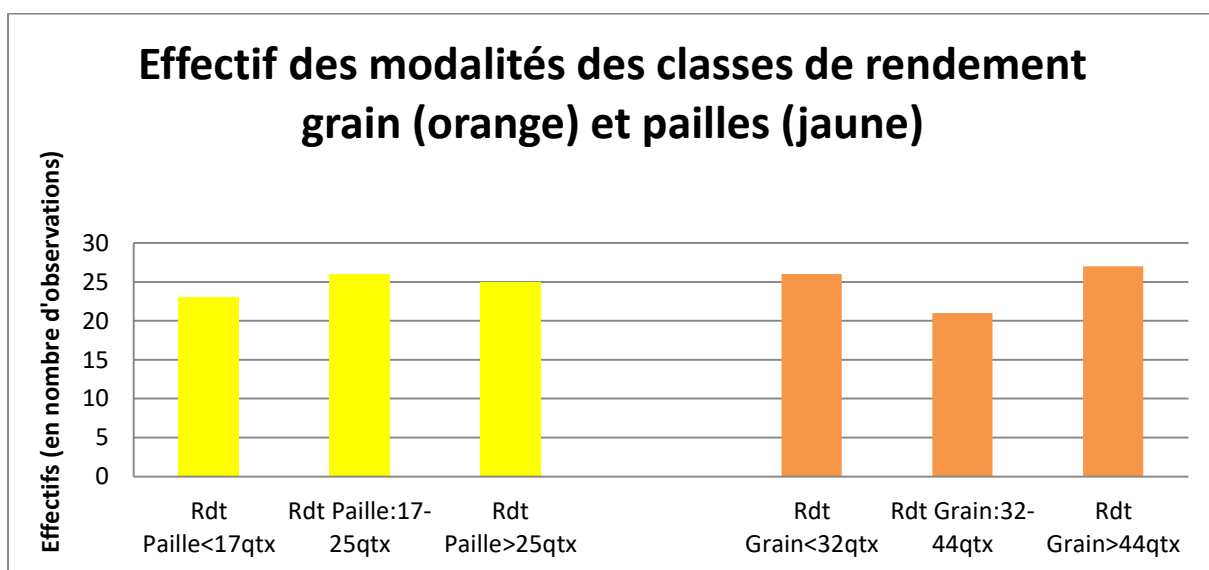


Figure 10 : histogramme des effectifs en fonction des classes de rendements

Dans un premier temps, nous proposons de réaliser une analyse factorielle des correspondances multiples à partir des variables supposées intervenir dans l'élaboration du rendement. Dans l'optique de caractériser les rendements du blé d'hiver, nous avons utilisé les données de rendements en tant que variables supplémentaires dans l'analyse multivariée (n'intervenant pas dans la construction des axes factoriels). Dans un second temps, nous proposons de regrouper les observations en groupes d'observations ayant des caractéristiques similaires du point de vue des axes de l'analyse factorielle. Cette étape permet une synthèse du jeu de données initial sur lequel le croisement des variables de rendements et des groupes d'observations sera fait dans un troisième temps.

² Cette unité, exprimée en matière sèche, permet de s'affranchir des taux d'humidité à la récolte dont la valeur peut varier significativement selon les conditions météorologiques précédant la moisson et variables d'une année à l'autre.

i. Caractérisation des combinaisons de variables à partir d'une AFCM

L'utilisation d'une Analyse Factorielle des Correspondances Multiples a pour but de synthétiser l'information contenue dans les 6 variables initiales (déclinées en modalités) sous la forme d'axes factoriels. Le tableau sur lequel l'AFCM est effectuée est constitué des 74 zones de fertilité en lignes et des 6 variables qualitatives déclinées en modalités en colonnes (Annexe 7).

Application au cas d'étude sur le blé d'hiver :

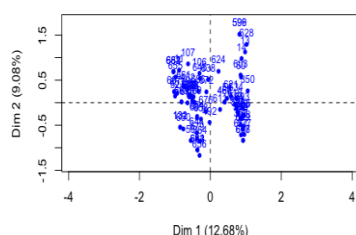


Figure 11 : Projection des individus sur les axes 1 et 2 de l'AFCM.

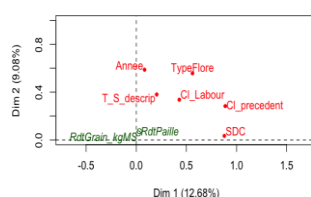
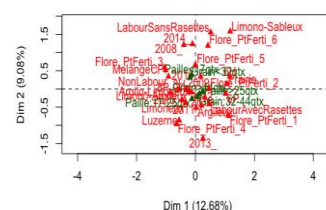
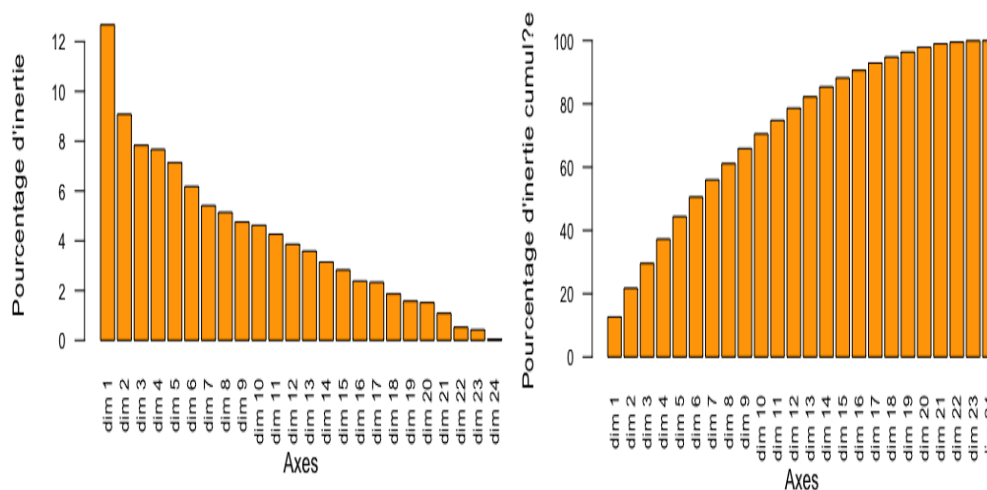


Figure 12 : Projection des variables sur les axes 1 et 2 de l'AFCM.





Figures 14 et 15: Histogramme des inerties et Histogramme des inerties cumulées.

ii. Caractérisation de groupes de zones de fertilité similaires

A partir des axes factoriels issus de l'AFCM, la réalisation d'une Classification Ascendante Hiérarchique permet de regrouper des observations en groupes d'observations ayant des caractéristiques proches³. L'objectif ici est de regrouper les zones de fertilité en groupes ayant des propriétés similaires au regard des 6 variables analysées et structurant l'analyse du jeu de données.

Application au cas d'étude sur le blé d'hiver :

A partir des 10 axes factoriels retenus de l'AFCM, nous avons réalisé une CAH des zones de fertilité. Cette CAH (Figure 16) nous a permis de définir 6 groupes de zones de fertilité (proposition par défaut de la fonction HCPC de R).

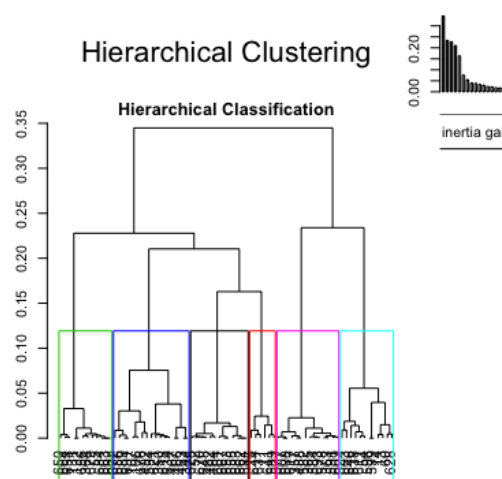


Figure 16 : Dendrogramme de la CAH sur les zones de fertilités

³ Les caractéristiques étant portées par les coordonnées des zones de fertilité sur les 10 axes factoriels de l'AFCM.

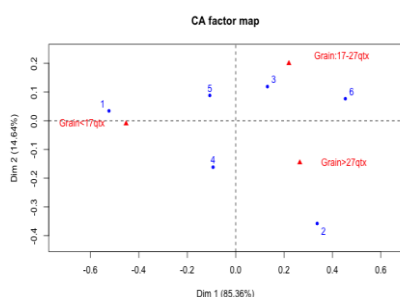
Chaque cluster est caractérisé par une combinaison des variables et de leurs modalités caractéristiques dont les principaux traits peuvent être analysés à partir d'analyses factorielles des correspondances croisant les modalités 2 à 2. L'annexe 8 (planche des AFC des 6 facteurs) nous permet de décrire chacun des 6 groupes.

- Le cluster 1 (15 individus) est caractérisé par des zones de fertilité généralement implantées sans labour dans le système de culture en 8P avec un précédent cultural de type mélange céréales – protéagineux. La flore dominante est la flore 3.
- Les zones de fertilité du cluster 2 (5 individus) sont préférentiellement rattachées à un système de culture 8P avec un précédent luzerne. Mais elles ne semblent pas avoir de préférences pour un type de sols mais elles présentent une flore de type 4.
- Le cluster 3 (14 individus) présente des zones de fertilité sur des sols limono-argileux. La flore 2 se retrouve particulièrement dans ce groupe. Les années 2010 et 2016 sont fortement représentées dans ce groupe.
- Le cluster 4 (15 individus) se caractérise par des zones de fertilités implantées dans un système 6H sur des sols légers (limono-sableux), systématiquement labourés (sans rasettes). Les flores 5 et 6 y sont significatives. L'année 2008 est particulièrement représentée dans ce groupe.
- Le cluster 5 (10 individus) regroupe des zones de fertilité dans lesquelles le blé suit le labour (avec rasettes) des prairies du système 6H sur des sols argileux. La flore 1 est typique de ce groupe
- Les zones de fertilités regroupées dans le cluster 6 (15 individus) sont implantées dans un système en 6H sur des sols argileux. Elles suivent une prairie après un labour avec rasettes. Le type de flore 1 se retrouvent très souvent dans ce groupe.

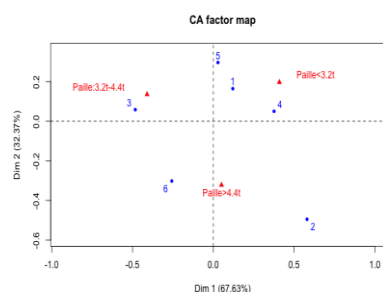
iii. Caractérisation des relations entre variables explicatives et rendements

Les données de rendements (grain et paille) mobilisées dans l'AFCM, en tant que variables supplémentaires ne participant pas à la construction des axes factoriels, peuvent alors être mobilisées et être mises au regard des clusters. De même que pour décrire les traits caractéristiques des clusters à partir des variables principales, une AFC peut être réalisée sur les tableaux de contingence qui croisent les effectifs de zones de fertilité selon 2 variables (les clusters issus de l'AFCM et les classes de rendement, soit en grain, soit en paille).

Application au cas d'étude sur le blé d'hiver :



Figures 17 : représentation graphique de l'AFC des rendements grains en fonction des clusters.



Figures 18 : représentation graphique de l'AFC des rendements pailles en fonction des clusters.

Les rendements en grains (Figure 17) sont largement structurants sur l'axe 1 dont l'inertie (> 80%) permet une robustesse des conclusions que nous pouvons en faire. Le graphique représentant les rendements en pailles (Figure 18) présente un cumul d'inertie des 2 premiers axes quasi égale à 100%, ce qui permet une robustesse des interprétations. De plus, pour les deux graphiques, les rendements sont ordonnés sur l'axe 1, ce qui témoigne d'une structuration des 6 groupes selon des gradients de rendements croissants (ou décroissants).

Ainsi, le cluster 1 est caractérisé par les rendements grains et pailles les plus faibles et significativement inférieurs à ceux des autres groupes. Le cluster 3 se caractérise par des rendements moyens en grains et en pailles. Enfin, les clusters 2,4,5 et 6 sont définis par des rendements en grains et en pailles hétérogènes, cependant le cluster 6 présente des rendements en pailles plus élevés (>4,4t).

d) Discussion

1. Caractérisation des facteurs explicatifs du rendement

Lorsque l'on observe les différents résultats illustrant la caractérisation des facteurs explicatifs, certains facteurs semblent mieux les caractériser.

L'effet année par exemple ne semble pas être un facteur décisif dans l'élaboration des explications des rendements. Cependant, malgré un nuage de point constitué de la majeure partie des années, deux années associées à des clusters ressortent. L'année 2008 ressort significativement dans l'AFC, ce qui témoigne de la singularité de certaines années dans la construction des groupes de zones de fertilité. La confrontation de cette année avec le groupe correspondant et ses rendements associés (rendements hétérogène pour le groupe 4) laisse entrevoir des hypothèses de compréhension agronomique des relations entre ces rendements et les années. En effet, certains facteurs climatiques (gelées, sécheresses) et/ou biotiques (maladies, ravageurs) n'ont pas pu être développés dans le cadre de ce stage et mériteraient d'être approfondis par la suite. En outre, d'autres années n'étant pas liées fortement à des clusters (2014 et 2016) mais qui ressortent, permettent d'appuyer l'idée d'ajouter de nouveaux facteurs dans l'analyse.

A la confrontation entre rendements (grains et pailles) et clusters, le cluster 6 est caractérisé par de bons rendements. Ce cluster est lié avec les systèmes de culture en 6 ans présentant une seule culture de blé d'hiver succédant à une prairie temporaire. En outre, il est lié au type de flore 1 (forte présence du groupe Gaillet-Liseron et des Renoncules), groupe d'adventices répandu de manière généralisée à sur le parcellaire mais n'ayant pas d'incidence trop forte sur les rendements. De plus, ce cluster est caractérisé par une implantation après un labour avec rasettes, ce qui permet de réguler la population adventice et donc d'augmenter les chances d'avoir un bon rendement. Les 3 ans de prairies temporaires des systèmes 6H et 6P permettent un contrôle des graminées et en particulier du vulpin, qui, couplé au bénéfice d'un apport d'azote organique dans le sol via essentiellement la dégradation de la prairie après retournement, sont favorables à de meilleurs rendements du blé tendre suivant. Au contraire, le cluster 1 est lié aux mauvais rendements. Ce cluster est retrouvé dans le système de culture en 8 ans avec une culture de printemps dont le premier blé suit un mélange luzerne - graminées et un second blé suivant un mélange céréales - protéagineux. Ce cluster est défini par le type de flore 3 ayant beaucoup de graminées et de gaillet-liseron, ces adventices impactant les cultures du SPCE (Infloweb). De plus, le cluster 1 est caractérisé par l'année 2012, cette année est sûrement une « mauvaise » année ayant subi des gelées qui ont engendré la destruction des cultures de blé tendre par le gel. Enfin, le cluster 3 semble être lié à des rendements moyens. Ce cluster est défini par un système de culture en 8 ans avec une céréale de printemps. Il suit généralement un mélange luzerne-graminées, et est caractérisé par un type de flore défini par une plus grande diversité d'espèces adventices (type de flore 3).

Nous pouvons alors dire qu'il semblerait que des systèmes de culture courts (6 ans) avec un seul blé en post prairie temporaire permettraient de meilleurs rendements et un meilleur contrôle de la flore adventice sur le blé par la prairie. A l'inverse, les systèmes de culture longs (8 ans), avec 5 années en cultures annuelles dont deux blés, augmentent le risque adventice par l'augmentation des espèces concurrentielles et invasives (graminées et matricaires). Mais, les cultures pluriannuelles comme les luzernes + graminées ou les prairies temporaires, outre leur rôle d'apports de matières organiques fertilisantes, permettent une maîtrise de certaines adventices favorables à de meilleurs rendements du blé tendre. La diversité adventice permet-elle un autocontrôle des espèces adventices concurrentielles et donc la préservation de bons rendements ?

Malheureusement, l'absence de certains facteurs explicatifs ne nous permet pas de conclure de manière certaine sur l'élaboration des rendements par le biais de la caractérisation de facteurs explicatifs. L'ajout de nouveaux facteurs (caractérisant le climat, la pression maladie et ravageurs...) permettrait une meilleure caractérisation des clusters explicatifs et donc une meilleure explication des rendements.

2. Caractérisation du type de flore

La caractérisation du type de flore nous a amenés à faire certains choix méthodologiques de synthèse des données. Cependant, ces choix ont rendu la caractérisation beaucoup moins exhaustive de par les suppressions ou les regroupements effectués. Effectivement, nous nous sommes concentrés sur une logique de biologie des adventices et de leur nuisibilité directe sur le rendement des cultures annuelles pour réaliser nos choix méthodologiques. Certains traits fonctionnels (compétition pour la lumière, l'eau, les nutriments...) n'ont pas été intégrés dans la méthode proposée. Nous aurions pu, à partir d'une approche fonctionnelle des adventices, concevoir un indicateur de pression adventice en substitution de l'indicateur proposé « type de flore ». Cet indicateur, intégrant des notions de concurrence sur les ressources du milieu (nutriments, eau, lumière) pourrait permettre de mieux caractériser l'impact des adventices sur les rendements du blé tendre.

3. Structuration des données adventices : le protocole de mesure

La structuration des données adventices nous a permis de caractériser la flore adventice à partir d'une combinaison de 12 groupes d'adventices caractérisés par une densité d'observation et ainsi en proposer un facteur explicatif des rendements.

L'obtention des données passe par un protocole de mesure précis et détaillé dans la partie Matériel et Méthode. Si le protocole de mesure est resté relativement stable sur toute la période analysée, la collecte des données adventices est soumise à certains facteurs de variabilité. En effet, le facteur humain (niveau d'expertise et de connaissance des adventices, fatigue visuelle et physique), le facteur environnemental (nébulosité, vent, précipitation, température) peuvent influencer la qualité des données recueillies. De plus, la période de mesure peut également impacter le niveau de précision des données collectées, en particulier lors de la première période de mesure (post semis) où les adventices sont au stade plantule dont il est parfois difficile de caractériser précisément l'espèce.

4. Perspectives

La méthode d'analyse des facteurs explicatifs des rendements du SPCE n'est qu'au début de son élaboration. La prise en compte de nouveaux facteurs et la modification des facteurs en place permettront une amélioration de la méthode. En effet, comme nous avons pu nous en rendre compte, l'ajout de nouveaux facteurs (climatiques ou biotiques) pourrait permettre d'affiner la caractérisation des rendements à partir de variables ayant un sens du point de vue agronomique. Ces nouveaux facteurs permettraient une clarification de certaines variables mobilisés (année) dont la réalité agronomique est difficilement appréciable sans une connaissance fine des conditions du milieu (particularités climatiques).

La mise en place de nouvelles méthodes de caractérisation des adventices pourrait permettre de caractériser la flore à travers par exemple des traits fonctionnels. L'étude de la flore adventice non pas comme facteur explicatif d'une baisse des rendements des cultures mais comme facteur d'un maintien des bons rendements serait un plus dans l'explication des rendements ; par exemple, la diversité des espèces adventices permet-elle un contrôle des adventices les plus concurrentielles ? Certaines espèces adventices permettent-elles de meilleurs rendements, comme pourraient l'être les légumineuses (apport d'azote...) ?

Enfin, le travail sur les données d'autres céréales permettrait de tester la méthode que j'ai développée sur le blé tendre dans le cadre de ce travail de stage.

III. Conclusion

En conclusion, ce projet d'élaboration d'une méthode d'analyse de facteurs d'élaboration du rendement des cultures annuelles dans un système de polyculture élevage autonome en agriculture biologique, m'a permis d'apporter mon aide à l'évaluation du SPCE mis en place sur l'IE de l'unité de recherche INRA-ASTER de Mirecourt. Cette méthode va évoluer grâce à l'expertise et au travail de l'unité de recherche. Mon travail a permis à l'unité de trier et structurer les informations relatives aux adventices contenues dans la base de données ASTER-ix. Ce tri des données adventices ainsi que la première caractérisation par « type de flore » permettra à l'unité de recherche de gagner un temps précieux sur l'évaluation des rendements des cultures du SPCE. En outre, cette méthode de travail permettra à l'équipe technique de reconsidérer son protocole de mesure des adventices.

Mon projet de stage ne faisant écho à aucun protocole de mise en forme des données adapté à la structuration du jeu de données et aux particularités du protocole d'échantillonnage, j'ai éprouvé quelques difficultés et doutes pour proposer une méthode adaptée au jeu de données initial. La prise en main, la compréhension de la structuration et du contenu du jeu de données ainsi que ce volet méthodologique exploratoire ont mobilisé une part non négligeable de la durée de mon stage (7 semaines). La répétitivité de certaines opérations de traitement de données, les réorientations des analyses suites à des résultats infructueux, la multiplication et la longueur des fichiers de travail, la fatigue visuelle et mentale ont été vécues comme relativement difficiles et a impacté certaines décisions d'orientation du travail. De ce fait, cette expérience m'a permis de me confronter à la réalité d'une unité de recherche et au travail que doit fournir un technicien de recherche dans une unité de recherche INRA-SAD.

En décidant de travailler à l'UR ASTER et sur l'atelier de polyculture du SPCE de l'installation expérimentale de Mirecourt, j'ai pu me rapprocher de mon projet personnel et professionnel. Car, en tant que futur technicien supérieur en agronomie et futur apprenti ingénieur agronome, je souhaite mettre mon travail au service de la compréhension et du développement de l'agriculture autonome et durable. En outre, mon projet professionnel étant de devenir ingénieur en zootechnie dans le secteur bovin, je trouvais important de mieux appréhender les systèmes de polycultures permettant l'autonomie des systèmes d'élevages.

Pour conclure, ce projet de stage m'a permis de mieux connaître le travail de technicien et d'ingénieur de recherche que j'envisage comme mon futur professionnel et personnel.

Bibliographie

Besse P., 2016. Analyse en Composantes Principales.

Besse P., 2016. Analyse factorielle multiple des correspondances.

Blouet A. et Coquil X., 2009. Polyculture-élevage : développer des complémentarités dans les exploitations et dans les territoires. Extrait de Transition vers l'agriculture biologique : Pratiques et accompagnements pour des systèmes innovants.

Coquil, X., Fiorelli, J.L., Mignolet, C., Blouet, A., Foissy, D., Trommenschlager, J.M., Bazard, C., Gaujour, E., Gouttenoire, L., Schrack, D., 2009a. Evaluation multicritère de la durabilité agro-environnementale de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques, Innovations Agronomiques, 4, 239-247.

Coquil, X., Blouet, A., Fiorelli, J.L., Bazard, C., Trommenschlager, J.M., 2009b. Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : une entrée agronomique, Productions Animales, 22, 3, 221-234.

Coquil, X. ; Fiorelli, J.L. ; Mignolet, C. ; Blouet, A. ; Foissy, D. ; Trommenschlager, J.M. ; Bazard, C. ; Gaujour, E. ; Gouttenoire, L. ; Schrack, D. 2009. Evaluation multicritère de la durabilité agro-environnementale de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques. Innovations Agronomiques, 4 : 239-247.

Fiorelli J-L, 2015. Appel à Projet, AgriBio 4, projet ENSEMBLE.

Petit S., Boursault A., Le Guilloux M., Munier-Jolain N., Reboud X., 2010. Weeds in agricultural landscapes. A review,

Lê, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. Journal of Statistical Software. 25(1). pp. 1-18. <http://www.jstatsoft.org/v25/i01/>

Sanders L., 1989. Analyse Statistique des données statistiques.

Trommenschlager J-M, Gaujour E, Fontana E, Harmand M, Foissy D, Huguet J, Bazard C (2010) Gérer et organiser les données agricoles et de recherche d'un site expérimental. Le Cahier des Techniques de l'INRA, 69:5-27.

Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations, Field Crops Research, 52, 3, 197-208.

Ward, J. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. Am. Statist. Assoc. 58, 236-244.

Webographie

<http://institut.inra.fr/Reperes/Chiffres>, 23/02/2017, Institut National de la Recherche Agronomique

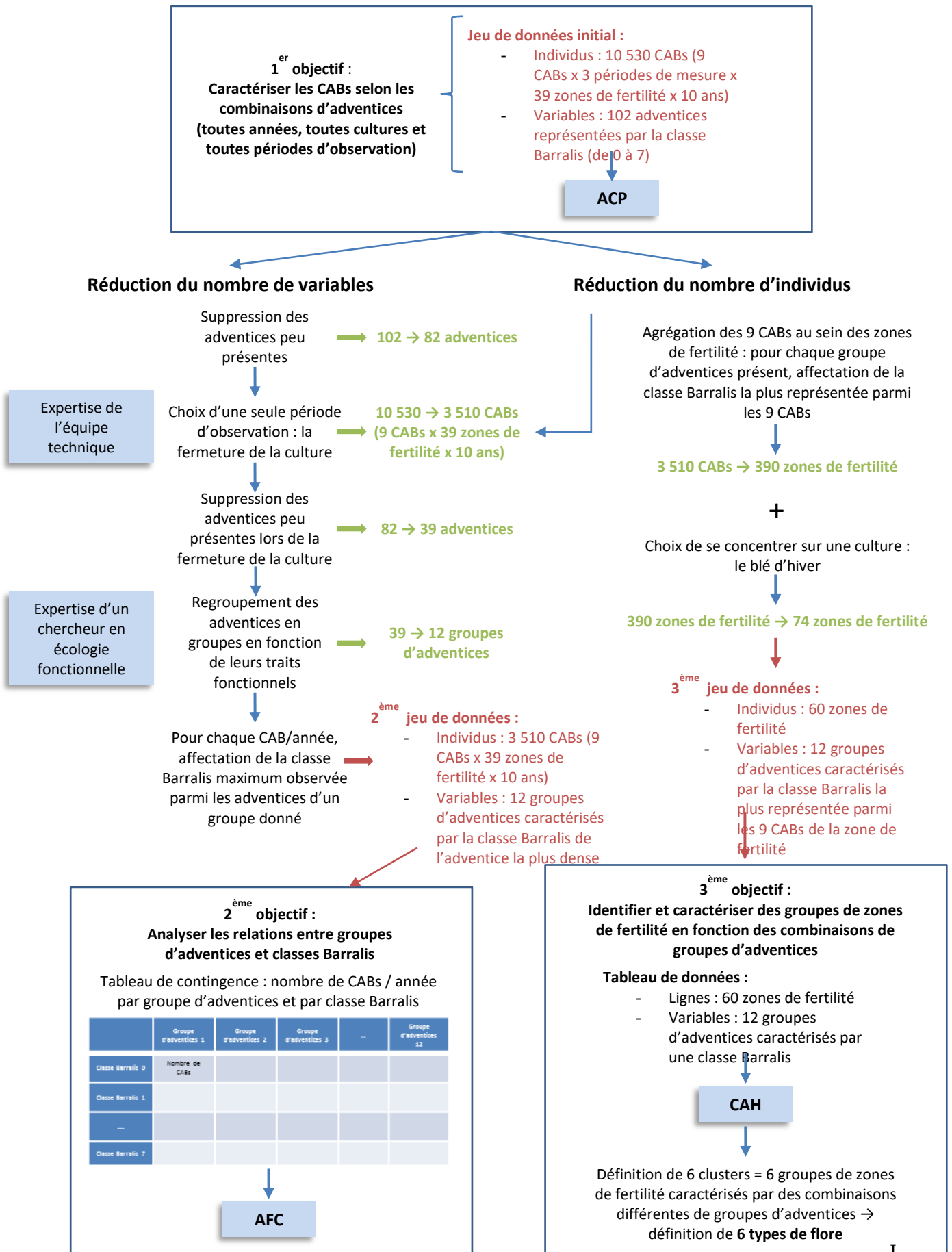
<http://institut.inra.fr/Reperes/Jalons-historiques>, 14/04/2016, Institut National de la Recherche Agronomique

<http://www.infloweb.fr/>, Connaître et gérer la flore adventice, Infloweb.

<http://wikistat.fr/><http://wikistat.fr/>, 2016.

ANNEXES

Annexe 1 : Méthode de structuration du facteur « type de flore »



Annexe 2 : Méthode de caractérisation des facteurs d'élaboration des rendements, application au blé d'hiver.

Caractériser les facteurs d'élaboration des rendements du blé d'hiver

1^{ère} étape : analyser la structuration des facteurs d'élaboration du rendement sur les 74 zones de fertilité implantées en blé d'hiver entre 2008 et 2016

1 - Choix et mise en classe des variables qualitatives correspondant aux facteurs d'élaboration du rendement

- Type de flore : 6 modalités
- Système de culture : 4 modalités
- Texture de sol : 5 modalités
- Année culturale : 9 modalités
- Précédent cultural : 3 modalités
- Labour : 3 modalités

2 – Mise en classe des 2 variables de rendement (grain et paille)

- Rendement grain : 3 modalités (déterminées par le 33^{ème} et le 67^{ème} percentiles)
- Rendement paille : 3 modalités (déterminées par le 33^{ème} et le 67^{ème} percentiles)

3 – Réalisation d'une AFCM

AFCM

Tableau de données :

- Individus : 65 zones de fertilité
- Variables actives : 6 variables qualitatives correspondant aux facteurs d'élaboration du rendement, représentant au total 24 modalités
- Variables supplémentaires : 2 variables qualitatives correspondant aux rendements grain et paille, représentant au total 6 modalités

2^{ème} étape : identifier des groupes de zones de fertilité implantées en blé caractérisées par des combinaisons de facteurs explicatifs des rendements proches

4 – Réalisation d'une CAH

CAH

Tableau de données :

- Individus : 65 zones de fertilité
- Variables : coordonnées des 65 zones de fertilité sur les 10 premiers axes factoriels de l'AFCM

Définition de 5 clusters regroupant des zones de fertilité proches concernant les facteurs d'élaboration du rendement

5 – Analyse des résultats de l'AFCM

AFC

Sur 6 tableaux de contingence croisant la distribution des 65 zones de fertilité dans les 5 clusters et dans les modalités d'un facteur d'élaboration du rendement

3^{ème} étape : mettre en relation les clusters de zones de fertilité définis à partir de combinaisons de facteurs explicatifs avec les classes de rendement

6 – Réalisation de 2 AFC

AFC

Sur 2 tableaux de contingence croisant la distribution des 65 zones de fertilité dans les 5 clusters et dans les classes de rendement (paille et grain)

Annexe 3 : Tableau des données initiales.

							Post levée							Fermeture Culture						
Lieu	SDC	Precedent	TypeSol	Annee	Labour	Culture	ID_ADV	Point de mesure	Achillee	...	Pissenlit	...	Vulpin	ID_ADV	Point de mesure	Achillee	...	Pissenlit	...	Vulpin
01HV	6H	Prairie	Argileux	2013	Labour avec Rasettes	BH	698	Cab1	Xi,j					577	Cab1	Xi,j				
								Cab2							Cab2					
								Cab3							Cab3					
								Cab4							Cab4					
								Cab5							Cab5					
								Cab6							Cab6					
								Cab7							Cab7					
								Cab8							Cab8					
								Cab9							Cab9					
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

Annexe 4 : Regroupements des adventices issus de l'expertise de Claire Thiery et Etienne Gaujour.

Les associations de couleurs permettent d'illustrer les groupes d'adventices.

Abréviations	Nom commun
Arroche	Arroche étalée
Camomille	Camomille sauvage / allemande
Capselle	Capselle bourse à pasteur
Carottesau	Carotte sauvage
Chardon	Chardon des champs
Chenopode	Chénopode
Gaillet	Gaillet gratteron
Geranium	Géranium
Graminee	Graminée
Grdoseille	Grande oseille
Laiteron	Laiteron
Liseron	Liseron des champs
Matricaire	Matricaire/Camomille
Mouron	Mouron des oiseaux
Mouronbleu	Mouron bleu
Mouronrouge	Mouron rouge
Oseillecrep	Oseille crépue
Oseilleobtu	Oseille à feuilles obtuses
Paturin	Pâturin
Paturinan	Pâturin annuel
Paturincom	Pâturin commun
Pissenlit	Pissenlit
Plantain	Plantain
Plantainmaj	Plantain majeur
RayGrass	Ray Grass
Renoncule	Renoncule
Renonculechp	Renoncule des champs
Renouee	Renouée
Renoueebirds	Renouée des oiseaux
Renoueefl	Renouée faux liseron
Renoueepers	Renouée persicaire
RenoueePoivr	Renouée Poivre d'eau
Rumex	Rumex/Oseille
Sanve	Sanve/Moutarde des champs
Trefle	Trèfle
Trefleblanc	Trèfle Blanc
Trefleviolet	Trèfle violet
Veronique	Véronique
Veroniquef	Véronique à feuille Serpolet
Veroniqueflr	Véronique Feuille de lierre
Veroniqueper	Véronique de perse
Vesce	Vesce commune
Vescegrf	Vesce à grosses feuilles
Vesceptf	Vesces à petites feuilles
Vulpin	Vulpin des champs

Annexe 5 : Tableau des données suite au regroupement des adventices et au choix de la période Fermeture Culture.

									Fermeture Culture											
ID_AD V	Lieu	TypeSol	SD C	Precede nt	Labo ur	Anne e	Cultur e	Point de Mesure	ArrCheSan	CapMouGerVer	PiLaiCasauPlan	Chardon	GailletLise	GramineeAll	Matricaire All	RenonculeAll	RenoueeAll	RumexAll	TrefleAll	VesceAll
577	01H V	Argileux	6H	Prairie	Labour avec Rasettes	2013	BH	Cab1	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1
								Cab2	0	5	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0
								Cab3	0	4	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
								Cab4	0	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
								Cab5	0	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0	3
								Cab6	0	5	2	0	0	6	0	0	0	0	0	0
								Cab7	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
								Cab8	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	2
								Cab9	0	5	0	0	0	6	0	0	0	0	2	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

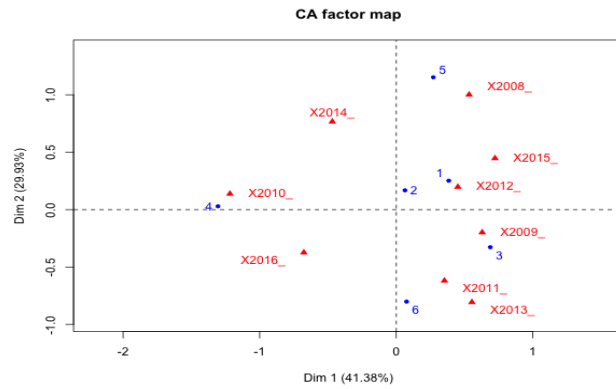
Annexe 6 : Tableau des données suite à l'agrégation des CAB par zones de fertilité

									Fermeture Culture											
ID_ADV	Lieu	TypeSol	SDC	Annee	LabourType	Precedent	RdtGrain kgMS/ha	RdtPaille kg/ha	ArrCheSan	CapMouGerVer	PiLaiCasauPlan	Chardon	GailletLise	GramineeAll	Matricaire All	RenonculeAll	RenoueeAll	RumexAll	TrefleAll	VesceAll
577	01HV	Argileux	6H	2013	Labour avec Rasettes	Prairie	2398	3306	0	5	2	0	0	6	4	0	2	3	0	2
16	06MO	Limono- Argileux	8H	2014	Labour avec Rasettes	Luzerne	2865	4746	0	4	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0
653	25BE	Argileux	8P	2012	Non Labour	MelangeCP	1126	1849	0	2	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
650	25BE	Argileux	8P	2009	Non Labour	Luzerne	2295	2638	0	4	0	0	0	6	0	0	0	2	0	0
662	29BE	Limono- Argileux	8P	2008	Non Labour	MelangeCP	2058	3125	0	6	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0
584	05CB	Limono- Argileux	6H	2011	Labour avec Rasettes	Prairie	3393	4462	0	4	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

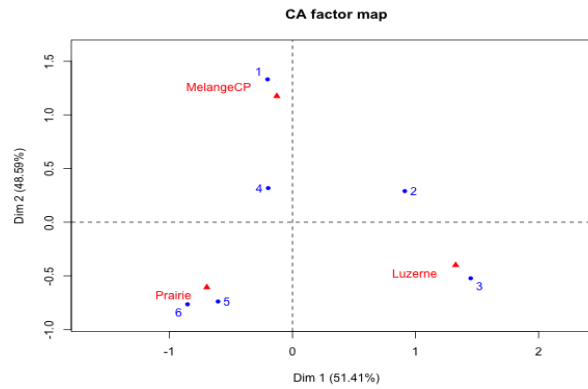
Annexe 7 : Mise en forme des données pour AFCM

ID_ADV	Lieu	TypeSol	SDC	Annee	LabourType	Precedent	RdtGrain	RdtPaille	TypeFlore
577	01HV	Argileux	6H	2013_	LabourAvecRasettes	Prairie	Grain:17-27qtx	Paille:3,2t-4,4t	Flore6
16	06MO	Limono-Argileux	8H	2014_	LabourAvecRasettes	Luzerne	Grain>27qtx	Paille>4,4t	Flore3
653	25BE	Argileux	8P	2012_	NonLabour	MelangeCP	Grain<17qtx	Paille<3,2t	Flore5
650	25BE	Argileux	8P	2009_	NonLabour	Luzerne	Grain:17-27qtx	Paille<3,2t	Flore5
662	29BE	Limono-Argileux	8P	2008_	NonLabour	MelangeCP	Grain:17-27qtx	Paille<3,2t	Flore6
584	05CB	Limono-Argileux	6H	2011_	LabourAvecRasettes	Prairie	Grain>27qtx	Paille>4,4t	Flore2
624	18HB	Limono-Sableux	6P	2009_	NonLabour	Prairie	Grain>27qtx	Paille<3,2t	Flore5
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

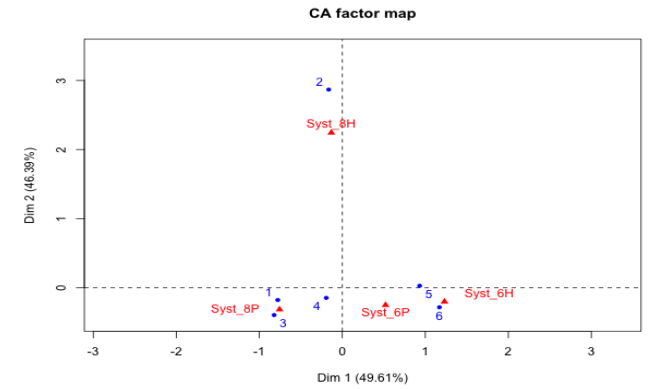
Annexe 8 : Représentations graphiques des AFC entre clusters et facteurs explicatifs



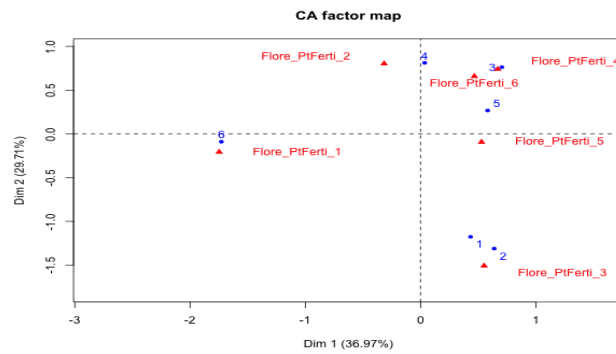
Années et Clusters



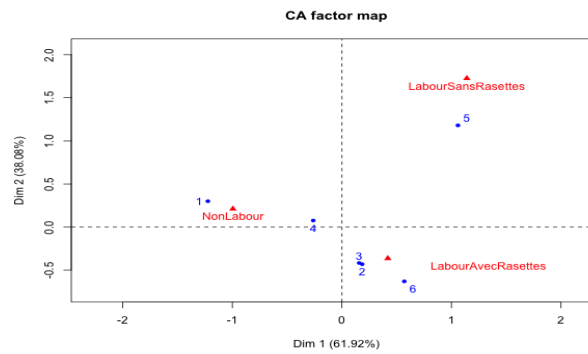
Précédents et Clusters



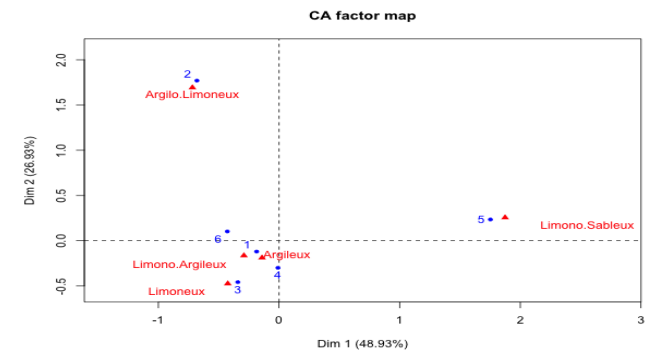
SDC et Clusters



Type de flore et clusters



Labour et clusters



Texture du sol et Clusters