



HAL
open science

Augmenter l'autonomie protéique des élevages de porcs bretons : co-conception et évaluation de systèmes de culture intégrant des fourrages sources de protéines

Gaël Gaucher

► To cite this version:

Gaël Gaucher. Augmenter l'autonomie protéique des élevages de porcs bretons : co-conception et évaluation de systèmes de culture intégrant des fourrages sources de protéines. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03124228

HAL Id: dumas-03124228

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03124228>

Submitted on 28 Jan 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

Année universitaire : 2019-2020.

Spécialité : Ingénieur Agronome

Spécialisation (et option éventuelle) :

Science et Ingénierie du Végétal /

Agrosystèmes : conception et évaluation

Mémoire de fin d'études

d'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Augmenter l'autonomie protéique des élevages de porcs bretons :

Co-conception et évaluation de systèmes de culture intégrant des fourrages sources de protéines

Par : Gaël GAUCHER



Soutenu à Rennes le 16/09/2020

Devant le jury composé de :

Président : O. Godinot

Maître de stage : A. Dupont

Enseignant référent : M. Carof

Autres membres du jury :

J. Jouan - Rapporteur

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

REMERCIEMENTS

Je tiens avant tout à remercier mon maître de stage, Aurélien Dupont (CRAB), pour la confiance qu'il m'a accordée, pour sa disponibilité lorsque j'avais des questions ou des doutes, et pour l'autonomie qu'il m'a laissée pour mener à bien ce stage. Je tiens également à remercier Jeanne Pourias (CRAB) qui a elle aussi pris de son temps pour relire mon travail et me conseiller sur la façon de le présenter.

Merci également à tous les agents de la CRAB qui ont pu m'aider à avancer dans ce stage, que ce soit en participant à l'atelier de co-conception, par leurs conseils ou en me communiquant les données nécessaires au bon fonctionnement de ma mission : Clarisse Boisselier, Guy Chollet, Constance Drique, Denis Follet, Anne Guezenguar, Sylvie Guiet, Philippe Lannuzel, Adrien Le Lay, Mariana Moreira, Lionel Quéré, Benoît Possémé.

Je remercie également mon enseignant référent, Matthieu Carof (Institut Agro – Agrocampus Ouest) pour m'avoir donné son avis quand j'en avais besoin.

Enfin merci à mes parents qui ont bien voulu relire mon mémoire et qui m'ont toujours soutenu lorsque j'en avais besoin.

Table des matières

Introduction.....	1
I-Etat de l'art.....	3
1) Trouver de « nouvelles » sources de protéines pour l'élevage.....	3
a. Projets ayant pour objectif de relocaliser la production de protéines pour l'élevage	3
b. Zoom sur les fourrages protéiques	4
2) Introduire des légumineuses dans les systèmes de culture des élevages porcins bretons	5
a. Généralités sur les légumineuses et choix des cultures.....	5
b. Spécificités des systèmes de culture dans les élevages de porcs bretons en agriculture conventionnelle.....	5
c. Reconcevoir un système de culture	6
i. Conception de systèmes de cultures.....	6
ii. Evaluer les conséquences de cette reconception	7
3) Périmètre du stage, objectifs et hypothèses.....	8
II- Matériel et méthodes :	9
1) Conception des systèmes de culture.....	9
a) Typologie des exploitations.....	9
b) Identification des scénarios.....	9
c) Atelier de conception	10
2) Evaluation.....	10
a) Choix de l'outil et fonctionnement	10
b) Paramétrage de l'outil CRITER.....	11
i. Informations économiques	11
ii. Informations pédoclimatiques	12
iii. Paramétrage des cultures.....	12
c) Fixation des seuils.....	12
d) Etudes supplémentaires	13
III-Résultats.....	14
1) Conception des nouveaux systèmes de culture	14
a) Identification des assolements des différents élevages types.....	14
b) Identification des scénarios à évaluer	14
c) Nouveaux systèmes de cultures créés	14
2) Evaluation des nouveaux systèmes de cultures.....	15
a) Evaluation des systèmes de culture sans fourrages (Témoins).....	15
i. Evaluation économique.....	15

ii.	Evaluation sociale	16
iii.	Evaluation environnementale	16
b)	Evaluation des systèmes de culture répondant aux besoins des régimes Ensilage, Enrubannage et Bouchons de luzerne (R1)	16
i.	Evaluation économique.....	16
ii.	Evaluation sociale	17
iii.	Evaluation environnementale	17
c)	Evaluation des systèmes destinés à la production de farine de luzerne déshydratée (R2)..	18
i.	Evaluation économique.....	18
ii.	Evaluation sociale	18
iii.	Evaluation environnementale	18
d)	Evaluation des systèmes destinés à la production d'enrubannage de trèfle violet (R3)	19
i.	Evaluation économique.....	19
ii.	Evaluation sociale	19
iii.	Evaluation environnementale	19
e)	Evaluation des systèmes destinés à la production d'enrubannage de méteil et de luzerne (R4)	20
i.	Evaluation économique.....	20
ii.	Evaluation sociale	20
iii.	Evaluation environnementale	20
f)	Cas de la sous-traitance.....	21
g)	Sensibilité aux matières premières : exemples sur le régime à base d'enrubannage de luzerne chez les élevages spécialisés avec cultures (S+ R1 Enrubannage).....	21
IV-Discussion :	22
1)	Vérification des hypothèses	22
2)	Améliorations possibles des systèmes de culture.....	22
3)	Critiques méthodologiques	23
4)	Extrapolation des nouveaux systèmes à d'autres contextes pédoclimatiques	23
Conclusion	24
Bibliographie :	24
Sitographie :	25
ANNEXE I :	Indicateurs renseignés dans MASC 2.0 et détail de leur mode de calcul (à partir de Craheix et al., 2011).....	27
ANNEXE II :	Données économiques utilisées sur l'outil de calcul CRITER 5.4	29
ANNEXE III :	Données pédoclimatiques utilisées dans le paramétrage de CRITER 5.4	30

ANNEXE IV : Valeurs des seuils utilisées pour la répartition des classes qualitatives sur MASC 2.0 des critères de base et de ceux des arbres satellites.....	31
ANNEXE V : Présentation des itinéraires techniques	32
ANNEXE VI : Présentation des rotations créées	34

Liste des abréviations :

CRAB : Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne

K : Potassium

NH₄ : Ammonium

NO₃ : Nitrates

NO₂ : Dioxyde d'azote

MRP : Matières premières Riches en Protéines

M : Mixtes

P : Phosphore

R1 : Régime 1 : Ensilage, Enrubannage de luzerne et Bouchons de luzerne déshydratés

R2 : Régime 2 : Farine de luzerne déshydratée

R3 : Régime 3 : Trèfle enrubanné

R4 : Régime 4 : Enrubannage de luzerne et enrubannage de méteil

S+ : Spécialisés avec cultures

S- : Spécialisés sans cultures

Table des figures :

Figure 1 : Sous-programmes constituant le programme SOS PROTEIN

Figure 2 : Exemples de formes de luzerne pouvant être utilisées dans les rations des animaux.

Figure 3 : Démarche de conception (Guadagnini-Palau et al., 2016)

Figure 4 : Assolement moyen d'élevages porcins spécialisés (gauche) et mixtes (droite)

Figure 5 : Présentation de l'arborescence de MASC 2.0 (Craheix et al., 2011)

Figure 6 : Intégration de l'utilisation des différents indicateurs calculés par CRITER dans une évaluation multicritère faite avec MASC 2.0 (Reau et al., 2015)

Figure 7 : Zones agro-climatique de la Bretagne. La station expérimentale de Crecom est située à St-Nicolas-du-Pelem (22), en zone très tardive (source : www.chambres-agriculture-bretagne.fr)

Figure 8 : Schéma explicatif du mode de calcul du critère Efficience économique

Figure 9 : Structure de l'arbre de décision donnant la classe prise par le critère Maîtrise de l'accumulation d'éléments toxiques dans le sol

Figure 10 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R1 Enrubannage

Figure 11 : Résultats de la dimension environnementale des systèmes de culture témoins S+, S- et M

Figure 12 : Résultats de la dimension environnementale des scénarios R1 Enrubannage, Ensilage et Bouchons de luzerne sur les élevages S+ et M

Figure 13 : Résultats de la dimension sociale des scénarios R1 Enrubannage et Ensilage, sur les élevages S+ et M

Figure 14 : Résultats de la dimension économique du scénario S- R2

Figure 15 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R2

Figure 16 : Résultats de la dimension environnementale du scénario S+ R3

Figure 17 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R3

Figure 18 : Résultats de la dimension économique du scénario M R3

Figure 19 : Résultats de la dimension environnementale du scénario S+ R4

Figure 20 : Résultats de la dimension environnementale du scénario M R3

Figure 21 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R4

Figure 22 : Comparaison du critère de Maîtrise des bioagresseurs pour chaque scénario validant l'hypothèse (i)

Figure 23 : Comparaison de la durabilité globale pour tous les scénarios évalués

Figure 24 : Pluviométrie annuelle moyenne de Bretagne (Source : bretagne-environnement.fr)

Table des tableaux :

Tableau 1 : Comparaison des critères évalués par les différents outils d'aide à la décision

Tableau 2 : Différentes présentations des aliments et régimes évalués

Tableau 3 : Elevages porcins bretons types et leurs assolements

Tableau 4 : Scénarios retenus en fonction de la surface allouée aux céréales.

Tableau 5 : Détails de calcul de la **Rentabilité** et résultats en fonction de l'élevage

Table des annexes :

ANNEXE I : Indicateurs renseignés dans MASC 2.0 et détail de leur mode de calcul (à partir de Craheix et al., 2011)

ANNEXE II : Données économiques utilisées sur l'outil de calcul CRITER 5.4

ANNEXE III : Données pédoclimatiques utilisées dans le paramétrage de CRITER 5.4

ANNEXE IV : Valeurs des seuils utilisées pour la répartition des classes qualitatives sur MASC 2.0 des critères de base et de ceux des arbres satellites

ANNEXE V : Présentation des itinéraires techniques

ANNEXE VI : Présentation des rotations créées

Introduction

En 2019, la production agricole représentait 1.6% du PIB de la France (Banque mondiale, 2020), plaçant cette dernière en tant que premier producteur agricole de l'Union Européenne (UE). La même année, elle représentait 17% de la production totale de l'UE (Eurostat, 2018). A titre d'exemple, la France est le premier producteur de viande bovine avec 1 420 400 tonnes en 2014, et le troisième cheptel porcin après l'Allemagne et l'Espagne (Ministère de l'Europe et des affaires étrangères, 2019). L'élevage représente plus d'un tiers de la production agricole française, et nécessite plus de 3 millions de tonnes de Matières premières Riches en Protéines (MRP), dont le taux de protéines dépasse 15% (Céréopa, 2017). L'alimentation protéinée est en effet nécessaire pour les animaux comme source d'acides aminés, dix d'entre eux étant essentiels pour les porcs par exemple, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas synthétisés par l'organisme (Blair, 2017).

Si la France est exportatrice nette de protéines végétales via ses exportations de céréales, elle est par contre déficitaire en production de MRP (Martin, 2014 ; Céréopa, 2017). Les importations en protéines issues de tourteaux de soja, MRP présentant un des taux de protéines les plus élevés (38%), représentent 1,5 millions de tonnes en 2013, soit près de 50% des protéines utilisées pour l'alimentation animale (Huygue, 2017). Ce déficit en matières riches en protéines prend sa source durant les années 60 lors des accords du GATT (en français : Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce), qui garantissaient une protection sur les céréales de l'Europe en échange d'une baisse des taxes d'importations de ces MRP. L'élevage européen s'est donc développé sur ce système d'importations de protéines en provenance du continent américain (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2014) et une dépendance aux matières riches en protéines s'est installée, encouragée par d'autres accords tels que l'accord de Blair House en 1992. Cette dépendance constitue un risque pour l'approvisionnement des élevages en cas d'évènement privant la France ou l'Europe de ces MRP, comme par exemple leur détournement au profit de l'Asie, dont la demande augmente. De plus, les consommateurs français sont méfiants vis-à-vis de l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés comme en témoigne l'essor ces vingt dernières années des filières qualités et les problématiques de traçabilité qui en découlent (Castelannet et al., 2006), car près de 80% de ces tourteaux de soja importés sont génétiquement modifiés (European Commission, 2016). Initié en 2014, le plan Protéines végétales pour la France vise à développer la culture de protéagineux et à en sécuriser les rendements.

Le projet FOURPROPORC, mené par la Chambre d'Agriculture de Bretagne où ce stage a été effectué, vise à étudier de nouvelles sources de protéines disponibles et facilement valorisables par les monogastriques, et en particulier les porcs, autres que les tourteaux de soja.

Pour cela de nombreuses cultures peuvent être envisagées. Parmi celles-ci les fourrages protéinés représentent un intérêt car leur apport améliorerait le bien-être des porcs (ITAB, 2014). Parmi les différents fourrages existants la luzerne a été choisie, notamment pour les qualités agronomiques qu'elle offre, mais aussi car elle a l'avantage de présenter un rendement protéique à l'hectare supérieur à d'autres protéagineux, à grains, tels que le pois protéagineux ou la féverole avec respectivement 1.9 ha et 2.1 ha nécessaires pour produire la quantité en protéines que produit 1 ha de luzerne (Thiébeau et al, 2003).

Le projet FOURPROPORC vise donc à acquérir des références sur les modes de présentation, le taux d'incorporation et le type de fourrage riche en protéines le plus adapté à chaque stade physiologique pour des animaux sur des productions standards ou sur parcours.

Actuellement, les systèmes de culture des exploitations porcines intègrent dans leur assolement une grande part de maïs grain, de blé et dans une moindre mesure de l'orge, qui sont les aliments principaux de la ration des porcs en agriculture conventionnelle (Ramonet et al, 2012). L'introduction de fourrages protéinés dans la ration des animaux nécessite de modifier les systèmes de culture actuels pour satisfaire ces besoins. Le but de ce stage est de proposer de nouveaux systèmes de culture intégrant des fourrages riches en protéines pour l'alimentation porcine et de mesurer l'impact des changements induits sur leur contribution au développement durable.

La première partie de ce rapport présente l'état de l'art sur la recherche et les démarches liées à l'utilisation de nouvelles sources de protéines pour l'élevage et pose la problématique. La seconde partie est dédiée à la méthode suivie pendant le stage, et la troisième partie en présente les résultats.

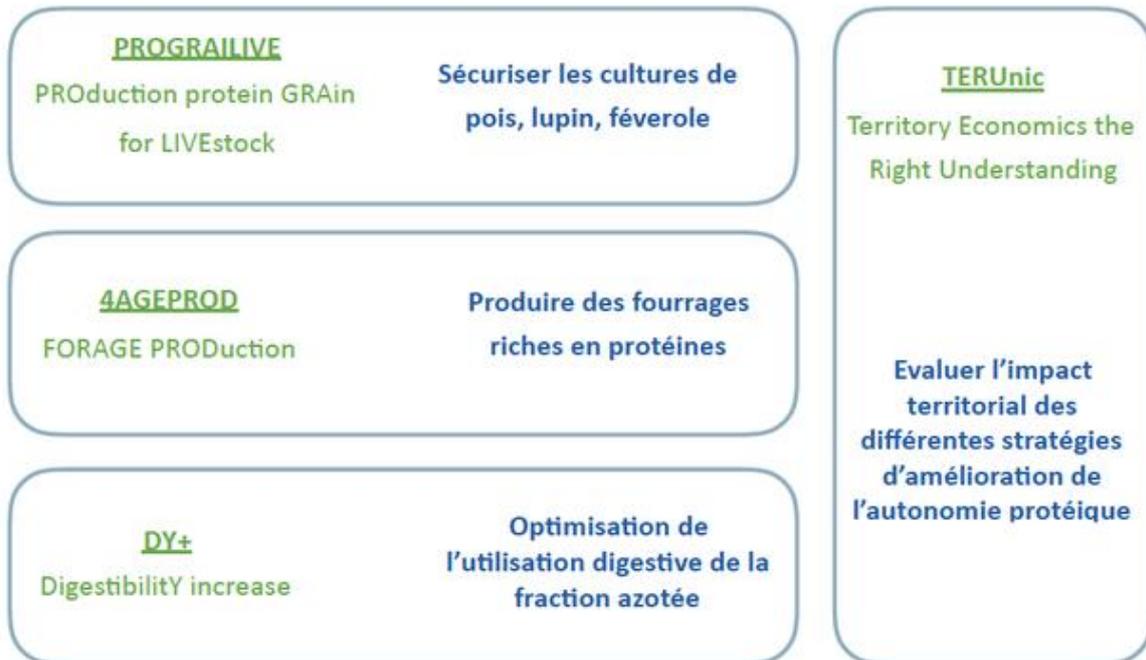


Figure 1 : Sous-programmes constituant le programme SOS PROTEIN

I-Etat de l'art

1) Trouver de « nouvelles » sources de protéines pour l'élevage

a. Projets ayant pour objectif de relocaliser la production de protéines pour l'élevage

En France, plusieurs projets ont vu le jour dans le cadre du Plan Protéines pour la France 2014-2020.

L'Ouest de la France (Bretagne et Pays de la Loire) représente une grande part des productions animales françaises (Agrete Primeur, 2001) et est donc dépendant de MPRP, c'est-à-dire dont le taux de protéines dépasse 15% (Céréopa, 2017). L'autonomie protéique peut s'approcher de différentes manières. Le programme de recherche SOS PROTEIN (Sustain Our Self-sufficiency Protein Research to Overcome the Trend of European Import Needs), coordonné par le Pôle Agronomique Ouest, a été lancé en 2016 avec pour objectif d'améliorer l'autonomie protéique en Bretagne et Pays de la Loire dans les filières animales et végétales. Quatre programmes ont ainsi été mis en place : PROGRAILIVE (PROduction protein GRAIn for LIVEstock), 4AGEPROD (FORAGE PRODUCTION), DY+ (DigestibilitY increase) et TERUnic (Territory Economics the Right Understanding) dont les objectifs sont visibles Figure 1 ci-contre.

Ces différents programmes comportent des composantes communes avec FOURPROPORC, en adoptant toutefois une approche différente.

PROGRAILIVE se concentre en effet sur la production de protéagineux en conventionnel et en agriculture biologique dont les grains sont consommés. Un autre projet, le CASDAR ProtéAB, ciblait aussi les légumineuses à graines en agriculture biologique, mais a été confronté à de nombreux freins pour obtenir une production stable en culture pure (Lubac et al, 2016). Le projet FOURPROPORC, lui, cherche à produire des fourrages et non des protéagineux grains.

4AGEPROD, quant à lui, se focalise bien sur de l'alimentation protéique sous forme de fourrages, mais destinés à des élevages de bovins. Ce projet a néanmoins permis d'acquérir des références sur les aliments autres que la luzerne pouvant être cultivés sur la zone de la station expérimentale de Crécom, où les essais zootechniques de FOURPROPORC ont lieu, tels que le trèfle violet et un méteil hyperprotéiné composé de triticale, de féverole, de pois fourrager et de vesce (Colloque 4AGEPROD, 2020).

Enfin DY+ et TERUnic ne ciblent pas les mêmes échelles que FOURPROPORC : le premier cherche à améliorer la valorisation des aliments protéinés par les animaux des filières porcine, laitière et avicole, et le second évalue l'impact environnemental de différentes stratégies d'amélioration de l'autonomie protéique en Bretagne et Pays de la Loire.

Un autre programme a été mené de 2016 à 2019 et s'approche plus de FOURPROPORC : c'est le projet SECALIBIO. SECALIBIO (SECuriser les systèmes ALimentaires en production de monogastriques BIOlogiques) est un projet CASDAR mené par l'ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique) et IBB (Initiative Bio Bretagne) dont les objectifs étaient de construire des références et des outils pour aider à la production des MRP en France, et d'optimiser leur utilisation en alimentation de monogastriques biologiques, dans l'optique du passage à une alimentation 100% biologique prévu par l'Union Européenne. Dans le cadre de ce projet, une évaluation multicritères de systèmes de culture de différentes zones géographiques françaises a été menée, avec pour objectif d'augmenter de la production de protéines végétales issues de l'agriculture biologique, sans cibler une culture en particulier et indépendamment de leur valorisation pour les porcs. FOURPROPORC travaille, lui, sur un couplage entre l'élevage et les cultures plus étroit et spécifique aux fourrages protéiques. C'est



Figure 2 : Exemples de formes de luzerne pouvant être utilisées dans les rations des animaux.

A gauche : Bouchons de luzerne déshydratée (Source : www.desialis.com).

A droite : Luzerne ensilée (Source : Constance Drique, CRAB)

En bas : Enrubannage de luzerne (Source : Constance Drique, CRAB)

notamment en cela qu'il se différencie de ce projet, puisque le but de ce stage est d'évaluer des systèmes de culture, conçus pour incorporer à la ration des porcs des fourrages protéinés identifiés préalablement, en l'occurrence ici de la luzerne sous forme enrubannée, ensilée, déshydratée ou en farine, de l'enrubannage de trèfle violet et de l'enrubannage d'un méteil hyperprotéiné composé de triticale, de féverole, de pois fourrager et de vesce. L'autre différence majeure est que FOURPROPORC s'adresse à des modes de production conventionnels là où SECALIBIO ciblait un mode de production biologique, ce qui induit de grosses différences dans les itinéraires techniques et dans la valorisation économique des carcasses : en 2017 le prix de vente était de 3.60€/kg pour le porc bio contre 1.50€/kg en conventionnel (agriculture.gouv.fr, 2017).

b. Zoom sur les fourrages protéiques

L'apport de fourrages est notamment recommandé chez les truies gestantes -dont l'alimentation est rationnée pour des raisons de performance de reproduction- car il permet de contribuer à leur satiété alimentaire et ainsi de limiter des comportements agressifs. Pour les porcs charcutiers, la distribution de fourrage permet aussi de limiter les effets liés à la forte compétition à l'auge qui peut avoir lieu, tels que l'agressivité ou le retard de croissance pour les animaux dominés (ITAB, 2014). Certains travaux, exposés ci-dessous, font état de l'utilisation de luzerne dans la ration des porcs, sous les présentations d'aliment testées par FOURPROPORC : enrubannage de luzerne, de trèfle violet ou de méteil, ensilage de luzerne, luzerne déshydratée sous forme de farine ou de bouchons.

Dans le projet SECALIBIO, l'introduction de la luzerne dans la ration des porcs a été testée sous forme d'enrubannage. L'alimentation a été rationnée à 10%, 15% et 22% d'une ration normale, de façon à ce que les quantités de fourrage introduit compensent les aliments rationnés. Les résultats sont variables, notamment dans la quantité de luzerne consommée. De plus, les consommations en luzerne n'ont pas permis de compenser le rationnement du point de vue de la croissance au-delà d'un rationnement de 10%. Le rendement des carcasses n'a pas été impacté significativement, mais on observe cependant une augmentation du Taux de Muscles par Pièce (TMP) avec le rationnement des porcs, ce qui est une attente de la filière biologique (Ferchaud et al., 2019). D'après le Cahier technique de l'ITAB (2014), l'enrubannage de trèfle violet a des valeurs alimentaires sensiblement similaires à l'enrubannage de luzerne, on peut donc s'attendre à des résultats semblables.

L'introduction sous forme d'ensilage chez les porcs bio a été testée sur le projet LUZPORC mené par la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire. Les résultats montrent une appétence plus élevée pour les fourrages à faible taux de matière sèche, mais une capacité d'ingestion aussi plus faible pour les jeunes animaux dans ces cas. Pour éviter le gaspillage d'aliment, ce projet préconise de séparer le fourrage de l'aliment. De plus, l'incorporation de 20% de ce fourrage ralentit la vitesse de croissance et le poids de carcasse est plus faible, ce qui est dû à l'augmentation du volume des organes digestifs liée à une alimentation riche en fibre. Comme pour l'enrubannage, les carcasses sont cependant moins grasses, ce qui entraîne une plus-value de 0.005€/kg (Maupertuis, 2017).

Enfin Charlet-Lery et al., (1955) ont évalué la digestibilité des constituants d'une farine de luzerne déshydratée sur des porcs en engraissement. Ils ont conclu qu'un taux de 20% de farine de luzerne dans la ration des porcs donnait les meilleurs résultats. Ce taux pouvait atteindre 35% à condition que la teneur en saponines de la luzerne déshydratée le permette. Le cahier technique de l'ITAB (2014)

préconise un taux d'incorporation de 10 à 15% de luzerne déshydratée dans la ration des porcs en finition ou des truies gestantes, et 15 à 20% pour les porcs lourds.

2) Introduire des légumineuses dans les systèmes de culture des élevages porcins bretons

a. Généralités sur les légumineuses et choix des cultures

Les légumineuses sont connues pour la symbiose bactérienne qui a lieu entre leurs racines et des bactéries du genre *Rhizobium* et qui permet la fixation de l'azote de l'air. Les plantes de cette famille peuvent ainsi assurer leur nutrition azotée indépendamment des quantités d'azote contenues dans le sol. Elles n'ont donc pas nécessairement besoin d'être fertilisées en azote, et leurs résidus permettent d'enrichir le sol en matière organique azotée. Décomposée par les microorganismes du sol, des nutriments assimilables par les plantes sont relargués dans le sol à hauteur d'une centaine de kg N/ha (Vertès et al, 2008), ce qui peut bénéficier aux cultures suivantes. La présence de la luzerne dans une rotation permet en effet un rendement en céréales qui la suivent plus élevé (Hoyt and Hennig, 1971) et une plus grande concentration en protéines dans les grains.

L'introduction de luzerne (*Medicago sativa*), la légumineuse utilisée en priorité dans FOURPROPORC induit aussi une augmentation des niveaux de matière organique du sol et une modification de sa structure. En effet, ses racines atteignent des niveaux profonds qui peuvent aller jusqu'à 4.5 m, et leur décomposition laisse une porosité durable dans le temps qui, en plus d'augmenter l'accès aux nutriments et à l'eau, permet une meilleure infiltration de l'eau dans les régions à fortes précipitations (Forster, 1999).

La luzerne absorbe cependant une grande quantité de potassium, de l'ordre de 26 kg de K₂O/t de matière sèche, comparé aux 17 kg K₂O/t MS exportés par la plante entière du blé tendre (COMIFER, 2009). Malgré le fait qu'elle ne soit que moyennement exigeante en potassium, il est donc souvent conseillé d'en fertiliser le sol durant sa culture pour que les cultures suivantes n'en souffrent pas.

L'une des raisons du choix de la luzerne par FOURPROPORC est aussi qu'elle a l'avantage de présenter un rendement protéique à l'hectare supérieur à d'autres protéagineux, à grains, tels que le pois protéagineux ou la féverole avec respectivement 1.9 ha et 2.1 ha nécessaires pour produire la quantité en protéines que produit 1 ha de luzerne (Thiébeau et al, 2003). De plus, contrairement aux légumineuses à graines pour lesquelles les rendements sont variables (Lubac et al., 2016), les légumineuses fourragères telles que la luzerne offrent des rendements moins hétérogènes (Chambres d'agriculture de Bretagne, 2015).

Le trèfle violet a été ajouté au panel de fourrages testés par FOURPROPORC car il possède des caractéristiques alimentaires proches de la luzerne (ITAB, 2014), et il est plus adapté au contexte pédoclimatique de la station expérimentale de Crécom, qui est une zone tardive, d'après les agronomes présents dans cette zone (Possémé, 2018).

b. Spécificités des systèmes de culture dans les élevages de porcs bretons en agriculture conventionnelle

La Bretagne est la première région française productrice de porcs avec ses 5400 exploitations porcines en 2017 (Agréste, 2019), mais toutes les exploitations produisant du porc ne sont pas semblables.

A partir du recensement agricole de 2010, le réseau des Chambres d'Agriculture a élaboré une typologie des systèmes d'exploitation que l'on peut trouver en France de façon à caractériser leur diversité : c'est la typologie Inosys. Grâce à cette typologie, on peut retrouver les différents types

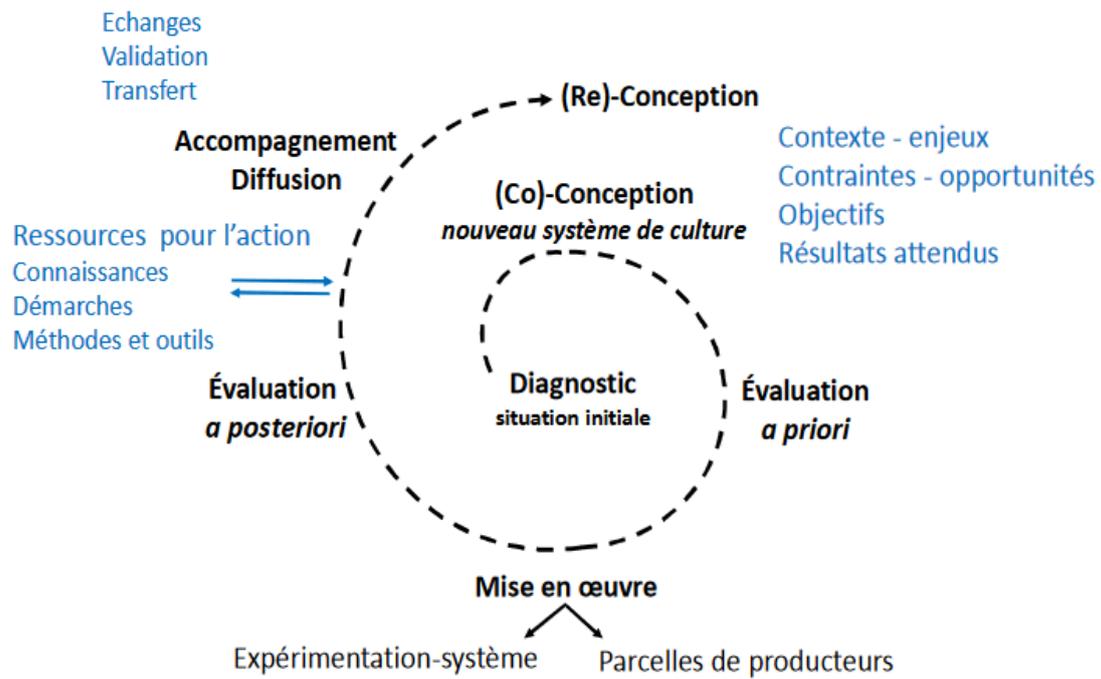


Figure 3 : Démarche de conception (Guadagnini-Palau et al., 2016)

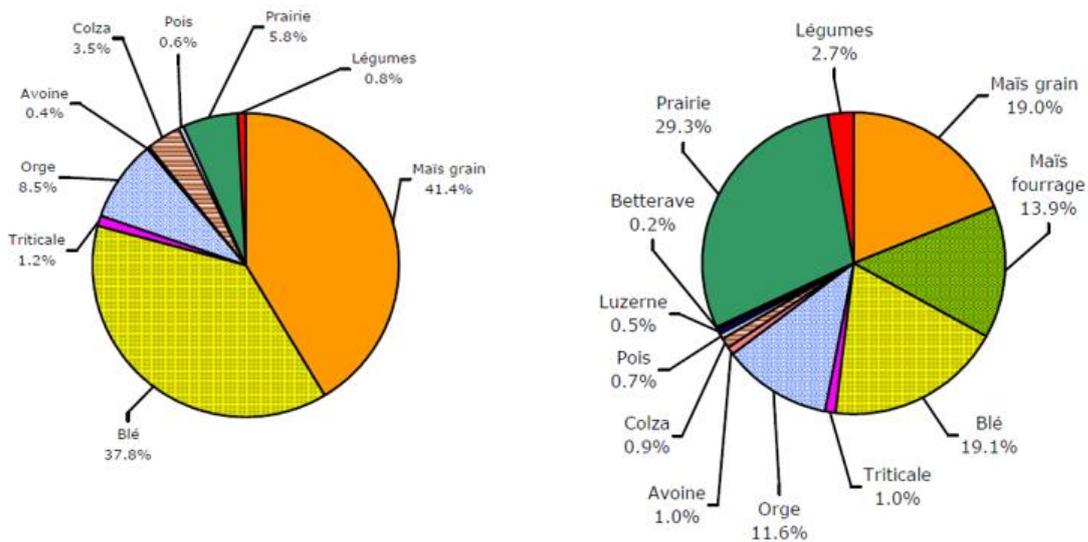


Figure 4 : Assolement moyen d'élevages porcins spécialisés (gauche) et mixtes (droite)

(Ramonet et al., 2012)

d'exploitations ainsi que leurs spécificités : type de productions, Surface Agricole Utile (SAU) selon les cultures, taille du cheptel, nombre d'employés, etc. Ces informations ont permis d'identifier les exploitations comptant l'élevage porcin comme activité en Bretagne ainsi que leurs effectifs, montrant une certaine diversité des situations. 9 types d'exploitations produisant du porc de manière significative, c'est-à-dire dont le produit brut standard est supérieur à 25 000, ont été identifiés en particulier. Parmi celles-ci on compte les élevages porcins spécialisés, qu'ils soient spécialisés dans le naissage, dans l'engraissement ou les deux, et qu'ils aient des cultures ou non. On retrouve aussi des élevages mixtes, comptant un autre atelier animal, qui est dans la grande majorité des cas un atelier bovin, laitier, allaitant ou les deux.

Concernant les assolements des élevages de porcs bretons, Ramonet et al., (2012) montrent qu'ils sont globalement composés de maïs grain et de blé, en moyenne à hauteur de 30% de la SAU chacun. Plus précisément, un premier groupe identifié comme étant des élevages porcins spécialisés compte en moyenne (Figure 4 ci-contre) 38% de SAU de blé et 41% de maïs, avec des rotations maïs/céréale ou maïs/céréale/céréale. Le reste se divise en 8.5% d'orge, 6% de prairies, 3.5% de colza et quelques autres cultures sur une petite portion de l'exploitation. Un deuxième groupe, identifié comme étant des élevages mixtes, possède un assolement plus diversifié : on retrouve 19% de maïs grain, 19% de blé et 12% d'orge, mais on y ajoute une grande part de cultures fourragères destinées aux bovins : 29% de prairies et 14% de maïs fourrage. Les rotations dans ces élevages sont plus longues, avec une moyenne de 6.3 ans.

c. Reconcevoir un système de culture

L'adoption de la luzerne dans les cultures d'une exploitation va ainsi modifier le système de culture existant. Pour rappel, un système de culture peut être défini comme « l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur une ou plusieurs parcelles gérées de manière identique au fil des années » (Sebillote, 1990 dans Havard et al., 2017). Il convient donc d'imaginer un système qui sera adapté à cette nouvelle production, sans dégrader la durabilité du système existant. Un système est durable s'il est environnementalement sain, économe en ressources, viable économiquement et dont l'aspect social est soutenu.

i. Conception de systèmes de cultures

D'après Meynard et al. (2012), si l'expérimentation factorielle est la méthode la plus utilisée pour améliorer les systèmes de culture, l'expérimentation systémique est plus adaptée à l'évolution rapide des techniques et des connaissances, ainsi qu'à la grande diversité des contextes qu'on peut retrouver en agriculture, qui multiplierait les expériences nécessaires. En prenant en compte la complexité de l'agrosystème, l'échelle systémique est la plus à même de prévoir les effets à longs terme des nouveaux systèmes. C'est donc à cette échelle que se place la démarche de conception de systèmes de cultures ainsi que son évaluation.

Si les méthodes de conception et évaluation de systèmes peuvent varier, leur base est cependant semblable et elles suivent les mêmes étapes, décrites par Peter Vereijken en 1997 (Reau et al, 2012). La première étape consiste à rassembler et hiérarchiser les objectifs associés au nouveau système, ainsi qu'à déterminer les résultats que ces nouveaux systèmes devront atteindre. L'étape suivante est l'étape de conception d'un prototype théorique du nouveau système de culture, qui sera ensuite évalué a priori (ex ante) ou lors d'un test au champ (ex post). Ces évaluations permettront de sélectionner les prototypes prometteurs afin de les implanter et de les développer dans des groupes pilotes d'agriculteurs (Reau et al, 2012). La démarche de conception est une démarche itérative, comme on le voit en Figure 3 ci-contre. L'étape de conception peut se faire à dire d'experts au cours d'ateliers de conception visant à valoriser l'intelligence collective, ou via l'utilisation de modèles, qui facilitent les choix de conception (Havard et al., 2017).

Tableau 1 : Comparaison des critères évalués par les différents outils d'aide à la décision

Critère	Modalité	CRITER+MASC	CASSIOPEE PERFORMANCE	SYSTERRE
Production(s) dominante(s)	Grandes Cultures			
Enjeu	Economique			
Enjeu	Social			
Enjeu	Technique / agronomique			
Enjeu > Environnement	Déchets			
Enjeu > Environnement	Energie			
Enjeu > Environnement > Sol	Erosion et ruissellement			
Enjeu > Environnement > Sol	Matière organique			
Enjeu > Environnement > Sol	Compactage			
Enjeu > Environnement > Homme	Paysage			
Enjeu > Environnement > Homme	Nuisances			
Enjeu > Environnement > Homme	Santé			
Enjeu > Environnement > Air	Emission de GES			
Enjeu > Environnement > Air	Autres (gaz additifs, PP)			
Enjeu > Environnement > Biodiversité	Contribution à la biodiversité domestique			
Enjeu > Environnement > Biodiversité	Contribution à la biodiversité sauvage			
Enjeu > Environnement > Eau	Pollutions ponctuelles			
Enjeu > Environnement > Eau	Consommation			
Enjeu > Environnement > Eau > Pollutions diffuses > Eaux souterraines	Nitrates			
Enjeu > Environnement > Eau > Pollutions diffuses > Eaux souterraines	Produits phytosanitaires			
Enjeu > Environnement > Eau > Pollutions diffuses > Eaux de surface	Nitrates			
Enjeu > Environnement > Eau > Pollutions diffuses > Eaux de surface	Produits phytosanitaires			
Echelle spatiale de saisie des données	Parcelle ou groupe de parcelle			
Echelle temporelle de saisie des données	Pluri-annuel			
Echelle spatiale de restitution des Indicateurs	Parcelle ou groupe de parcelle			
Echelle temporelle de restitution des données	Pluri-annuel			
Finalité de l'évaluation	Faire des simulations de changement de pratiques			

Ici le choix a été fait dès le début d'utiliser la première méthode et d'organiser un atelier de conception auprès d'agronomes spécialisés dans un domaine différent, via la méthode utilisée pour les ateliers des groupes DEPHY (dispositif Ecophyt'Eau), familière des agents de la Chambre d'Agriculture de Bretagne.

ii. Evaluer les conséquences de cette reconception

Pour ce qui est de l'évaluation, le comité de pilotage du projet FOURPROPORC n'a pas prévu de tester les systèmes conçus pour les évaluer, il s'agira donc d'une évaluation ex ante, c'est-à-dire qu'elle se fait à partir d'un prototype théorique et non d'un essai au champ.

La plupart des évaluations ex ante se basent sur des outils d'aide à la décision multicritères (Sadok et al, 2007). Cette méthode se base sur le calcul d'indicateurs, qui sont des grandeurs facilement mesurables représentant des critères, identifiés par le créateur de l'outil pour l'évaluation du système. Les valeurs de ces critères permettront de mesurer la durabilité du système.

Il existe un grand nombre d'outils élaborés pour faciliter une évaluation de système. C'est pourquoi le réseau mixte technologique (RMT) ERYTAGE, issu du projet PLAGÉ, recense ces outils et propose une aide au choix de l'outil le plus adapté au projet d'évaluation. Parmi les outils adaptés aux grandes cultures à l'échelle du système de culture, et évaluant les trois piliers de la durabilité, on peut ainsi identifier MASC (Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems) développé par l'INRA, l'outil Systerre ou CASSIOPEE Performance développés par Arvalis- Institut du végétal (Tableau 1). Notre priorité pour choisir l'outil adéquat était en premier lieu la possibilité d'obtenir des indicateurs économiques chiffrés car il nous semblait important d'avoir une vue précise sur cet aspect du système de culture, qui est déterminant pour convaincre de la faisabilité des nouveaux systèmes de culture. Bien que SYSTERRE ait cette option, notre choix s'est porté sur l'outil MASC assisté de l'outil CRITER. En effet, CRITER est un outil complémentaire à MASC qui permet de calculer un grand nombre d'indicateurs nécessaires à MASC, dont des indicateurs économiques comme désiré. De plus, MASC prend en compte plus d'indicateurs environnementaux et propose une agrégation de tous les indicateurs, que SYSTERRE ne propose pas, ce qui permet un gain de temps et assure une constance et une objectivité sur le processus d'évaluation, dans le sens où chaque évaluation se fait sur la même base de décisions.

3) Périmètre du stage, objectifs et hypothèses

Il convient tout d'abord de préciser que ce stage s'inscrit dans un projet plus important coordonné par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne (CRAB), qui compte notamment des essais zootechniques ayant lieu sur la station expérimentale de Crecom (22), qui détermineront l'intérêt zootechnique de l'incorporation de fourrages sources de protéines dans l'alimentation des porcs élevés de façon conventionnelle.

A partir des éléments énoncés ci-dessus, on peut poser la problématique suivante :

L'introduction des fourrages riches en protéines dans les rotations des exploitations porcines bretonnes, à destination de l'alimentation du troupeau, améliore-t-elle la durabilité du système de culture ? De l'exploitation ?

Les objectifs du stage sont de :

- Re-concevoir des systèmes de culture représentatifs des élevages de porcs bretons en agriculture conventionnelle pour y intégrer des fourrages protéiques destinés à l'alimentation du troupeau
- Evaluer les performances de ces nouveaux systèmes de culture
- Dégager un bilan global sur l'exploitation sous réserve que les essais zootechniques nous fournissent des données

Nous avons vu que lors de l'implémentation de fourrages protéinés dans l'alimentation des porcs en agriculture biologique, les résultats d'engraissement des porcs peuvent être moins bons qu'avec un aliment classique. Ces « pertes » ont pu être compensées par le prix de vente des carcasses et par un gain en taux de muscles des carcasses, plus élevés en agriculture biologique. Un des objectifs ici est donc de déterminer si l'implémentation de fourrages protéinés dans le conventionnel peut offrir d'autres avantages qui contrebalanceraient cette perte.

Les hypothèses que nous formulons sont les suivantes : (i) l'introduction de nouvelles cultures et donc la diversification des rotations va entraîner une réduction de la pression en bioagresseurs, donc un moindre recours aux produits phytosanitaires ; (ii) de même, l'introduction de légumineuses dans les systèmes de culture va permettre de diminuer les besoins en fertilisation azotée. Ces deux premiers points peuvent entraîner une baisse des charges d'intrants. (iii) Au niveau économique les modifications des systèmes de culture peuvent venir contrebalancer des éventuels effets négatifs de la nouvelle ration sur l'atelier d'élevage.

Tableau 2 : Différentes présentations des aliments et régimes évalués

	Forme de présentation	Taux de rationnement du régime standard	Quantité pour porcs (kg/animal)	Quantité pour truies (kg/animal)	
	Enrubannage	5% porcs 10% truies	32	80	Régime 1 : 32 kg de luzerne/porc 80 kg de luzerne/truie
	Ensilage		32	--	
	Bouchons		32	80	
	Farine	5% porcs 12% truies	12	40	Régime 2 : 12 kg de luzerne/porc 40 kg de luzerne/truie
	Farine	10% porcs 12% truies	24	40	
Trèfle	Enrubannage	5% porcs 10% truies	32	80	Régime 3 : 32 kg de trèfle/porc 80 kg de trèfle/truie
Méteil	Enrubannage	5% porcs 10% truies	--	80	Régime 4 : 32 kg de luzerne/porc 80 kg de méteil/truie

II- Matériel et méthodes :

1) Conception des systèmes de culture

a) Typologie des exploitations

Pour établir les contraintes et le contexte nécessaires à l'atelier de conception, nous avons dans un premier temps réalisé une typologie des assolements des élevages porcins bretons.

Pour ce faire, nous avons utilisé la typologie INOSYS mentionnée dans l'état de l'art ci-dessus (cf I-2)b) p6), et établi à partir de celle-ci 4 exploitations porcines types. Pour des questions de faisabilité de l'étude dans le temps imparti nous n'avons gardé que les 4 types d'élevages les plus représentés en Bretagne, car garder les élevages présents en effectif moins important multiplierait de façon trop importante les cas à évaluer. Pour établir les besoins en fourrage de ces élevages, la taille du cheptel et le type d'animaux (truies, porcs, porcs en post-sevrage) doivent être connues. Les informations de la typologie INOSYS nous ont permis d'établir le nombre de truies de ces élevages, duquel on a pu déduire le nombre de porcs à l'engraissement par année en multipliant ce nombre par le nombre de porcs produits par truie, qu'il a été conseillé de fixer à 24 par les agents du volet zootechnique du projet.

Pour ce qui est de la construction des assolements, il faut préalablement connaître la surface moyenne de chaque exploitation type ainsi que les surfaces actuelles des différentes cultures. La typologie INOSYS nous a fourni ces informations, mais ne mentionne que les surfaces moyennes des grandes familles de cultures : Surfaces Fourragères Principales (SFP), céréales, autres. Ces informations n'étant pas suffisamment précises, nous les avons reliées aux surfaces identifiées dans l'étude de Ramonet et al. (2012), qui donne des surfaces pour chaque culture. Ainsi les proportions de surface en blé, maïs grain et orge trouvées dans cette étude ont été rapportées dans les surfaces moyennes indiquées dans INOSYS. Par exemple pour une exploitation comptant 4 ha de SFP et 71 ha de céréales/oléagineux (données INOSYS), et 38% de blé, 41% de maïs et 8.5% d'orge (données Ramonet et al., 2012), on obtient un assolement de 4 ha de SFP, environ 30 ha de blé, 32 ha de maïs grain et 7 ha d'orge. Les oléagineux représentant pour l'ensemble des types une très faible surface, seules les céréales ont été gardées pour simplifier l'assolement.

b) Identification des scénarios

En tout 7 régimes alimentaires sont testés dans la station expérimentale de Crécom pour deux systèmes techniques : élevage sur paille ou sur caillebottis. Les quantités étant différentes pour chaque système technique, nous nous focaliserons sur les quantités données pour la modalité caillebottis, qui est plus représentée dans les élevages bretons, afin de limiter le nombre de cas à traiter (Tableau 2).

6 régimes ont été retenus :

- Luzerne ensilée, luzerne enrubannée et luzerne déshydratée sous forme de granulés ces trois régimes nécessitant la même quantité de fourrage, ils sont regroupés sous la dénomination « Régime 1 » ou « R1 », en précisant respectivement R1 Ensilage, R1 Enrubannage ou R1 Bouchons
- Luzerne sous forme de farine implémentée à 5%. Ce régime a été privilégié par rapport au régime « Farine 10% » car la quantité de luzerne à produire dans ce cas n'était pas assez différente des trois premières modalités, ce qui aurait multiplié les scénarios à évaluer sans entraîner une grande différence d'assolement
- Trèfle enrubanné
- Méteil enrubanné pour les truies, luzerne enrubannée pour les porcs.

Les régimes testés ont ensuite été croisés avec les types d'élevages identifiés préalablement, ce qui nous a permis d'obtenir les scénarios à évaluer. Ces scénarios sont présentés en III-1)a).

La surface devant être allouée à la production de ces fourrages a été calculée en fonction du cheptel de chaque élevage et de la quantité nécessaire à chaque régime, de façon à répondre totalement aux besoins en fourrages. La part de surface allouée à ces nouvelles cultures sur la surface cultivée en céréale a aussi été calculée, de façon à discriminer les scénarios qui utiliseraient trop de surface céréalière et ne seraient pas faisables. Ainsi ont été éliminés les scénarios pour lesquels la surface nécessaire à la production de fourrages dépasse la SAU, comme ça a été le cas en particulier pour certains scénarios du type S-. Ceux pour lesquels la surface nécessaire dépasse 55% de SAU allouée aux céréales ont été aussi éliminés, car peu réalistes. Ce choix de mesurer le rapport aux surfaces allouées aux céréales -et pas aux fourrages déjà présents, ou à la SAU totale- a été fait pour que l'atelier porcine ne concurrence pas les autres ateliers d'élevage des exploitations mixtes sur la surface fourragère.

c) Atelier de conception

La méthode retenue initialement pour conduire l'atelier de conception était de réunir des experts en agronomie de la CRAB, aux connaissances complémentaires, et leur exposer les contraintes à intégrer dans la conception : surface de l'exploitation, surface minimum en fourrage à produire pour avoir la quantité nécessaire selon le type d'animal et le scénario d'alimentation, conservation des proportions de surfaces pour chaque culture céréalière.

Le but était d'utiliser la malette mission EcoPhyt'Eau (CIVAM, 2017) lors d'une journée consacrée à la conception de ces systèmes, mais le contexte lié au COVID-19 nous a fait changer d'organisation en divisant le déroulement de cette phase de conception en plusieurs étapes. La première étape a consisté, en réunion vidéo, à exposer la démarche ainsi que les contraintes exposées ci-dessus. A l'issue de cette réunion, des rotations ont été construites conjointement pour satisfaire ces contraintes.

L'introduction de la luzerne, du trèfle et du méteil entraînent une modification des itinéraires techniques moyens sur les cultures qui les suivent. A l'issue de cette réunion, les participants ont proposé de nouveaux itinéraires techniques pour le maïs et le blé qui suivaient les fourrages protéiques introduits dans la rotation.

Une deuxième réunion a ensuite été organisée pour synthétiser les propositions et décider collectivement des itinéraires techniques à retenir pour l'évaluation.

Enfin des systèmes de culture sans production de fourrage ont été construits sur la base d'itinéraires techniques adaptés au secteur. Les rotations ont été créées selon les assolements propres à chaque exploitation type selon le schéma maïs grain-blé ou maïs grain-blé-orge tel que décrit par l'étude de Ramonet et al., (2012). Ces « Témoins » représentent les systèmes de culture pratiqués actuellement par les éleveurs porcins et serviront de base pour comparer les nouveaux systèmes.

2) Evaluation

a) Choix de l'outil et fonctionnement

MASC a été choisi car il prend en compte des aspects environnementaux que Systerre ne prend pas en compte et que, via Criter, il est quand même possible d'obtenir des données chiffrées. MASC permet aussi d'agréger les critères pour avoir une idée de la durabilité globale, alors qu'il semble que Systerre ne propose pas de pondération objective des indicateurs qu'il a calculés.

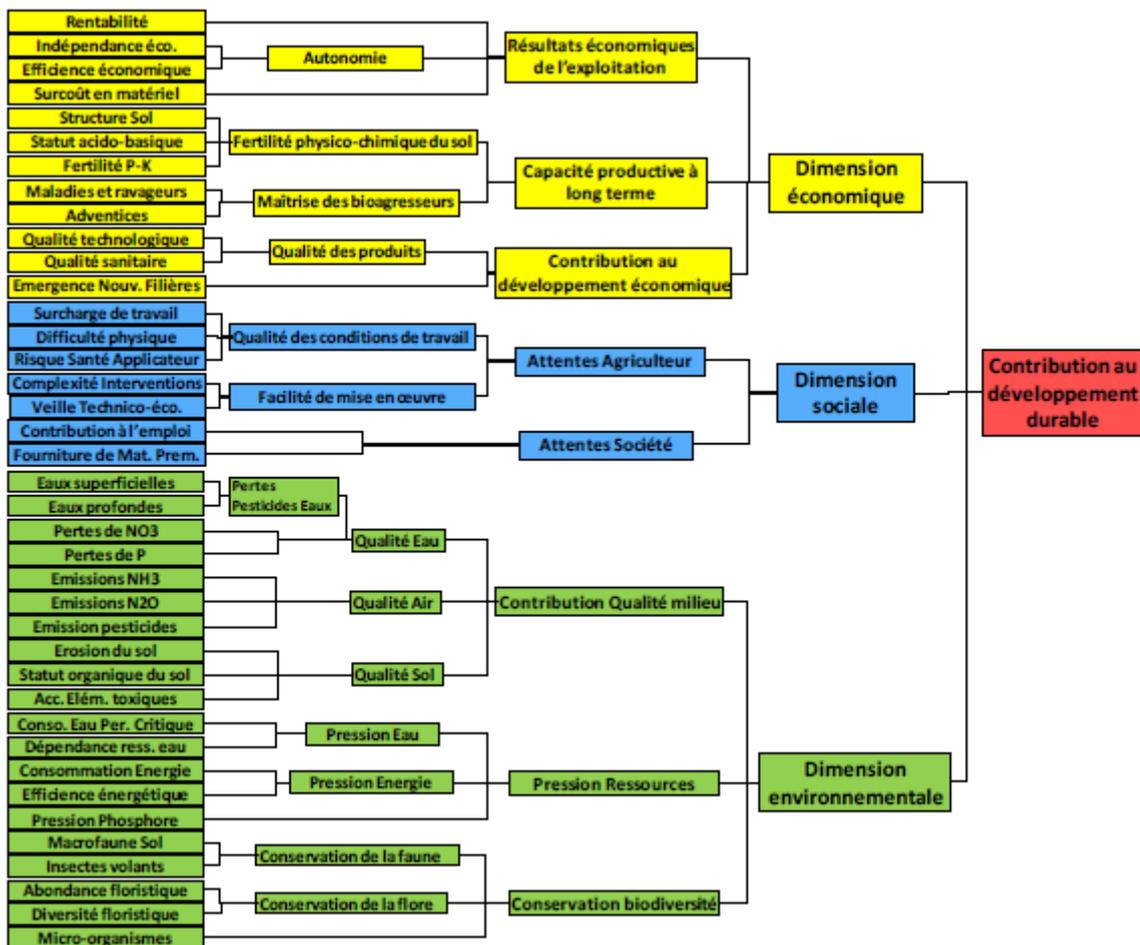


Figure 5 : Présentation de l'arborescence de MASC 2.0 (Craheix et al., 2011)

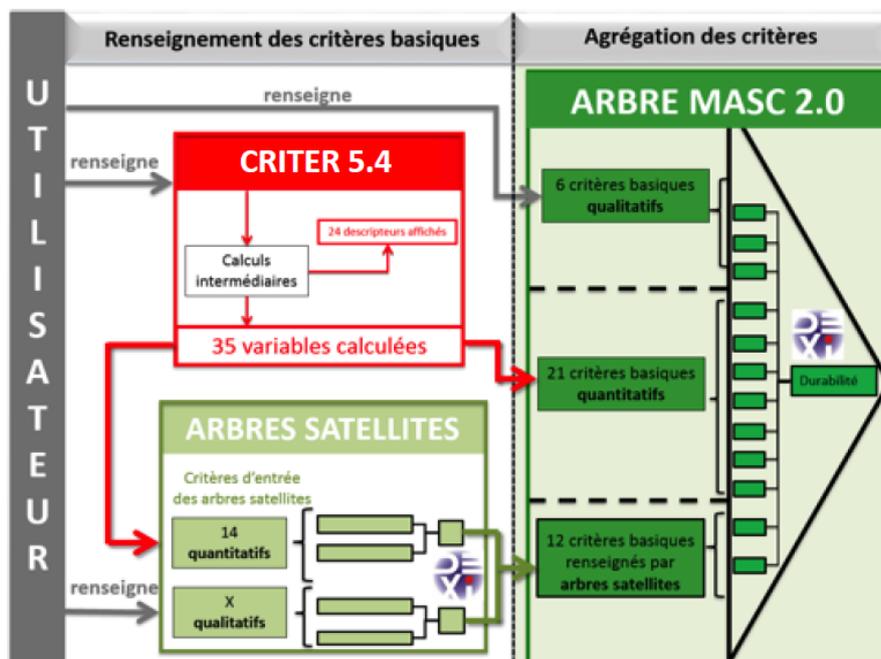


Figure 6 : Intégration de l'utilisation des différents indicateurs calculés par CRITER dans une évaluation multicritère faite avec MASC 2.0 (Reau et al., 2015)

MASC est un arbre de décision construit sur le logiciel d'analyse multicritères d'aide à la décision DeXi, qui décompose un problème décisionnel complexe en sous-problèmes plus faciles à résoudre (Craheix et al., 2011). L'arbre de décision de MASC 2.0, la version qui a été utilisée ici, est présenté Figure 6 ci-contre. 39 critères basiques, situés aux extrémités de l'arbre de décision, sont renseignés grâce à des indicateurs, qui permettent d'attribuer une classe qualitative à chacun de ces critères. Ces critères basiques sont ensuite agrégés en de nouveaux critères selon une règle de décision portant sur leur classe qualitative : par exemple si le Critère 1 vaut x et le Critère 2 vaut y, alors le critère d'agrégation de ces deux critères vaut z. 26 critères agrégés sont présents dans l'arbre de décision de MASC. Le critère « Contribution au développement durable » est à la base de l'arbre, agrégeant l'ensemble des autres critères. Des arbres satellites ont été créés pour faciliter le calcul de certains critères de base complexes à partir d'indicateurs facilement mesurables.

Certains indicateurs ont pu être calculés grâce au logiciel CRITER 5.4. CRITER calcule 21 indicateurs de base utilisés par MASC ainsi que 14 indicateurs utiles au renseignement d'arbres satellites de MASC, et 24 critères utiles à la compréhension des résultats de l'évaluation. L'ensemble des indicateurs utilisés et leur mode de calcul sont présentés en Annexe I. Pour utiliser ce logiciel, il faut d'abord le paramétrer en entrant les informations relatives au système de culture à évaluer telles que des données pédoclimatiques ou actualiser certaines données économiques telles que les aides perçues ou les prix des intrants. La Figure 7 ci-contre résume le mode de fonctionnement d'une évaluation utilisant CRITER et MASC. Il suffit ensuite de décrire le système de culture parcelle par parcelle et culture par culture en détaillant l'itinéraire technique pratiqué sur chacune, puis CRITER calcule les indicateurs pour lesquels il a été créé. La partie suivante explique comment a été paramétré CRITER.

b) Paramétrage de l'outil CRITER

L'ensemble des données utilisées pour le paramétrage de CRITER est disponible en Annexe II pour les informations économiques et Annexe III pour les informations pédoclimatiques.

i. Informations économiques

Pour calculer des indicateurs économiques, CRITER possède par défaut des données de prix : prix des intrants, des aides perçues, coût d'utilisation d'outils agricoles. Pour que les calculs soient cohérents avec le contexte du projet, tous ces prix ont été actualisés.

Le coût des semences utilisées dans les systèmes de culture évalués, le prix de vente des récoltes ainsi que le prix des produits sanitaires utilisés dans les itinéraires techniques ont été actualisés à partir des données de vastes enquêtes pluriannuelles adressées aux agriculteurs clients de la CRAB, menées pour avoir des références économiques sur différentes cultures.

Le coût d'amortissement des outils agricoles et du carburant ont été déterminés grâce au Barème d'Entraide des CUMA de l'Est 2018-2019.

Enfin, il a fallu modifier la valeur des aides : CRITER étant programmé avec l'ancien système des Droits au Paiement Unique (DPU), il a fallu les remplacer par la valeur des Droits au Paiement de Base (DPB) d'une valeur de 233€/ha. Il existe aussi une aide à la production de légumineuses que nous avons fixée à la moyenne de la valeur de cette aide sur les deux dernières années : 238€/ha de cultures de légumineuses et 112€/ha de culture de légumineuses destinées à la déshydratation. Le méteil étant récolté avant la fin des déclarations PAC, nous ne lui avons pas attribué ces aides spécifiques car la présence de la culture n'aurait pas pu être prouvée lors d'un éventuel contrôle.

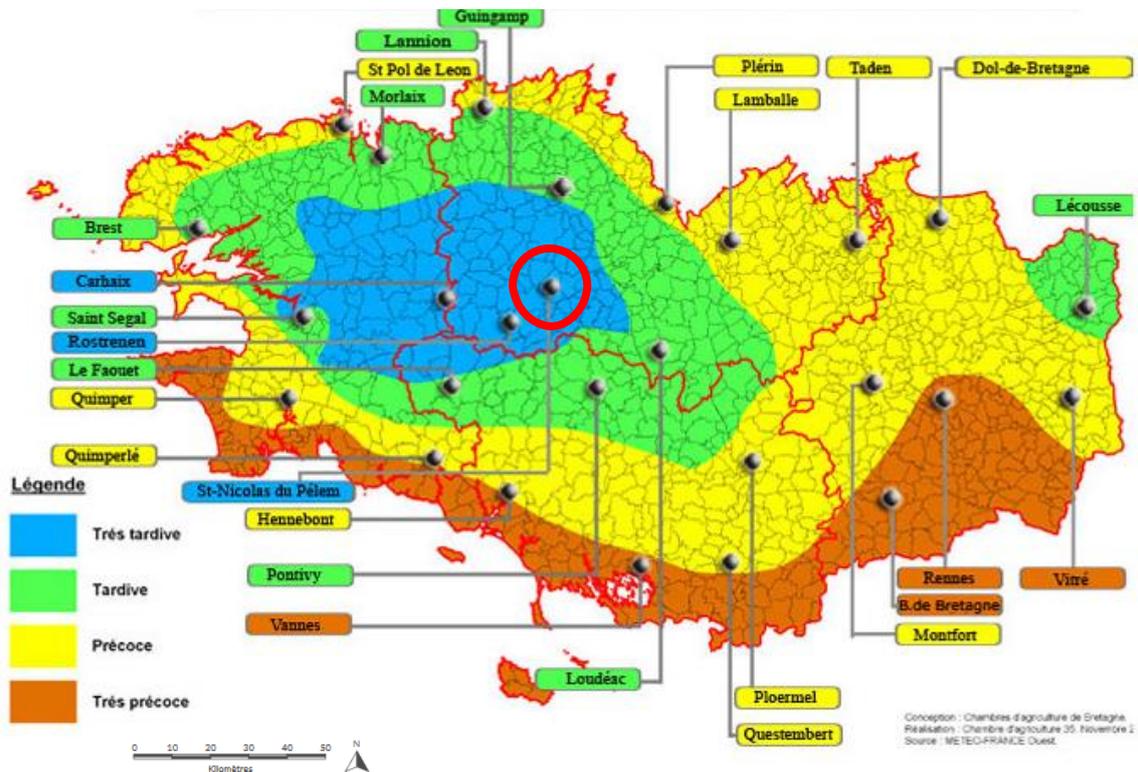


Figure 7 : Zones agro-climatique de la Bretagne. La station expérimentale de Crecom est située à St-Nicolas-du-Pelem (22), en zone très tardive (source : www.chambres-agriculture-bretagne.fr)

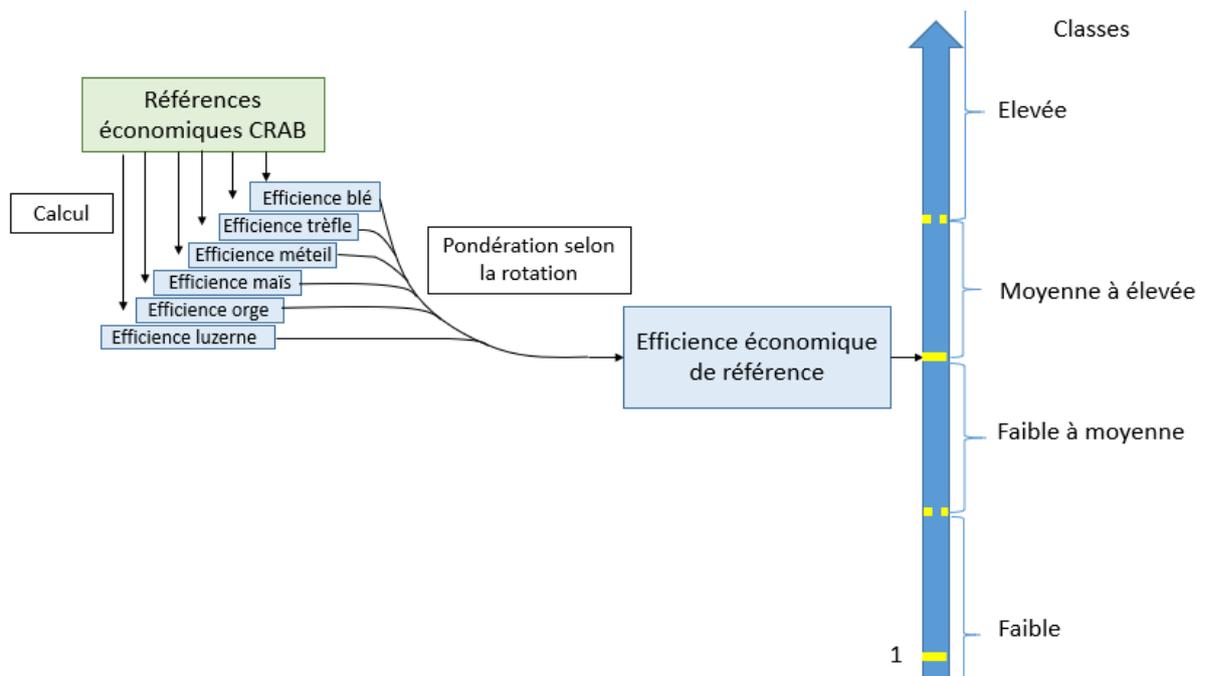


Figure 8 : Schéma explicatif du mode de calcul du critère Efficacité économique

ii. Informations pédoclimatiques

Certains indicateurs tels que la maîtrise des pertes d'azote ou de matières actives nécessitent des informations sur le contexte pédoclimatique des parcelles étudiées. L'ensemble de l'évaluation est effectuée en se basant sur le climat et le sol du secteur de la station d'expérimentation de Crecom (Figure 8).

Pour ce qui est des données météorologiques, les variables à renseigner sont la pluviométrie, la température moyenne et l'évapotranspiration quotidiennes. Une année type a été élaborée en utilisant les mois médians en termes de pluviométrie d'une station météo située à Saint-Nicolas-du-Pelem, la commune où est située la station expérimentale, sur la période 2009-2019. L'utilisation de mois médians permet de ne pas prendre en compte les années extrêmes, comme l'aurait fait une moyenne.

Les données sur le sol des parcelles évaluées ont été obtenues à dire d'experts pour les caractéristiques de la parcelle (pente, distance à un point d'eau, bande enherbée, drainée ou pas), et à partir d'une médiane d'analyses de sol de 10 parcelles du secteur de Crecom pour le reste des caractéristiques du sol (granulométrie, pH, teneur en matière organique, taux de calcaire, taux de cailloux, hydromorphie, profondeur).

iii. Paramétrage des cultures

La luzerne a été utilisée sur CRITER en choisissant la culture « Prairie de légumineuses ensilage » déjà paramétrée dans l'outil et les taux de P et K exportés ont été adaptés suivant les valeurs données par le COMIFER (2019), sur la base desquelles les calculs de fertilisation ont été effectués. Le méteil, constitué de féverole, pois, vesce et triticale, a été paramétré à partir de la culture « Prairie Graminées-Légumineuses – 1ere année », culture la plus proche déjà paramétrée.

c) Fixation des seuils

Comme expliqué plus haut, les critères de MASC sont tous déclinés en classes telles que Faible, Moyen, Elevé. Pour les indicateurs de base, les limites de ces classes sont déterminées par des seuils de valeurs dans l'unité de l'indicateur de base. Par exemple la classe « Moyen » de l'indicateur « Statut acidobasique initial du sol » prend effet pour un pH du sol situé entre 6 et 7.

Parmi tous les indicateurs de base de l'arbre MASC et de ses arbres satellites, les seuils entre les différentes classes sont préconisés par les créateurs de l'outil pour 45 d'entre eux. Ces seuils sont préconisés pour des indicateurs complexes et n'ont pas pour objet d'être modifiés. Des exemples de seuils ont été proposés par MASC pour 13 autres indicateurs et laissés au choix de l'utilisateur de les modifier selon ses objectifs. Toutes les propositions de seuils pour ces indicateurs nous ont convenu, aussi nous les avons conservées. Enfin, pour 5 indicateurs la valeur des seuils doit être fixée par l'utilisateur, il s'agit des critères de Rentabilité économique, d'Efficiency économique, de Surcharge de travail, de Maîtrise de l'accumulation d'éléments toxiques et de Consommation d'eau en période critique. L'ensemble des seuils des indicateurs utilisés est disponible en Annexe IV.

Les seuils de l'**Efficiency économique** ont été déterminés en calculant préalablement l'efficiency économique de référence de chaque culture à partir des références technico-économiques déjà utilisées pour le paramétrage économique de Criter (Figure 9 ci-contre). L'efficiency économique de référence de chaque système a ensuite été calculée en pondérant l'efficiency de référence de chaque culture par sa proportion dans la rotation dudit système. Pour chaque système, la valeur de référence constituait le seuil médian, qui séparait les classes « faible à moyenne » et « moyenne à élevée ». Le seuil faisant passer l'efficiency de « faible » à « faible à moyenne » a été fixé à la moitié de l'écart entre

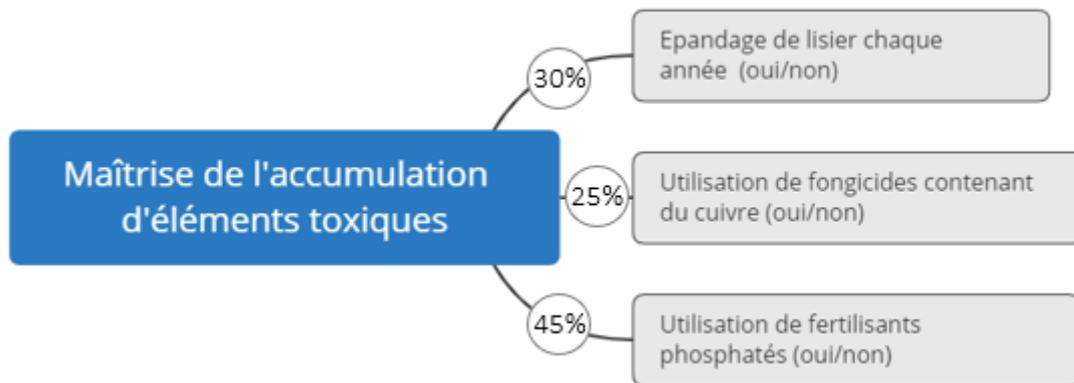


Figure 9 : Structure de l'arbre de décision donnant la classe prise par le critère Maîtrise de l'accumulation d'éléments toxiques dans le sol

1 et la valeur de référence. Le troisième seuil, faisant passer l'efficacité de « moyenne à élevée » à « élevée » a été fixé en prenant le même écart qu'entre le premier et le deuxième seuil. Ces seuils dépendaient donc à chaque fois du système de culture qui les concernait. Par exemple l'efficacité d'un système à rotation longue, ayant une faible fréquence de retour de luzerne, sera moins influencée par l'efficacité de la luzerne que par celle des céréales.

Pour l'indicateur **Surcharge de travail**, seulement deux classes ont été prévues par les créateurs de MASC : élevée ou faible. Il a donc été décidé d'attribuer une surcharge faible aux systèmes pour lesquels il y a eu une augmentation du temps de travail de moins de 5% par rapport au temps de travail calculé pour un système de culture « Témoin », qui ne produirait pas de fourrages et serait composé à majorité de blé, de maïs et d'orge. Une surcharge de travail élevée a donc été attribuée à tous les systèmes pour lesquels le temps de travail excédait 5% de temps en plus du temps témoin. En effet, tout comme pour la rentabilité, il est primordial que les nouveaux systèmes ne dépendent pas plus de temps qu'un système sans fourrage car l'intérêt d'un tel système pour des éleveurs en pâtirait.

Pour la détermination des classes de la **Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques**, un arbre de décision a été construit sur le logiciel DEXi afin de déterminer de façon structurée dans quelle classe le système est situé. D'après Tremel-Schaub et Feix (2005) et Dauguet et al. (2010), les sources d'accumulation d'éléments toxiques dans les sols agricoles sont les fongicides contenant du cuivre, l'épandage de lisier et l'utilisation d'engrais phosphatés. Les seuils des indicateurs de base ainsi que la pondération des différents critères ont été choisis en fonction de ces sources. L'arbre de décision créé est visible Figure 10 ci-contre.

Pour l'indicateur de **Consommation d'eau en période critique**, les cultures n'étant pas irriguées, la classe de cet indicateur a toujours été fixée à 0.

Enfin, pour que l'évaluation ait une portée sur toute l'exploitation, la nature de l'indicateur du critère **Rentabilité** a été modifiée. En effet, l'aspect économique du système de culture est très important pour justifier de l'intérêt de l'incorporation de fourrages protéiques dans la ration des porcs. Si ce nouveau système est moins rentable qu'avec une alimentation standard, il y a très peu de chances que l'agriculteur choisisse de passer à ce mode d'alimentation. Sur MASC, l'indicateur de ce critère est la marge semi-nette du système de culture. Comme les objectifs du stage étaient de dégager un bilan sur l'exploitation, le coût de l'alimentation du cheptel, par an, a été calculé pour chaque scénario en intégrant les besoins en matières premières et le coût correspondant, le coût de production des matières premières sur la ferme -par le biais de CRITER, dont un des indicateurs de diagnostic calculés est les charges totales des cultures- et les aides auxquels les systèmes avaient droit. La marge semi-nette a donc pu être remplacée par le rapport $R = \frac{\text{Coût alimentaire du scénario « Avec fourrage »}}{\text{Coût alimentaire du scénario « Sans fourrage »}}$. A partir de cela les classes ont été attribuées comme suit : Rentabilité très élevée < R=95% < Rentabilité moyenne à élevée < R=105% < Rentabilité faible à moyenne < R=115% < Rentabilité très faible.

L'ensemble des seuils des indicateurs utilisés est disponible en Annexe IV.

d) Etudes supplémentaires

Pour finir, le cas de la sous-traitance des récoltes de fourrage a été examiné en prenant l'exemple d'un scénario pour établir les conséquences de cette pratique sur la durabilité économique et sociale du système de culture.

De même, nous avons mené une rapide étude de la sensibilité de la Rentabilité aux cours des matières premières -tourteaux et céréales- en prenant ici aussi l'exemple d'un scénario évalué

Tableau 3 : Elevages porcins bretons types et leurs assolements

	Spécialisés avec cultures	Spécialisés sans culture	Mixtes bovins lait ou bovin viande	Mixtes bovins lait et bovins viande
Nombre de porcs	5496	4680	3360	3432
Nombre de truies	229	195	140	143
SAU	79 ha	21 ha	75 ha	100 ha
Assolement	4 ha de SFP 71 ha de céréales : Blé : 30 ha Maïs : 32 ha Orge : 7 ha	3 ha de SFP 17 ha de céréales : Blé : 8 ha Maïs : 8 ha Orge : 2 ha	41 ha de SFP 30 ha de céréales : Blé : 11 ha Maïs : 11 ha Orge : 7 ha	63 ha de SFP 32 ha de céréales : Blé : 12 ha Maïs : 12 ha Orge : 8 ha

Tableau 4 : Scénarios retenus en fonction de la surface allouée aux céréales.

Les cases grises et oranges représentent les scénarios retenus, les rouges représentent les scénarios irréalistes et donc non-évalués.

		Spécialisés +	Spécialisés -	Mixtes
Régime 1	Surface nécessaire	24.6 ha	21 ha	15.1 ha
	% SAU	37 %	123 %	50.2 %
Régime 2	Surface nécessaire	9.9 ha	8.4 ha	6 ha
	% SAU	15 %	50 %	20 %
Régime 3	Surface nécessaire	24.6 ha	21 ha	15.1 ha
	% SAU	37%	123 %	50 %
Régime 4	Surface nécessaire	34.8 ha 19.5 ha luzerne 15.3 ha méteil	29.6 ha 16.6 ha luzerne 13ha méteil	21 ha 11.9 ha luzerne 9,3 ha méteil
	% SAU	52 %	174 %	71 %

précédemment. Pour cela nous avons simulé des fluctuations du cours des matières premières et calculé les conséquences sur le coût alimentaire du témoin et du nouveau système.

III-Résultats

1) Conception des nouveaux systèmes de culture

a) Identification des assolements des différents élevages types

Grâce au croisement de la typologie INOSYS et de l'enquête de Ramonet et al. (2012), nous avons pu identifier les 4 élevages porcins types les plus représentés ainsi que leurs caractéristiques (Tableau 3). Sur ces 4 élevages types, deux sont des élevages spécialisés, c'est-à-dire que la production de porcs est leur activité d'élevage principale. L'un possède 75 ha de cultures dont 71 de céréales, et l'autre seulement 20 ha de cultures dont 17 ha de céréales, il achète donc presque tous les aliments de ses animaux. Ces deux élevages seront appelés respectivement « Spécialisé + » ou « S+ » et « Spécialisé – » ou « S- » par la suite. Les deux autres élevages sont des élevages mixtes, l'un produisant soit du lait soit de la viande en plus des porcs, et l'autre produisant les deux. Ces deux élevages possèdent 30 ha de céréales et leur principale différence est que le second possède 30 ha de SFP en plus par rapport au premier. Comme expliqué plus haut, le choix a été fait d'implanter les nouveaux fourrages sur la surface en céréales, qui est la même pour les deux élevages. De plus, comme leur nombre de porcs produits est proche, ces deux élevages seront évalués sous la forme d'un seul élevage appelé « Mixte » ou « M ».

b) Identification des scénarios à évaluer

Suite au croisement Régimes*Élevages types et à la discrimination des scénarios irréalisables, on retient 12 scénarios pour lesquels un système de culture devra être conçu (Tableau 4) : les R1, R3 et R4 de l'élevage S- n'ont pas été retenus car la surface nécessaire aux fourrages dépasse la surface totale de l'élevage, et le R4 des élevages mixtes n'a pas non plus été retenu car sa surface fourragère représente 70% de la surface allouée aux céréales, ce que nous avons jugé trop élevé pour être faisable.

c) Nouveaux systèmes de cultures créés

Une fois les scénarios à évaluer identifiés, les systèmes de culture « témoin », sans fourrage ont été construits. Ces systèmes comportent, comme expliqué dans l'état de l'art, des rotations maïs/blé ou maïs/blé/orge. Elles sont répétées de manière à ce que les surfaces mises en jeu correspondent aux résultats de la typologie. Ainsi il existe un système témoin par élevage type.

L'étape suivante a été de construire les systèmes de culture incluant les nouveaux fourrages. Par soucis de faisabilité au niveau du temps de travail, la surface nécessaire en fourrage a été implantée progressivement, il faut donc plusieurs années dans certains scénarios, comme le S+ R1 qui nécessite 25 ha de luzerne, pour arriver au système définitif. Pour ce qui est des périodes d'implantation, il a été décidé d'implanter les légumineuses pérennes (luzerne et trèfle) en août, elles suivent donc toujours une céréale. La destruction a lieu, elle, au début du printemps, elles sont donc toujours suivies d'un maïs.

L'objectif était ici de produire des itinéraires techniques **représentatifs** de ce qui se fait aujourd'hui en Bretagne, ils ne présentent donc pas de pratiques innovantes. Néanmoins il a fallu adapter les itinéraires du maïs et du blé à la présence d'une légumineuse pérenne en précédent.

Il a été établi lors de l'atelier de co-conception que l'effet précédent des légumineuses pérennes sur l'itinéraire technique des cultures suivantes était de deux ans. Ainsi, la présence de luzerne

ou de trèfle permet une moindre fertilisation du maïs suivant, en passant de 95 uN à 50 uN. La fertilisation du blé suivant ce maïs ne s'en voit cependant pas changée.

Au niveau des produits phytosanitaires, les maïs suivants les fourrages voient un passage d'herbicide supprimé et un insecticide ajouté lors du semis, de façon à traiter l'apparition probable de taupins après 3 ou 4 ans sans travail du sol. Les blés arrivant après ces maïs ont eux aussi un traitement herbicide en moins, et une réduction de fréquence de traitement d'un autre herbicide dirigé sur les folles avoines. Les blés de méteil ont la même évolution mais gardent la même fréquence de traitement des folles avoines.

Enfin, une donnée importante à prendre en compte est l'épandage de lisier : les élevages de porcs produisent beaucoup de lisier, qu'il faut pouvoir épandre. L'épandage de lisier a donc été favorisé sur toutes les cultures pour lesquelles il était possible de le faire, à savoir le maïs, le blé, l'orge et la luzerne. La luzerne ne nécessite pas de fertilisation azotée mais contrairement au trèfle la réglementation autorise d'y épandre du lisier, c'est pourquoi le choix a été fait de le faire afin de limiter les frais éventuels de traitement du lisier supplémentaire ou la recherche d'exploitations sur lesquelles l'épandre via des plans d'épandage.

Il y a donc en tout 9 itinéraires techniques créés : maïs, maïs de luzerne, blé, blé post maïs de luzerne, blé de méteil, orge, luzerne, trèfle, méteil. Les itinéraires techniques créés sont disponibles en Annexe V, et les rotations répondant aux besoins sont présentées Annexe VI.

2) Evaluation des systèmes de cultures

a) Evaluation des systèmes de culture sans fourrages (Témoins)

Dans un premier temps nous caractériserons la durabilité des systèmes de culture sans fourrages afin de nous appuyer dessus pour voir les évolutions dues aux nouveaux systèmes lors de leur évaluation.

Au niveau des résultats économiques, l'indicateur de **Rentabilité** étant déjà calculé pour comparer chaque scénario par rapport à son équivalent sans fourrage (pour rappel, cet indicateur a été modifié par $R = \frac{\text{Coût alimentaire du scénario « Avec fourrage »}}{\text{Coût alimentaire du scénario « Sans fourrage »}}$ Tableau 5) il n'est pas nécessaire ici de décrire ce critère. Il en sera de même pour la **Surcharge de travail** et le **Surcoût en matériel** : la valeur prise par la classe constitue déjà une comparaison avec le témoin (respectivement temps de travail ou coût d'achat du matériel supplémentaires au témoin), ces indicateurs ne seront donc pas décrits ici. Sur un grand nombre de critères il n'y a pas de différence entre les systèmes témoins des élevages types.

i. Evaluation économique

La note de la dimension économique dépend en grande partie de la **Rentabilité**, aussi nous nous concentrerons sur d'autres critères de cette dimension.

Tout d'abord la **Capacité productive à long terme** est « moyenne à élevée » : ces systèmes ont une bonne **Maîtrise du statut acido-basique** et de la **fertilité phosphopotassique**. Ce dernier critère a pu prendre cette valeur car les faibles exportations des céréales sont compensées par les apports de lisier. Seuls la **Maîtrise de l'état structural du sol** et la **Maîtrise des maladies et ravageurs** sont « faibles à moyennes » dans ce système, à cause d'une forte proportion de cultures récoltées en périodes à risque -le maïs-pour le premier, et à cause d'une faible **diversité des familles cultivées** pour le deuxième. La **Qualité sanitaire** de ces systèmes sans fourrages est « moyenne ». Ce critère est principalement lié au risque de contamination par les mycotoxines, qui peuvent être toxiques pour l'homme et les animaux (Craheix et al., 2011). Enfin, la **Contribution à l'émergence de filières** est « nulle » puisque toutes les cultures cultivées ici sont très communes et n'impliquent pas de nouvelles filières.

3/4	Maîtrise des pertes dans les eaux profondes	4/4	Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux	2/4	Contribution à la qualité de l'eau	2/5	Dimension environnementale
4/4	Maîtrise des pertes dans les eaux superficielles						
2/4	Maîtrise des pertes de NO3						
2/4	Maîtrise des pertes de P						
2/4	Maîtrise des émissions de NH3	2/4	Contribution à la qualité de l'air	2/4	Contribution à la qualité du milieu		
3/4	Maîtrise des émissions de N2O						
2/4	Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air						
3/4	Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques	2/4	Préservation de la qualité du sol	2/4	Contribution à la qualité du milieu		
3/4	Maîtrise du statut organique						
2/4	Maîtrise de l'érosion						
3/3	Consommation en eau d'irrigation en période critique	4/4	Pression sur l'eau	3/4	Pression sur les ressources abiotiques		
3/3	Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau						
3/3	Consommation en énergie	4/4	Pression sur l'énergie				
3/3	Efficiences énergétiques	Pression Phosphore		2/4	Conservation de la biodiversité		
2/4	Conservation des insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune du sol				
2/4	Conservation de la macrofaune du sol						
2/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore	2/4	Conservation de la biodiversité		
2/4	Diversité floristique						
3/4	Conservation des micro-organismes du sol						

Figure 10 : Résultats de la dimension environnementale des systèmes de culture témoins S+, S- et M

3/4	Rentabilité		3/4	Résultats économiques	5/5	Dimension économique	
3/4	Indépendance économique	3/4					Autonomie économique
3/4	Efficiences économiques						
2/3	Surcoût en matériel		4/4	Capacité productive à long terme			
3/4	Maîtrise du statut acidobasique du sol	3/4					Maîtrise de la fertilité physico-chimique
2/4	Maîtrise de l'état structural du sol						
3/4	Maîtrise de la fertilité phosphopotassique	4/4	Maîtrise des bioagresseurs	3/4			Contribution au développement économique
3/4	Maîtrise des maladies et des ravageurs						
4/4	Maîtrise des adventices						
2/3	Qualité sanitaire	3/4	Qualité des produits	3/4			Contribution au développement économique
4/4	Qualité technologique et esthétique des produits						
1/3	Contribution à l'émergence de filières						

Figure 11 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R1 Enrubannage

Tous ces critères seront impactés par l'ajout de fourrages protéiques dans la rotation, d'une ampleur différente selon le scénario.

ii. Evaluation sociale

Pour cette dimension la **Satisfaction des attentes de la société** est « moyenne à élevée », notamment de par sa **Contribution à l'emploi** « moyenne à élevée » qui est déterminée par le temps de travail moyen par hectare. La **Satisfaction des attentes de l'agriculteur** est, elle, « moyenne à élevée » avec une **Facilité de mise en œuvre** « très élevée », déterminée par le **Temps de veille technico-économique** et la **Complexité des itinéraires techniques**, et une **Qualité des conditions de travail** « faible à moyenne », déterminée par la **Surcharge de travail**, le **Risque pour la santé de l'applicateur** lié aux traitements phytosanitaires pouvant être toxiques et une **Difficulté physique** tous « moyens ».

iii. Evaluation environnementale

La durabilité de la dimension environnementale des systèmes sans fourrage est « faible », avec une **Contribution à la qualité de l'air** « faible à moyenne » due aux épandages annuels de lisier rendant la **Maîtrise des émissions de NH3** aussi « faible à moyenne ». Les élevages types S- et M possèdent aussi une **Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air** « faible à moyenne ».

De plus ces trois élevages ont une **Maîtrise de l'érosion** « faible à moyenne », notamment due à la **Maîtrise de la stabilité structurale** mentionnée dans la partie économique, dont la forte proportion de maïs, récolté en conditions à risques pour le tassement du sol, a entraîné une note « faible à moyenne ».

Enfin la **Conservation de la biodiversité** est « faible à moyenne », le seul point positif étant la **Conservation des microorganismes du sol** « moyenne à élevée » grâce aux épandages réguliers de lisier.

b) *Evaluation des systèmes de culture répondant aux besoins des régimes Ensilage, Enrubannage et Bouchons de luzerne (R1)*

Ces systèmes ont été évalués sur les exploitations types S+ et M, le S- n'ayant pas assez de surface pour le réaliser. Ces trois régimes ont été groupés car ils mettent en jeu les mêmes surfaces et on donc des similitudes sur un grand nombre de critères.

i. Evaluation économique

Les résultats de ces régimes sont variables : l'ensilage et l'enrubannage sont situés dans la classe « très élevée » quel que soit l'élevage type, alors que le régime bouchons de luzerne est toujours celui pour lequel la classe est la moins bonne avec une note « élevée » quel que soit l'élevage.

On peut imputer cela surtout à la **Rentabilité** (Tableau 5 page suivante) de ces systèmes : elle est « moyenne à élevée » pour tous les scénarios pour lesquels la dimension économique est « élevée » ou « très élevée », et « très faible » pour les scénarios d'alimentation à base de bouchons. La production de bouchons de luzerne déshydratée apparaît en effet très peu rentable, car le coût alimentaire de ces scénarios est toujours au moins supérieur de 10% au coût alimentaire témoin. Cela est dû notamment au fait que l'achat de bouchons revient presque au même prix que l'achat des tourteaux qu'ils doivent remplacer, et ce même si leur récolte est prise en charge financièrement et matériellement par l'entreprise de déshydratation. Dans ce cas, le coût de la production de fourrage est d'autant plus important qu'il limite la production de céréales sur l'exploitation, sans faire gagner d'un autre côté sur l'achat de tourteaux.

4/4	Contribution à l'emploi	4/4	Satisfaction des attentes de la société			4/4	Dimension sociale
4/4	Fourniture de matières premières						
4/4	Complexité des itinéraires techniques	4/4	Facilité de mise en œuvre	3/4	Satisfaction des attentes de l'agriculteur	4/4	Dimension sociale
2/3	Temps de veille technico-économique						
1/3	Surcharge de travail	2/4	Qualité des conditions de travail	3/4	Satisfaction des attentes de l'agriculteur	4/4	Dimension sociale
2/3	Risque pour la santé de l'applicateur						
2/3	Difficulté physique						

Figure 12 : Résultats de la dimension sociale des scénarios R1 Enrubannage et Ensilage, sur les élevages S+ et M

3/4	Maîtrise des pertes dans les eaux profondes	4/4	Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux	2/4	Contribution à la qualité de l'eau	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
4/4	Maîtrise des pertes dans les eaux superficielles								
2/4	Maîtrise des pertes de NO3			2/4	Contribution à la qualité de l'air	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
2/4	Maîtrise des pertes de P								
2/4	Maîtrise des émissions de NH3	2/4	Contribution à la qualité de l'air	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
3/4	Maîtrise des émissions de N2O								
3/4	Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air	2/4	Préservation de la qualité du sol	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
3/4	Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques								
3/4	Maîtrise du statut organique	2/4	Préservation de la qualité du sol	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
2/4	Maîtrise de l'érosion								
3/3	Consommation en eau d'irrigation en période critique	4/4	Pression sur l'eau	3/4	Pression sur les ressources abiotiques	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
3/3	Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau								
3/3	Consommation en énergie	4/4	Pression sur l'énergie	3/4	Pression sur les ressources abiotiques	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
3/3	Efficacité énergétique								
2/4	Pression Phosphore			2/4	Conservation de la biodiversité	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
3/4	Conservation des insectes volants								
2/4	Conservation de la macrofaune du sol	2/4	Conservation de la macrofaune	2/4	Conservation de la biodiversité	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
1/4	Abondance floristique								
3/4	Diversité floristique	2/4	Conservation de la flore	2/4	Conservation de la biodiversité	2/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
3/4	Conservation des micro-organismes du sol								

Figure 13 : Résultats de la dimension environnementale des scénarios R1 Enrubannage, Ensilage et Bouchons de luzerne sur les élevages S+ et M

Tableau 5 : Détails de calcul de la Rentabilité et résultats en fonction de l'élevage

Elevage	Régime	Coût témoin	Coût du régime	Différence de coût	Rapport de coût	Rapport < 0.95	0.95 < Rapport < 1.05	1.05 < Rapport < 1.15	Rapport > 1.15
S+	R1 Enrub	191224	194642	3418	1.02				
	R1 Bouchons		224317	33093	1.17				
	R1 Ensilage		187117	-4107	0.98				
	R2		205901	14678	1.08				
	R3		191540	316	1.00				
S-	R2	180586	174189	-6397	0.96				
M	R1 Enrub	123061	119392	-3669	0.97				
	R1 Bouchons		137197	14136	1.11				
	R1 Ensilage		114768	-8293	0.93				
	R2		120860	-2201	0.98				
	R3		116425	-6636	0.95				
						Elevé	Moyen à élevé	Faible à moyen	Faible

Le critère qui explique la différence de contribution à la dimension économique pour le régime à base de bouchons de luzerne déshydratée est la **Contribution au développement économique**, qui est « moyenne à élevée » pour les S+ et « très élevée » pour les M. Ceci est dû notamment à la **Qualité sanitaire**, « moyenne » pour les S+ et « élevée » pour les M. On peut l'expliquer par la proportion que représente la luzerne, qui fait remonter la note de qualité, dans la rotation : chez les S+ la luzerne revient en moyenne au tous les 7 ans sur une parcelle là où elle revient après 4 ans de maïs/blé chez les mixtes. Cela s'explique par la surface allouée à ce système de culture : elle est de 70 ha chez les S+, ce qui implique une fréquence de retour de la luzerne plus faible sur toutes les parcelles, en comparaison aux 30 ha concernés chez les Mixtes. La **Contribution à l'émergence des filières** dépend aussi de cette proportion dans le même sens : nous avons estimé que la déshydratation de la luzerne pour en faire des bouchons destinés à l'alimentation porcine permettait de contribuer à l'émergence de cette filière. Comme la luzerne revient plus vite sur les parcelles des élevages Mixtes, sa contribution est « très élevée » comparée à celle des Spécialisés + qui est « moyenne ».

Du côté de l'enrubannage, deux critères semblent avoir une influence sur la différence de résultats entre les S+ et les M : le **Surcoût en matériel** d'une part, qui est à l'origine de la différence des **Résultats économiques**, et ici encore la **Qualité sanitaire**. Pour la **Qualité sanitaire** l'explication est la même que pour les bouchons, plus haut, puisque l'assolement est le même pour tous les régimes de R1. Pour ce qui est du **Surcoût en matériel**, l'enrubannage implique d'acquérir du matériel que les éleveurs S+ ne possédaient pas avant de produire de la luzerne, alors que ce matériel était déjà acquis par les éleveurs mixtes, qui ont déjà des prairies et qui pratiquent déjà l'enrubannage.

ii. Evaluation sociale

Au niveau de la dimension sociale, tous ces régimes ont une note « très élevée ».

On note cependant une **Surcharge de travail** « élevée » pour l'ensilage et l'enrubannage, quel que soit l'élevage. Ceci vient des multiples récoltes de la luzerne qui, même si elles permettent une petite diminution des pics de travail pour l'enrubannage en S+, entraînent une hausse générale du temps de travail. La production de bouchons entraîne par contre une diminution de la surcharge de travail, les récoltes étant déléguées à l'entreprise de déshydratation, mais ces différences ne semblent pas avoir de conséquences sur la note sociale malgré les modifications de pondération en faveur des attentes de l'agriculteur.

iii. Evaluation environnementale

La note de la dimension environnementale est « faible » pour ces trois régimes quel que soit l'élevage. Cette note est la même pour chaque régime d'un même élevage, du fait que ce sont les mêmes assolements et mêmes itinéraires techniques à l'exception de la récolte. Les points communs entre élevages types sont principalement dûs au fait que ce sont les mêmes itinéraires techniques, les différences étant l'assolement et les rotations, qui sont cependant faiblement différentes.

La **Contribution à la qualité du milieu** est par exemple notée « faible à moyenne », dû notamment aux « faibles à moyennes » **Maîtrise de pertes de NO₃** et **Maîtrise des pertes de P**. Ceci peut s'expliquer par l'épandage de lisier sur toutes les parcelles y compris les légumineuses. Le lisier a aussi une influence sur la **Contribution à la qualité de l'air** via la **Maîtrise des émissions de NH₃** dans l'air, qui est « faible à moyenne » sur chaque élevage. La **Maîtrise de l'érosion** est aussi « faible à moyenne ». On aurait pu croire que l'absence de travail du sol sur 3 ans de luzerne aurait pu améliorer cette note -qui est aussi « faible à moyenne » pour la modalité témoin- mais la nature du sol, sablo- limoneuse, étant propice à l'érosion et à la compaction, le travail profond du sol systématique sur les céréales ainsi que la dernière récolte de luzerne en octobre, période humide, n'améliorent pas ces aspects de la **Maîtrise de l'état structural du sol**. La **Conservation de la biodiversité** est aussi « faible à

2/4	Rentabilité		2/4	Résultats économiques	4/5	Dimension économique	
4/4	Indépendance économique	3/4					Autonomie économique
2/4	Efficience économique						
2/3	Surcoût en matériel						
3/4	Maîtrise du statut acidobasique du sol	3/4	Maîtrise de la fertilité physico-chimique	4/4			Capacité productive à long terme
2/4	Maîtrise de l'état structural du sol						
4/4	Maîtrise de la fertilité phosphopotassique						
3/4	Maîtrise des maladies et des ravageurs	4/4	Maîtrise des bioagresseurs				
4/4	Maîtrise des adventices						
2/3	Qualité sanitaire	3/4	Qualité des produits				
4/4	Qualité technologique et esthétique des produits						
2/3	Contribution à l'émergence de filières						

Figure 14 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R2

3/4	Rentabilité		4/4	Résultats économiques	5/5	Dimension économique	
4/4	Indépendance économique	4/4					Autonomie économique
4/4	Efficience économique						
2/3	Surcoût en matériel						
3/4	Maîtrise du statut acidobasique du sol	3/4	Maîtrise de la fertilité physico-chimique	4/4			Capacité productive à long terme
2/4	Maîtrise de l'état structural du sol						
3/4	Maîtrise de la fertilité phosphopotassique						
3/4	Maîtrise des maladies et des ravageurs	4/4	Maîtrise des bioagresseurs				
4/4	Maîtrise des adventices						
3/3	Qualité sanitaire	4/4	Qualité des produits				
4/4	Qualité technologique et esthétique des produits						
3/3	Contribution à l'émergence de filières						

Figure 15 : Résultats de la dimension économique du scénario S- R2

moyenne », par la « faible à moyenne » **Conservation de la macrofaune du sol** et de la **flore**. En effet la bonne maîtrise des adventices entraîne des conséquences néfastes sur certains critères tels que l'abondance floristique.

c) *Evaluation des systèmes destinés à la production de farine de luzerne déshydratée (R2)*

Pour rappel ce régime a été retenu sur les trois élevages types : S+, S- et M.

i. *Evaluation économique*

La note de cette dimension est « moyenne » pour l'élevage S+, le plaçant en dessous de son témoin, et « très élevée » pour les S- et M, les plaçant au-dessus de leurs témoins.

Cette différence s'explique par la **Rentabilité** « faible à moyenne » du S+, alors que celle du S- et du M est « moyenne à élevée ». Le coût alimentaire est en effet 13% plus cher que le témoin pour S+, contre un prix légèrement moins élevé que le témoin pour S-, et 3% plus élevé pour le M. La bonne rentabilité de ces systèmes, comparée à la rentabilité des systèmes avec bouchons de luzerne déshydratée, vient du fait que la quantité de luzerne nécessaire pour ce régime est faible. Ceci est dû aux composants de la farine de luzerne, qui sont différents des formes d'aliment précédentes, et permet d'éviter une grosse dépense comme c'est le cas pour les bouchons de luzerne, qui sont consommés en plus grande quantité, alors que le coût de revient de ces deux aliments est proche.

ii. *Evaluation sociale*

Pour la dimension sociale, les systèmes de culture des trois élevages ont une durabilité « très élevée », ce qui est notamment dû aux récoltes effectuées par l'entreprise de déshydratation. Cela abaisse le temps de travail de l'agriculteur d'une vingtaine d'heures par rapport au système témoin de ces élevages : le S+ gagne 5.5% de son temps de travail, le S- gagne 25% du temps de travail et le M en gagne 10%.

iii. *Evaluation environnementale*

Tout comme pour les régimes R1, la durabilité environnementale est « faible », pour les mêmes raisons que précédemment car les cultures impliquées dans ces systèmes de culture sont les mêmes et leurs itinéraires de culture ne changent pas sauf pour la récolte. On retrouve donc une **Conservation de la biodiversité**, une **Préservation de la qualité du sol**, une **Contribution à la qualité de l'eau** « faibles à moyennes » et une **Pression sur les ressources abiotiques** « faible à moyenne ».

2/4	Rentabilité					
3/4	Indépendance économique	4/4	Autonomie économique	3/4	Résultats économiques	5/5 Dimension économique
4/4	Efficience économique					
2/3	Surcoût en matériel					
3/4	Maîtrise du statut acidobasique du sol	4/4	Maîtrise de la fertilité physico-chimique	4/4	Capacité productive à long terme	
4/4	Maîtrise de l'état structural du sol					
4/4	Maîtrise de la fertilité phosphopotassique					
3/4	Maîtrise des maladies et des ravageurs	4/4	Maîtrise des bioagresseurs	4/4		
4/4	Maîtrise des adventices					
2/3	Qualité sanitaire	3/4	Qualité des produits	3/4	Contribution au développement économique	
4/4	Qualité technologique et esthétique des					
1/3	Contribution à l'émergence de filières					

Figure 16 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R3

3/4	Rentabilité					
3/4	Indépendance économique	4/4	Autonomie économique	4/4	Résultats économiques	5/5 Dimension économique
4/4	Efficience économique					
3/3	Surcoût en matériel					
3/4	Maîtrise du statut acidobasique du sol	4/4	Maîtrise de la fertilité physico-chimique	4/4	Capacité productive à long terme	
4/4	Maîtrise de l'état structural du sol					
4/4	Maîtrise de la fertilité phosphopotassique					
3/4	Maîtrise des maladies et des ravageurs	4/4	Maîtrise des bioagresseurs	4/4		
4/4	Maîtrise des adventices					
3/3	Qualité sanitaire	4/4	Qualité des produits	4/4	Contribution au développement économique	
4/4	Qualité technologique et esthétique des					
1/3	Contribution à l'émergence de filières					

Figure 17 : Résultats de la dimension économique du scénario M R3

3/4	Maîtrise des pertes dans les eaux profondes	4/4	Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux	3/4	Contribution à la qualité de l'eau	3/5 Dimension environnementale
4/4	Maîtrise des pertes dans les eaux superficielles					
2/4	Maîtrise des pertes de NO3					
3/4	Maîtrise des pertes de P					
3/4	Maîtrise des émissions de NH3	3/4	Contribution à la qualité de l'air	3/4	Contribution à la qualité du milieu	
3/4	Maîtrise des émissions de N2O					
3/4	Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air					
2/4	Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques	2/4	Préservation de la qualité du sol	2/4		
3/4	Maîtrise du statut organique					
3/4	Maîtrise de l'érosion					
3/3	Consommation en eau d'irrigation en période critique	4/4	Pression sur l'eau	3/4	Pression sur les ressources abiotiques	
3/3	Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau					
3/3	Consommation en énergie	4/4	Pression sur l'énergie	3/4		
3/3	Efficience énergétique					
1/4	Pression Phosphore					
3/4	Conservation des insectes volants	2/4	Conservation de la macrofaune du sol	2/4	Conservation de la biodiversité	
2/4	Conservation de la macrofaune du sol					
1/4	Abondance floristique	2/4	Conservation de la flore	2/4		
3/4	Diversité floristique					
3/4	Conservation des micro-organismes du sol					

Figure 18 : Résultats de la dimension environnementale du scénario S+ R3

d) Evaluation des systèmes destinés à la production d'enrubannage de trèfle violet (R3)

Pour rappel, les élevages pour lesquels ce régime a été évalué sont les élevages S+ et M.

i. Evaluation économique

La durabilité économique de ce régime est « très élevée » pour les deux élevages.

La **Rentabilité** est « faible à moyenne » avec 6% du coût alimentaire de plus pour l'élevage S+ et « moyenne à élevée » avec un rapport de 1 pour le second, mais cette différence n'a pas d'effet sur le résultat final de la dimension économique. Cette différence importante de coût alimentaire peut s'expliquer par la taille du cheptel : l'élevage S+ compte plus de 2000 animaux de plus que l'élevage M, ce qui le rend beaucoup plus demandeur en aliments. La grande surface allouée au trèfle l'oblige donc à acheter plus de céréales que pour le M. On peut cependant remarquer que le coût alimentaire par porc est le même dans ces deux élevages, ce qui nuance le résultat inférieur du S+.

Un deuxième facteur de moins bonne durabilité économique est la **Qualité sanitaire**, qui n'est que « moyenne » chez l'élevage S+ et « élevée » chez M. Cela s'explique de la même manière qu'on l'a expliqué pour le R1 : la SAU élevée de S+ implique un nombre d'années de culture de céréales plus élevé, céréales qui font baisser la qualité sanitaire comparé au trèfle.

Enfin il est important de noter que la **Maîtrise de l'état structural du sol** est « très élevée » pour ce régime, quel que soit l'élevage. En effet, le trèfle n'est récolté que 4 fois par an contrairement à la luzerne qui est récoltée 5 fois. La récolte qui n'est pas effectuée sur le trèfle est celle d'octobre, ce qui évite un risque de tassement du sol pendant 3 ans, la proportion de cultures récoltées en mauvaises conditions s'en voit donc fortement diminuée.

ii. Evaluation sociale

Tout comme pour les scénarios précédents, les deux scénarios évalués ici ont une durabilité sociale « très élevée ».

Une information notable est que le S+ voit son nombre de pics de travaux diminuer avec l'implantation dans le système de culture de trèfle violet. Le M témoin n'ayant déjà pas de pics de travail dépassant les 35h/semaine, la note de sa **Surcharge de travail** est « moyenne ». Les deux scénarios voient leur durée totale de travail baisser de quelques heures ce qui, sans apporter beaucoup de temps à l'agriculteur, a le mérite de ne pas lui en ajouter comme c'est le cas pour les régimes à base d'ensilage ou d'enrubannage de luzerne.

iii. Evaluation environnementale

Le scénario S+ R3 possède une durabilité environnementale « moyenne » là où elle est « faible » pour le M R3.

Cette différence est due au critère de **Conservation de la biodiversité** qui est « très faible » chez les M et seulement « faible à moyenne » chez les S+. La **Conservation des microorganismes** est en effet « moyenne à élevée » pour cet élevage grâce à un meilleur **Effet des apports de matière organique**. Un temps de retour du trèfle plus long est ici bénéfique au S+ puisqu'il permet plus d'épandage de lisier, la seule source de matière organique dans le système.

On peut noter une différence des scénarios impliquant du trèfle avec les scénarios impliquant de la luzerne dans la **Maîtrise des émissions de NH3** et la **Maîtrise de pertes de P**, qui sont toutes deux « moyennes à élevées » alors qu'elles sont « faibles à moyennes » dans les régimes R1 et R2 et pour les témoins.

3/4	Maîtrise des pertes dans les eaux profondes	4/4	Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux	3/4	Contribution à la qualité de l'eau	3/4	Contribution à la qualité du milieu	2/5	Dimension environnementale
4/4	Maîtrise des pertes dans les eaux superficielles								
2/4	Maîtrise des pertes de NO3								
3/4	Maîtrise des pertes de P								
3/4	Maîtrise des émissions de NH3	3/4	Contribution à la qualité de l'air						
3/4	Maîtrise des émissions de N2O								
3/4	Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air								
2/4	Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques	2/4	Préservation de la qualité du sol						
2/4	Maîtrise du statut organique								
3/4	Maîtrise de l'érosion								
3/3	Consommation en eau d'irrigation en période critique	4/4	Pression sur l'eau	3/4	Pression sur les ressources abiotiques				
3/3	Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau								
3/3	Consommation en énergie	4/4	Pression sur l'énergie						
3/3	Efficacité énergétique								
1/4	Pression Phosphore		1/4	Conservation de la biodiversité					
3/4	Conservation des insectes volants	2/4			Conservation de la macrofaune du sol				
2/4	Conservation de la macrofaune du sol								
1/4	Abondance floristique	2/4			Conservation de la flore				
3/4	Diversité floristique								
2/4	Conservation des micro-organismes du sol								

Figure 19 : Résultats de la dimension environnementale du scénario M R3

3/4	Rentabilité		3/4	Résultats économiques	5/5	Dimension économique	
3/4	Indépendance économique	3/4					Autonomie économique
3/4	Efficacité économique						
2/3	Surcoût en matériel		3/4	Capacité productive à long terme			
3/4	Maîtrise du statut acidobasique du sol	2/4					Maîtrise de la fertilité physico-chimique
4/4	Maîtrise de l'état structural du sol						
1/4	Maîtrise de la fertilité phosphopotassique						
4/4	Maîtrise des maladies et des ravageurs	4/4					Maîtrise des bioagresseurs
3/4	Maîtrise des adventives						
3/3	Qualité sanitaire	4/4	Qualité des produits	4/4			Contribution au développement économique
4/4	Qualité technologique et esthétique des produits						
1/3	Contribution à l'émergence de filières						

Figure 20 : Résultats de la dimension économique du scénario S+ R4

3/4	Maîtrise des pertes dans les eaux profondes	4/4	Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux	2/4	Contribution à la qualité de l'eau	3/4	Contribution à la qualité du milieu	4/5	Dimension environnementale
4/4	Maîtrise des pertes dans les eaux superficielles								
2/4	Maîtrise des pertes de NO3								
2/4	Maîtrise des pertes de P								
2/4	Maîtrise des émissions de NH3	2/4	Contribution à la qualité de l'air						
3/4	Maîtrise des émissions de N2O								
3/4	Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air								
4/4	Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques	2/4	Préservation de la qualité du sol						
3/4	Maîtrise du statut organique								
2/4	Maîtrise de l'érosion								
3/3	Consommation en eau d'irrigation en période critique	4/4	Pression sur l'eau	4/4	Pression sur les ressources abiotiques				
3/3	Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau								
3/3	Consommation en énergie	4/4	Pression sur l'énergie						
3/3	Efficacité énergétique								
3/4	Pression Phosphore		3/4	Conservation de la biodiversité					
3/4	Conservation des insectes volants	2/4			Conservation de la macrofaune du sol				
2/4	Conservation de la macrofaune du sol								
2/4	Abondance floristique	2/4			Conservation de la flore				
3/4	Diversité floristique								
3/4	Conservation des micro-organismes du sol								

Figure 21 : Résultats de la dimension environnementale du scénario S+ R4

Ceci est aussi à attribuer à la gestion différente du lisier, qui n'est pas épandu sur le trèfle. De plus, la **Maîtrise de l'érosion** est ici « moyenne à élevée » contre « faible à moyenne » pour les régimes R1, R2 et les témoins, ce qui va de pair avec ce qui est évoqué plus haut, à savoir que la proportion de cultures récoltées en mauvaises conditions est plus faible pour le régime R3 que pour les autres régimes évoqués jusqu'à maintenant.

e) *Evaluation des systèmes destinés à la production d'enrubannage de méteil et de luzerne (R4)*

Seul l'élevage S+ a rassemblé les conditions suffisantes pour être retenu dans l'évaluation.

i. *Evaluation économique*

La dimension économique de ce scénario a une durabilité « très élevée ».

Du point de vue économique on peut globalement rapprocher ce scénario du scénario d'enrubannage de luzerne S+ R1 car l'enrubannage de méteil ne concerne que les truies, qui représentent une faible part du cheptel. Les porcs, qui sont près de 25 fois plus nombreux que les truies, sont quant à eux nourris à l'enrubannage de luzerne, c'est pourquoi la production de luzerne enrubannée influence beaucoup les résultats économiques de ce scénario. On peut par exemple noter sa **Rentabilité** « moyenne à élevée ». Le coût alimentaire de l'élevage dont le méteil et la luzerne ont été implantés dans le système de culture a en effet la même valeur que le témoin.

En revanche la présence du méteil améliore la **Qualité sanitaire** du produit par rapport à un scénario d'enrubannage car cette culture ayant une meilleure qualité, la combinaison de sa présence et de celle de la luzerne permet cette amélioration. La **Maîtrise de l'état structural du sol** s'en voit aussi améliorée car le méteil est récolté en mai, et fait baisser la **Proportion de cultures récoltées en période à risque**.

ii. *Evaluation sociale*

Du côté de la durabilité sociale, celle-ci est aussi « très élevée », comme tous les scénarios évalués précédemment, pour les mêmes raisons.

iii. *Evaluation environnementale*

Pour ce qui est de la dimension environnementale, ce scénario est le seul à avoir une durabilité « élevée ».

Ceci est dû à la **Pression phosphore** qui est ici « faible à moyenne » là où elle est « moyenne à élevée » pour les autres scénarios. Ceci est étonnant, étant donné que seul le trèfle est fertilisé en phosphates non renouvelables, le reste des apports de phosphore provenant des apports de lisier. L'autre critère agrégé bénéficiant d'une meilleure note que les autres scénarios est le critère de **Conservation de la flore**, car ce système offre une meilleure **Abondance floristique**, dû à une moins bonne gestion des adventices. En effet aucun traitement herbicide n'est effectué sur le méteil.

f) Cas de la sous-traitance

Le recours à une entreprise de travaux agricoles (ETA) peut être fait dans le cadre d'une réorganisation de l'activité de l'agriculteur. Beaucoup d'éleveurs délèguent les récoltes à une ETA pour consacrer leur temps à l'élevage, les travaux des cultures pouvant être jugés annexes (Anzalone et Purseigle, 2014). Nous avons étudié les conséquences d'une délégation des récoltes de luzerne pour le cas d'élevages Spécialisés avec cultures (S+). En effet les agriculteurs de ces élevages n'ayant actuellement pas de fourrages (cf Tableau 3 en regard de la page 14), il est plausible qu'ils décident d'avoir recours à une ETA en cas de production de fourrages.

Les tarifs étant difficiles à acquérir sans être clients d'une ETA, surtout en pleine période de moissons et de vacances estivales, nous nous sommes tournés vers un membre de l'équipe fourrage de la CRAB, qui nous a donné des tarifs indicatifs pour l'enrubannage de luzerne dans le cas d'une délégation « maximale », c'est-à-dire fauche + enrubannage, le fanage ou l'andainage n'étant jamais délégués. L'enrubannage coûterait 12€/balle (6€ d'utilisation de la presse + 6€ de plastique) et la fauche 50€/ha.

Le coût alimentaire d'un système où la récolte de luzerne serait déléguée est supérieur au coût témoin de 5%, soit environ 10 000€ de différence, contre 1.6% si la récolte avait été faite sur place. La **Rentabilité** pourrait néanmoins rester dans la classe « moyenne à élevée. La sous-traitance impliquerait aussi un gain de temps et un investissement moindre en matériel, ce qui ferait passer les critères **Surcharge de travail** et **Surcoût en matériel** à « faible ». Ces changements feraient passer la durabilité économique d'« élevée » à « très élevée » et n'aurait pas d'influence sur la dimension sociale, déjà « très élevée ». La durabilité globale passerait ainsi d'« assez élevée » à « élevée ».

g) Sensibilité aux matières premières : exemples sur le régime à base d'enrubannage de luzerne chez les élevages spécialisés avec cultures (S+ R1 Enrubannage)

C'est ici aussi le scénario S+ R1 qui est testé car étant donné le nombre d'animaux dans cet élevage et les quantités d'aliments nécessaires, les fluctuations du marché des matières premières seront plus visibles que sur les autres scénarios.

Les données de France Agri Mer indiquent que les prix les plus bas obtenus par le blé, l'orge et le maïs de 2005 à aujourd'hui sont respectivement de 86€/t, 87€/t et 82€/t, et les prix les plus hauts de respectivement 215€/t, 199€/t et 204€/t. Ces changements ne modifient le rapport de coût alimentaire que de quelques % seulement, le changement le plus marquant étant pour le maïs où il augmente de 3% pour la valeur maximale du cours du maïs.

Pour ce qui est des tourteaux, d'après CoopdeFrance, le prix du complément à base de tourteau utilisé dans la ration des porcs dans le cadre de l'essai a varié, de 2015 à aujourd'hui, entre 177€/t et 298 €/t. Le rapport de coût alimentaire comme montré p13 se rapproche de 1 pour des prix hauts et augmente pour des prix de complément bas. On peut obtenir par le calcul que ce rapport s'équilibre totalement pour un prix de complément d'environ 313€. De plus nous avons testé la valeur qu'il doit prendre pour changer de classe. Celui-ci doit atteindre 1023€/t pour que le régime à base d'enrubannage coûte 5% de moins que le témoin et que la **Rentabilité** du scénario passe à la classe « très élevée », ce qui n'aurait pas d'influence sur la durabilité économique et par extension globale du système de culture. Enfin ce prix doit être de 72€/t pour que la **Rentabilité** passe de « moyenne à élevée » à « faible à moyenne », faisant passer la dimension économique à « faible » et la durabilité globale à « assez faible ».

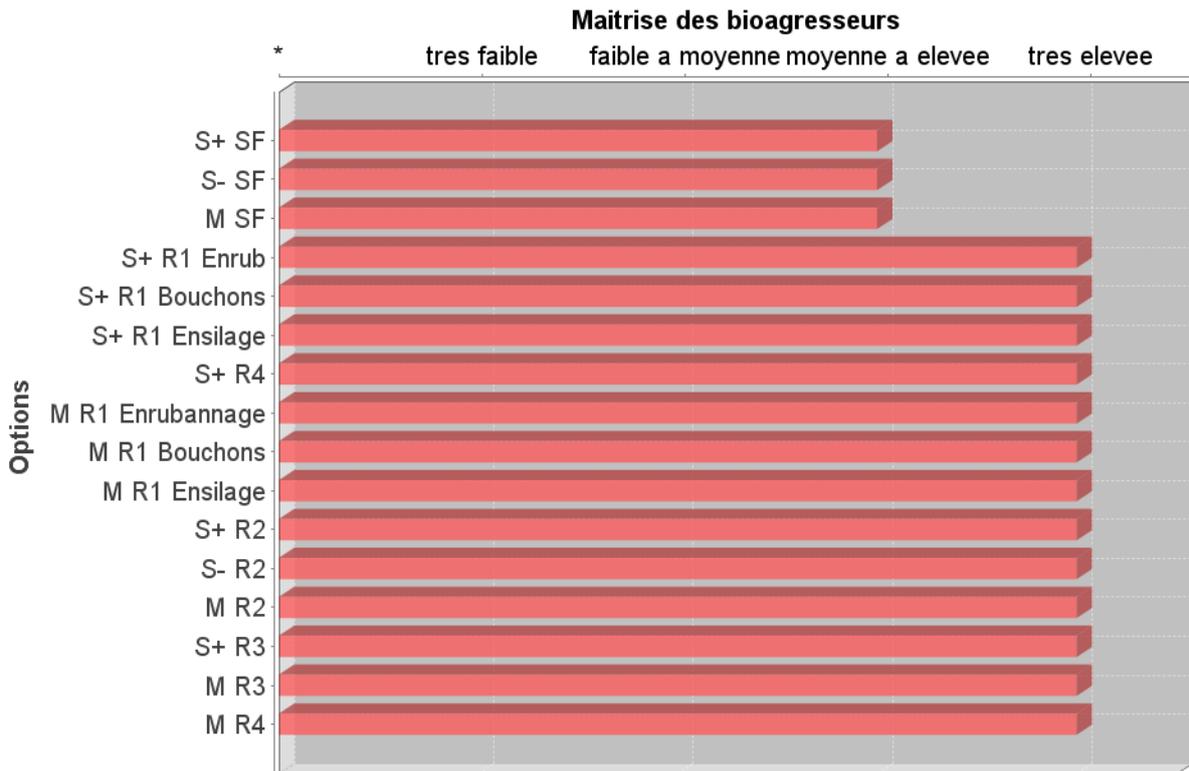


Figure 22 : Comparaison du critère de Maîtrise des bioagresseurs pour chaque scénario validant l'hypothèse (i)

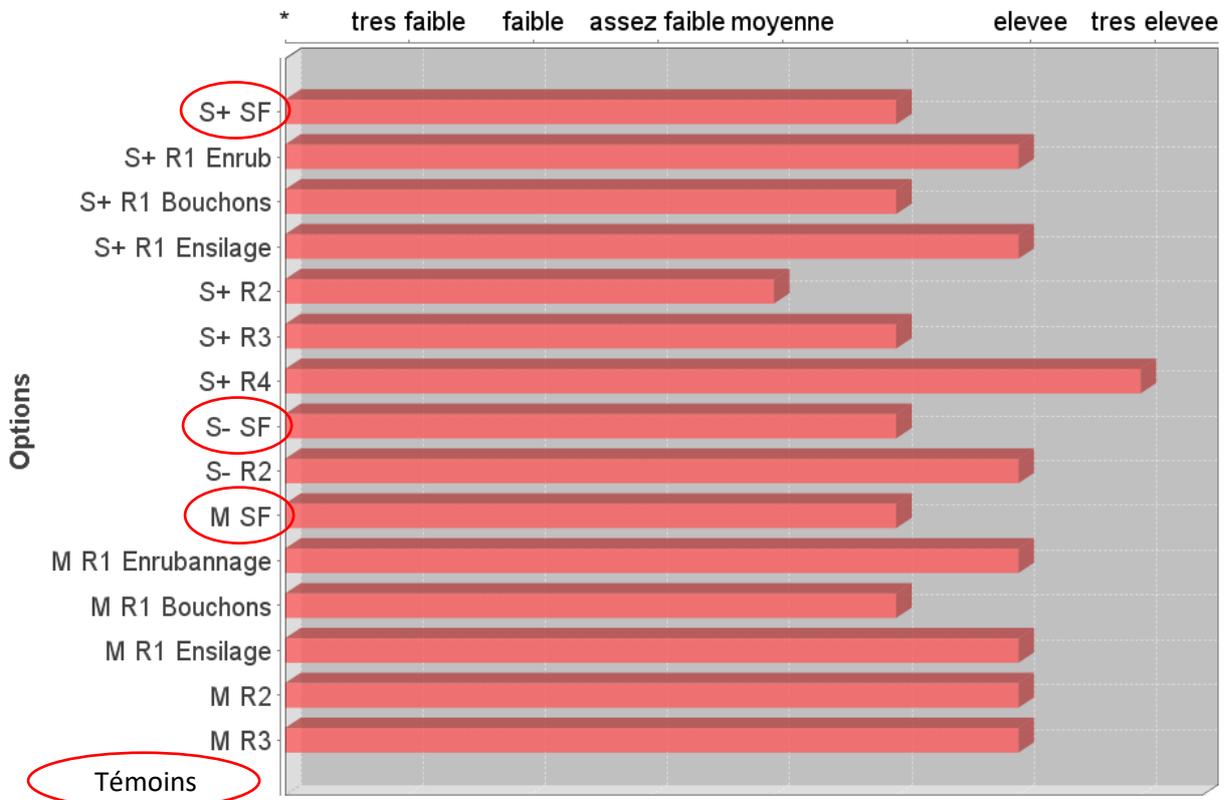


Figure 23 : Comparaison de la durabilité globale pour tous les scénarios évalués

Enfin la quantité de tourteaux incorporés dans la ration joue aussi un rôle sur le coût alimentaire : le faire passer des 19% actuels à 15% permettrait de faire gagner 5% du coût alimentaire par rapport au témoin, le faisant passer de 3418€/an de plus à 8753€/an de moins. Evidemment cela impliquerait de repenser les formules alimentaires, et de modifier d'autres niveaux d'aliments, ce qui modifierait aussi le coût alimentaire. Ce chiffre est donc à nuancer.

Il convient enfin de reconsidérer ces résultats, car on étudie ici un **ratio**. Le coût alimentaire, lui, varie bien dans proportions importantes : de 28€/porc pour 86€/t de blé à 40€/porc pour 215€/t de blé, soit plus d'un tiers du prix initial. Les résultats signifient donc que les systèmes avec et sans fourrage sont finalement proches dans leurs réactions aux cours des matières premières.

IV-Discussion :

1) Vérification des hypothèses

Rappel des hypothèses : (i) l'introduction de nouvelles cultures et donc la diversification des rotations va entraîner une réduction de la pression en bioagresseurs, donc (ii) un moindre recours aux produits phytosanitaires ; (iii) de même, l'introduction de légumineuses dans les systèmes de culture va permettre de diminuer les besoins en fertilisation azotée. Ces deux premiers points peuvent entraîner une baisse des charges d'intrants. (iv) Au niveau économique les modifications des systèmes de culture peuvent venir contrebalancer des éventuels effets négatifs de la nouvelle ration sur l'atelier d'élevage.

Par rapport aux systèmes témoins, on a bien une augmentation de la maîtrise des maladies et ravageurs par les nouveaux systèmes comme le montre la Figure 23 ci-contre, mais les bénéfices apportés par ces nouveaux systèmes ne permettent pas une grande baisse des dépenses en produits phytosanitaires. De plus il y a bien un effet azote sur les cultures suivant la luzerne mais cela n'implique pas vraiment de bénéfice puisque le fertilisant utilisé sur la culture impactée est du lisier produit par les animaux de l'élevage, ce qui ne permet pas de faire d'économies de ce côté-là. Les charges de mécanisation ont, au contraire, augmenté.

Les hypothèses de travail sont donc vérifiées mais dans une très faible mesure qui ne permet pas, dans la majorité des cas, d'apporter un réel gain à l'agriculteur. En revanche, s'ils n'apportent pas de réels gains, un seul scénario enregistre une perte significative sur les résultats totaux, ce qui est plutôt positif (figure 24). Des résultats venant des essais zootechniques ont de plus montré que les régimes testés à ce jour n'entraînent pas de perte dans la valorisation des carcasses. L'incorporation de fourrages protéiques dans la ration des porcs semble donc réalisable sans réelles pertes venant d'aucun des ateliers, sauf pour certains scénarios tels que ceux mettant en jeu un régime à base de bouchons de luzerne.

Les nouveaux systèmes enregistrent des pertes importantes d'azote, ce qui semble étonnant dans le sens où une l'hypothèse était que des cultures pérennes réduiraient justement ces pertes (Bergström, 1987 ; Paustian et al., 1990) et permettraient d'améliorer la durabilité environnementale des systèmes de culture. Une des hypothèses de cette perte importante est que le lisier apporté sur ces cultures a contribué à fournir l'azote lessivé. Après essais sur CRITER, l'azote lessivé semble bien diminuer sans fertilisation mais dans une très faible mesure qui n'atteint en rien les valeurs précisées dans les publications citées plus haut.

2) Améliorations possibles des systèmes de culture

Les résultats économiques et sociaux sont en majorité satisfaisants, c'est la dimension environnementale qu'il faudrait améliorer. Les scénarios témoins n'ont cependant pas une meilleure durabilité environnementale, cette mauvaise durabilité n'est donc pas le fait des nouveaux systèmes.

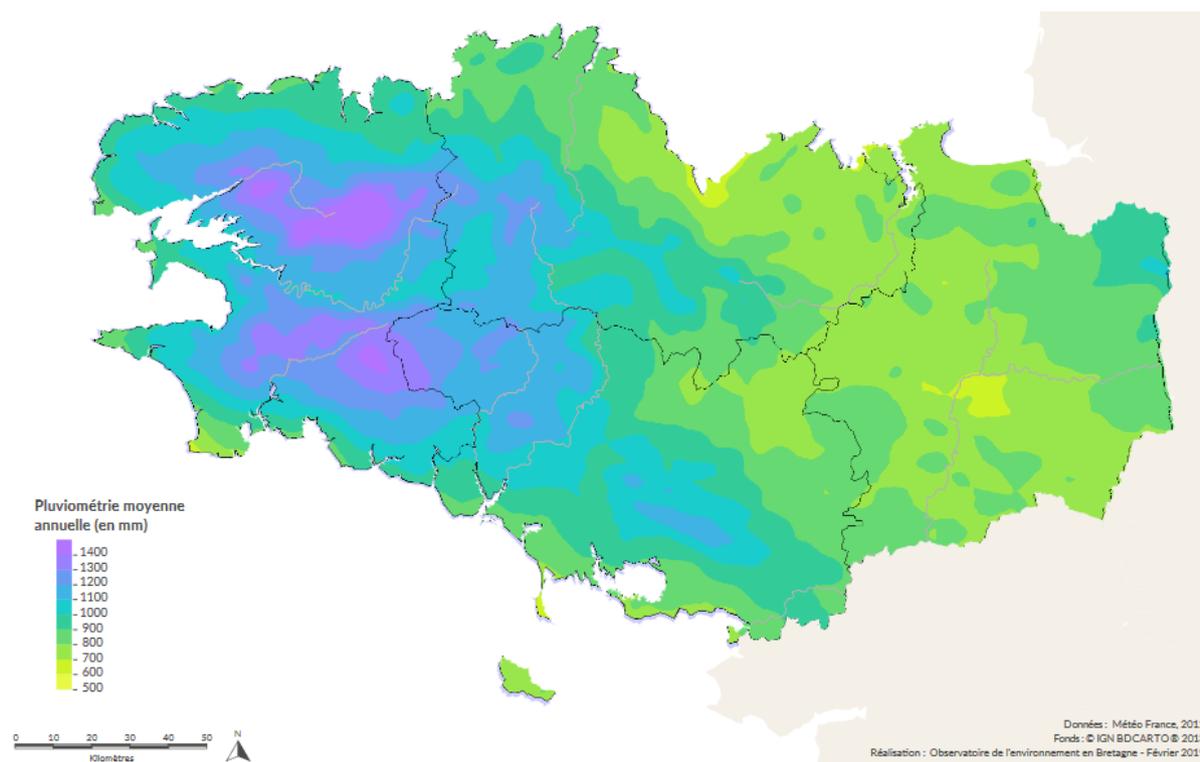


Figure 24 : Pluviométrie annuelle moyenne de Bretagne
(Source : bretagne-environnement.fr)

En revanche la présence de luzerne peut permettre d'améliorer la **Maîtrise de la stabilité structurale** du sol en avançant la date de la dernière récolte de quelques jours, de façon à ce qu'elle ne s'effectue pas en période à risque du point de vue de la compaction du sol.

Les résultats de l'évaluation montrent que la plupart des systèmes de cultures ont un problème d'émissions de NH₃ dues au lisier, qui la plupart du temps n'est pas enfoui lorsqu'il est épandu. Cette problématique suggère que l'utilisation du lisier sur le blé, l'orge ou la luzerne est à limiter au maximum, mais cela réveille aussi la problématique de traitement du lisier si l'on ne peut pas l'épandre, ce qui est coûteux. Il en est de même pour les systèmes produisant du trèfle, sur lequel le lisier n'est pas épandable. De nombreuses solutions sont possibles telles que la séparation des phases, des traitements biologiques, mais elles ont un coût qui doit être pris en compte (Levasseur, 2004).

3) Critiques méthodologiques

La simplification opérée dans la démarche de construction des systèmes de cultures peut être critiquable notamment pour les cas-types mixtes. En effet toute la surface fourragère présente à l'origine dans leur système de culture n'a pas été prise en compte dans l'évaluation, ce qui a pour conséquence de sous-estimer certains critères, notamment de la dimension environnementale. En effet avec une plus grande diversité de cultures les critères de conservation de la biodiversité auraient pu être réhaussés, et une grande proportion de cultures pérennes (29% de prairies d'après Ramonet et al., (2012)) aurait pu avoir un impact sur la fréquence de travail du sol, et par là la conservation de la vie biologique des sols, voire la maîtrise de la stabilité structurale si les conditions sont réunies. On peut cependant justifier ce choix aussi par la répartition des cultures dans ces élevages : d'après les spécialistes du secteur herbivores, les alentours de la ferme sont le plus souvent en prairie, et plus on s'éloigne de la stabulation plus les surfaces fourragères disparaissent au profit des céréales, sans grande mixité de ces cultures dans une rotation.

4) Extrapolation des nouveaux systèmes à d'autres contextes pédoclimatiques

Nous avons vu figure 7 en regard de la page 12 que la Bretagne présentait des contextes pédoclimatiques très variés. Pour une représentativité des cas bretons, cette évaluation doit donc être élargie à d'autres secteurs de la Bretagne. Le Centre-Bretagne, où l'évaluation s'est ici concentrée, est une zone très tardive où la luzerne n'atteint pas de hauts rendements d'après les agronomes interrogés.

A titre d'exemple, dans d'autres secteurs tels que l'Ille-et-Vilaine les conditions pédoclimatiques sont plus propices à sa culture, où elle peut atteindre des rendements de 12 tMS/ha. Un tel rendement impliquerait de réduire les surfaces de luzerne de 5 ha pour les scénarios S+ R1. Ceci impliquerait donc un allongement des rotations pour que la luzerne puisse être cultivée sur toutes les parcelles, et par là un changement de résultats pour les critères qui dépendent de la proportion de luzerne, tels que la **Qualité sanitaire** ou la proportion de cultures qui présentent un **Défaut de couverture en période à risque**, impliqué dans le critère de **Maîtrise de l'érosion**. Au contraire le trèfle serait moins adapté à ce contexte, son rendement se verrait donc diminué et les conséquences sur les rotations seraient à l'opposé de celles évoquées plus haut.

De même, les caractéristiques pédoclimatiques, telles que la réserve utile ou la profondeur du sol, la pluviométrie et l'évapotranspiration auront un impact sur les pertes d'azote ou de matières actives par lessivage, qui modifieront les résultats obtenus ici. D'après la carte de la Figure 7 en regard de la page 12 et la carte Figure 25 ci-contre, on peut s'attendre à ce que ces pertes soient moins importantes en Ille-et-Vilaine que dans le contexte actuel, de par la pluviométrie moindre et la température plus élevée liée au fait que c'est une zone à majorité précoce à très précoce.

Conclusion

Le projet FOURPROPORC vise à tester l'incorporation de fourrages protéiques dans l'alimentation des porcs. Plusieurs régimes sont testés pour des élevages sur caillebotis ou sur paille : luzerne ensilée, luzerne enrubannée et luzerne déshydratée sous forme de granulés, luzerne sous forme de farine implémentée à 5% ou 10% chez les porcs, et 12% chez les truies, trèfle enrubanné, méteil enrubanné pour les truies. Les porcs sont rationnés à 5% -10% dans un cas- et les truies à 10% -12% dans un cas.

Une évaluation multicritères a été menée via l'outil MASC sur les systèmes de cultures adaptés à la production du fourrage dans le cas d'un élevage sur caillebotis, situé dans le Centre-Bretagne, pour 6 régimes différents :

- Luzerne ensilée
- Luzerne enrubannée
- Luzerne déshydratée sous forme de granulés
- Luzerne sous forme de farine implémentée à 5% pour les porcs, et 12% pour les truies
- Trèfle enrubanné
- Méteil enrubanné pour les truies, luzerne enrubannée pour les porcs.

Les résultats montrent que ces évolutions dans les systèmes de culture n'impliquent pas de hausse importante du coût nécessaire à la production et à l'achat des aliments aux animaux sauf dans le cas de la luzerne déshydratée sous forme de granulés. Les systèmes de culture dédiés à la production de méteil et de luzerne enrubannés, et ceux dédiés à la production de trèfle enrubanné apportent une amélioration sur la durabilité environnementale des systèmes de culture par rapport aux anciens systèmes.

Cette étude permet d'établir une première référence sur la durabilité de systèmes de culture adaptés à la production de fourrages protéiques pour les élevages de porcs. Ce travail devra être adapté à d'autres contraintes locales afin de représenter la diversité des contextes pédoclimatiques de la Bretagne. Ces références décrivent les conséquences de l'adoption de fourrages protéiques dans la ration des porcs et peut permettre d'aider à adopter cette pratique, auquel cas les élevages de porcs bretons seront plus autonomes sur leur alimentation protéinée.

Bibliographie :

Agreste, 2019. Filière porcine édition 2019. 2 p.

Agreste Primeur, 2001. Des régions très spécialisées. N°97, juillet 2001.

Anzalone, G., Purseigle, F., 2015. Délégation d'activités et sous-traitance : au service de la transmission de l'exploitation ou d'un patrimoine ? *L'agriculture en famille : travailler, réinventer, transmettre*, édité par P. Gasselin, J.-P. Choisis, S. Petit, F. Purseigle, et S. Zasser, 327. EDP Sciences, 2015. <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-1192-2.c018>.

Assemblée Permanente des Chambres d'Argiculture, 2018. Barème d'entraide des CUMA de l'Est 2018-2019, 56p.

Bergström, L., 1987. Nitrate Leaching and Drainage from Annual and Perennial Crops in Tile-Drained Plots and Lysimeters, s. d., 8.

Blair R., 2017. Nutrition and Feeding of Organic Pigs, 2nd Edition.

Castellanet C., Armengaud A., Ariot J-Y., Apoteker A., 2006. Des alliances internationales pour préserver la production de soja non génétiquement modifié au Brésil : enjeux et perspectives.

Céréopa, 2017. La protéine dans tous ses états Rapport sur l'indépendance protéique de l'élevage français, s. d., 31.

Chambres d'Agriculture de Bretagne, 2015. Luzerne et trèfle violet : la performance protéine.

Charlet-Lery, G., Leroy, A.-M., Zelter, S.-Z., 1955. Digestibilité chez le porc des constituants d'une farine de luzerne artificiellement déshydratée. *Annales de Zootechnie* 4, N° 2 (1955): 121-27. <https://doi.org/10.1051/animres:19550203>.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T., 2011. MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Jeu complet de fiches critères de MASC 2.0. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 133 p.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T., 2011. MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Présentation & principes d'utilisation. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 49 p.

COMIFER, 2019. La fertilisation P-K-Mg : Les bases du raisonnement.

Dauguet S., Denaix L., Nguyen C., Coudure R., Barrier-Guillot B., 2010. Apports organiques : ETM : cerner les transferts du sol aux plantes. *Perspectives agricoles*, N°373, décembre 2010 p. 70-75.

Eurostat, 2018. Comptes économiques de l'agriculture : communiqué de presse.

European Commission, 2016. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT : Genetically modified commodities in the EU. 27 p.

Ferchaud, S., Alibert, L., Gaudré, D., Montagne, L., Renaudeau, D., Roinsard, A., 2019. Impact de la distribution de luzerne enrubannée sur les performances des porcs en croissance. *Journées Recherche Porcine*, N°51 (2019), p. 115-116.

Forster, D., 1999. Rotation benefits of alfalfa in a cropping system.

Havard M., Alaphilippe A., Deytieux V., Estorgues V., Labeyrie B., Lafond D., Meynard J.M., Petit M.S., Plénet D., Picault S., Faloya V., 2017. Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation "système" pour les cultures assolées et pérennes, GIS PICléG, GIS Fruits, Réseau ECOVITI, RMT Systèmes de culture innovants, GIS Relance Agronomique, 172 p.

Hoyt, P. B., A. M. F. Hennig, 1971. Effect of alfalfa and grasses on yield of subsequent wheat crops and some chemical properties of a gray wooded soil. *Canadian Journal of Soil Science* 51, N° 2 (1 juin 1971): 177-83. <https://doi.org/10.4141/cjss71-024>.

Huygue, C., 2017. Les ressources protéiques végétales utilisées en France pour nourrir les hommes et les animaux. *Le Déméter* 2017, p. 315-332

ITAB, 2014. Cahier technique. Alimentation des porcins en agriculture biologique. 40.

Martin, N. What Is the Way Forward for Protein Supply? The European Perspective. *OCL* 21, N° 4 (juillet 2014): D403. <https://doi.org/10.1051/ocl/2014015>.

Maupertuis, F., 2017. Apport d'ensilage de luzerne dans l'alimentation des porcs biologiques : appétence et résultats zootechniques. *Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire*, août 2017, N°146, 4 p.

Maupertuis, F., 2017. Faisabilité et intérêt de l'apport d'ensilage de luzerne dans l'alimentation de porcs charcutiers. *Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire*, avril 2017, N°143, 4 p.

Meynard, J-M, Dedieu, B., A. P. Bos, 2012. Re-Design and Co-Design of Farming Systems. An Overview of Methods and Practices ». *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*, édité par Ika Darnhofer, David Gibbon, et Benoît Dedieu, 405-29. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18.

Ministère de l'agriculture, 2014. Plan Protéines Végétales pour la France 2014-2020.

Levasseur, P., 2004. Traitement des effluents porcins : Guide pratique des procédés.

Lubac S., Roinsard A., Chaillet I., Fontaine L., Garnier JF , Pressenda F., Gimaret M., Dupetit C., Bouviala M., Berrodier M., Chataignon M., 2016. Développer les légumineuses à graines en Agriculture Biologique pour sécuriser les filières animales et diversifier les systèmes de culture. *Innovations Agronomiques* 49 (2016), p. 13-31.

Paustian, K., Andren, O., Clarholm, M., Hansson, A-C., Johansson, G., Lagerlof, J., Lindberg, T., Pettersson, R., Sohlenius, B., 1990. Carbon and Nitrogen Budgets of Four Agro-Ecosystems With Annual and Perennial Crops, With and Without N Fertilization. *The Journal of Applied Ecology* 27, N° 1, avril 1990: 60. <https://doi.org/10.2307/2403568>.

Possémé B., Seuret J-M., 2018. Choisir et implanter sa prairie pour gagner en autonomie. Terra août 2018, p. 17-23.

Ramonet Y., Tersiguel E., Giteau J-L., Martel G., 2012. Déterminants du choix de l'assolement par les éleveurs de porcs en Bretagne, Rapport d'étude, Chambres d'agriculture de Bretagne, 12 p.

Reau R., Monnot L.A., Schaub A., Munier-Jolain N., Pambou I., Bockstaller C., Cariolle M., Chabert A., Dumans P., 2012. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations Agronomiques vol.20*, p.5-33.

Sadok W., Angevin F., Bergez J-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2008. Ex Ante Assessment of the Sustainability of Alternative Cropping Systems: Implications for Using Multi-Criteria Decision-Aid Methods. A Review. *Agronomy for Sustainable Development* 28, N° 1 (mars 2008): 163-74. <https://doi.org/10.1051/agro:2007043>.

Thiébeau P., Parnaudeau V., Guy P., 2003. Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe ? Courrier de l'environnement de l'INRA. N°49, juin 2003, p. 29-46.

Tremel-Schaub A., Feix I., 2005. Contamination des sols : Transferts des sols vers les plantes. 413 p.

Vertès F., Jeuffroy M.H., Louarn G., Voisin A.S., Justes E., 2015 Légumineuses et prairies temporaires : des fournitures d'azote pour les rotations, *Fourrages*, N°223, p. 221-232.

Sitographie :

Agriculture.gouv (2017) : Rentabilité et débouchés pour les élevages de porcs bio. Disponible ici : <https://agriculture.gouv.fr/rentabilite-et-debouches-pour-les-elevages-de-porcs-bio>

Banque mondiale : Agriculture, valeur ajoutée (% du PIB) : <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NV.AGR.TOTL.ZS>

Colloque 4AGEPROD : https://www.vegepolys-valley.eu/media/1_colloque_4ageprod_intro_agro_compress.pdf.

CoopdeFrance : <https://actualites-agricoles.coopdefrance.coop/images/files/2019/AA-2019-05-17/2019%2004%20TABLEAU%20DE%20BORD%20NA.pdf>

Désialis : www.desialis.com

CIVAM, 2017, Flyer mission Ecophyt'Eau : http://cdn1_2.reseaudesassociations.fr/cities/1200/documents/ku6fwundw9qf8r2.pdf

Guadagnini-Palau, M., Plénet, D., Simon S., Faloya, V., Jeannequin, B., Berthier, C., Gary, C., Metral, R., 2016. Développer des systèmes de culture innovants et résilients en fruits, légumes et viticulture : Guides de conception des systèmes de culture horticoles économes en produits phytopharmaceutiques. *Les Journées Scientifiques*, février 2016. Disponible ici : <https://hal.inrae.fr/hal-02796422/document>

Ministère de l'Europe et des affaires étrangères : <https://ue.delegfrance.org/l-agriculture-francaise-en-3038>

RMT Erytage : <http://www.erytage.org/webplage/>

ANNEXE I : Indicateurs renseignés dans MASC 2.0 et détail de leur mode de calcul (à partir de Craheix et al., 2011)

- Indicateurs de la dimension économique :

Critère	Indicateur	Calcul
Rentabilité	Marge Semi-nette (€/ha) Dans le cadre de ce stage, cet indicateur a été remplacé par le rapport du coût alimentaire d'un système avec fourrage, sur le coût alimentaire d'un système sans fourrage (R)	$MSN = [\sum (PBi + SAi - COi - CMi)] / n$ <p>Avec PB : Produit Brut (€/ha) = Quantité récoltée x Prix de vente SA : Somme des Aides annuelles reçues (€/ha) CO : Charges opérationnelles (€/ha) : semences, produits phytosanitaires, fertilisant, carburant, main d'oeuvre occasionnelle CM : Charges de mécanisation annuelles (€/ha) n : Durée de la rotation en années ; i : année</p> <p>Indicateur calculé ici :</p> $R = \frac{\text{Coût alimentaire du scénario « Avec fourrage »}}{\text{Coût alimentaire du scénario « Sans fourrage »}}$ <p>Avec Coût alimentaire = $CT_{\text{maïs}} + CT_{\text{blé}} + CT_{\text{orge}} + CT_{\text{fourrage}} + \text{Achat}_{\text{maïs}} + \text{Achat}_{\text{blé}} + \text{Achat}_{\text{orge}} + \text{Achat}_{\text{fourreaux}} - \text{Aides perçues}$ et $CT = \text{Charges totales} = \text{Charges Opérationnelles} + \text{Charges de mécanisation}$</p>
Indépendance économique	Indépendance économique (%)	$IND = [\sum [1 - (SAi / MSNi)] \times 100] / n$ <p>Avec SA : Somme des Aides annuelles reçues (en €/ha) MSN : Marge Semi-Nette (en €/ha) n : Durée de la rotation en années ; i : année</p>
Efficience économique	Efficience économique (%)	$EFF = [\sum [PBi / (CTi)] \times 100] / n$ <p>Avec : CT = Charges totales = Charges Opérationnelles + Charges de mécanisation</p>
Surcoût en matériel	Surcoût en matériel (%)	<p>Surcoût en matériel = (Coût du matériel nécessaire à la conduite des nouveaux systèmes / Coût du matériel nécessaire au système d'origine) * 100</p>
Maîtrise de l'état structural du sol	Arbre satellite Dépend de la Proportion de cultures récoltées en mauvaises conditions (CRMC), de l'effet des équipements limitant le tassement, de l'Aptitude du sol à la fissuration et de la Régénération mécanique de la structure	$CRMC = (CRMCi/NC) * 100$ <p>Equipements limitant le tassement : présence/absence Aptitude du sol à la fissuration : texture Régénération mécanique de la structure : type de travail du sol</p>
Maîtrise du statut acido-basique du sol	Arbre satellite Dépend du Statut acido-basique initial, de la CEC, de l'Effet des pratiques acidifiantes (EPA) et de l'Effet des amendements basiques (EAB)	<p>Statut acido-basique initial : pH EPA = Indice caractérisant l'utilisation d'engrais acidifiants + Indice caractérisant la balance azotée + Indice caractérisant l'effet de la proportion de légumineuses dans la rotation + Indice caractérisant l'effet induit par les exportations des cultures EAB = valeur moyenne des apports d'unités neutralisantes</p>
Maîtrise de la fertilité phospho-potassique	Arbre satellite La maîtrise de la fertilité d'un élément dépend : de son Etat de fertilité initiale, de son Bilan annuel moyen (BCA) , de son Recyclage dans le sol par les résidus (RI), du Pouvoir tampon du sol en cet élément	$BCAP, K = [\sum (Q \text{ apport } i P, K - (Rdt \text{ } i * \text{ Teneur } i P, K))] / n$ $RI P, K = [\sum (QRESi \times \text{Teneur } i P, K)] / n$ <p>Pouvoir tampon en fonction de la texture</p>
Maîtrise des adventices	Arbre satellite Dépend de l'Effet de la diversité des périodes d'implantation (EPI), de l'Effet du labour, de l'Effet des méthodes de lutte (EML)	<p>EPI = nombre de classes se référant à des périodes de semis différentes dans la rotation. Effet du labour : présence ou absence EML : moyenne des indices de lutte physique, chimique et par le couvert, par culture et sur une rotation</p>
Maîtrise des maladies et des ravageurs	Arbre satellite Dépend de l'Effet de la diversité des familles cultivées (DFC), de l'Effet du travail du sol et de l'Effet des méthodes de lutte (EML)	$DFC = 1 / [\sum (pi^2)]$ avec $Pi = ni / N$, ni = nombre de cultures appartenant à la famille i et N = nombre de cultures dans la rotation, EML = moyenne des indices de lutte génétique, biologique et chimique par culture et sur une rotation
Qualité sanitaire des produits	Indice de risque de contamination aux mycotoxines	$QSP = (\sum ISI) / NC$ <p>Avec ISI : indice de risque de contamination par les mycotoxines pour les cultures sensibles (Blé, Maïs, Seigle, Triticale, Orge de printemps, Avoine). NC : nombre total de cultures présentes dans la rotation.</p>
Qualité technologique et esthétique	Coefficient de risque	$QTE = \sum Qi / n$ <p>Avec Qi : Coefficient caractérisant le risque de ne pas atteindre l'objectif de qualité pour la culture i (cf. tableau 5), et n : Durée de la rotation en années</p>
Contribution à l'émergence de nouvelles filières	Indice de contribution	$CENF = [\sum CENFi] / n$ <p>Avec CENFi : Indice de contribution à l'émergence de nouvelles filières pour la culture i, et n : Durée de la rotation en années</p>

- Indicateurs de la dimension sociale :

Critère	Indicateur	Calcul
Complexité des interventions culturelles	Moyenne des coefficients de complexité des interventions culturelles sur la rotation (CIC)	$CIC = [\sum (Ki)] / n$ Avec : Ki : Coefficient de complexité affecté à chaque année culturale i n : Durée de la rotation en années
Temps de veille technico-économique	Temps de veille technico-économique (h)	Nombre de cultures différentes dans la rotation
Surcharge de travail	Différence de temps de travail (%) et nombre de pics de travail	Estimation de la différence du temps de travail et du nombre de pics d'activité (supérieurs à 35h/semaine) entre le nouveau système et le témoin. Si la différence de temps de travail est inférieure à 5%, alors la différence de nombre de pics de travail est calculée. Si ce nombre diminue, surcharge faible. S'il est constant, surcharge moyenne. Dans tous les autres cas, surcharge élevée.
Difficulté physique	Moyenne des contraintes physiques sur la rotation (DIFF)	$DIFF = \sum DIFFi / n$ Avec : DIFFi : Nombre de contraintes physiques rencontrées pour l'année i, et n : Durée en année de la rotation
Risques pour la santé de l'applicateur	Moyenne des traitements avec des produits classés toxiques (TOX)	$TOX = (\sum PPI) / n$ PPI : Nombre de passages avec le pulvérisateur contenant au moins un produit classé Xn, T ou t+ sur une année culturale i, et n : Durée en année de la rotation
Contribution à l'emploi	Moyenne du temps de travail sur la rotation (h/ha)	$EMP = [\sum NHi] / n$ NHi : Nombre d'heures de travail/ha effectuées pour l'année i par de la main d'oeuvre interne ou externe à l'exploitation, n : Durée de la rotation en années
Fourniture de matières premières	Moyenne productivités surfaciques (%)	$FMP = [\sum (IRAi / IRIi) * 100] / n$ IRAi : rendement attendu ou obtenu pour la culture i IRIi : rendement permis en conduite intensive pour la culture i n : durée de la rotation en années

- Indicateurs de la dimension environnementale :

Critère	Indicateur	Calcul
Maîtrise des pertes de NO ₃ ⁻	Indicateur de la méthode INDIGO	$MPNO3 = [\sum INO3i] / n$ Avec INO3 i : INO3 pour l'année i n : Nombre d'années de la rotation
Maîtrise des pertes de P	Arbre satellite Dépend de la maîtrise de l'érosion, de la teneur en P du sol, de la Quantité de P apportée en moyenne et de la méthode d'incorporation des résidus	
Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux profondes	Indicateur INDIGO	$MPEP = (\sum I-PHYSA \text{ Eaux profondes } i) / n$ Avec I-PHYSA Eaux profondes i : Risque d'émission dans les eaux profondes pour la substance active i
Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux superficielles	Indicateur INDIGO	$MPES = (\sum I-PHYSA \text{ Eaux superficielles } i) / n$ Avec I-PHYSA Eaux superficielles i : Risque d'émission dans les eaux superficielles pour la substance active i
Maîtrise des émissions de NH ₃	Indicateur INDIGO	$MNH3 = [\sum INH3i] / n$ Avec INH3 i : INH3 pour l'année i n : nombre d'années de la rotation
Maîtrise des émissions de N ₂ O	Indicateur INDIGO	$MN2O = [\sum IN2Oi] / n$ Avec IN2O i : IN2O pour l'année i
Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air	Indicateur INDIGO	$MPA = (\sum I-PHYSA \text{ air } i) / n$ Avec I-PHYSA air i : Risque d'émission de pesticide dans l'air pour le cycle cultural i
Maîtrise du statut organique	Indicateur INDIGO	$MSO = \sum (IMO i) / n$ Avec IMO i : IMO pour le cycle cultural i
Maîtrise de l'érosion	Arbre satellite Dépend de la Sensibilité du milieu, des Défauts de couverture en période à risque (DCPR), de l'Effet du travail du sol (ETS) et de la Maîtrise de l'état structural du sol	Sensibilité du milieu : calculée en fonction de l'érodibilité, la pente, la quantité et l'intensité des précipitations $DCPR = (NDC / NPR) \times 100$ avec NDC : Nombre de fois ou un défaut de couverture du sol est observé dans la rotation sur une période à risque. NPR : Nombre de périodes à risque comptabilisées sur l'ensemble de la rotation.

Critère	Indicateur	Calcul
Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques	Dépend de l'utilisation de fongicides à base de cuivre, de la fréquence d'épandage du lisier et de l'épandage de phosphates	Etabli par arbre décisionnel DEXi (cf figure ... en regard de la page 13)
Consommation d'eau en période critique	Apports moyens à l'hectare en eau d'irrigation en période critique (Ipci) (en mm/période)	$IRRC = (\sum Ipci) / n$
Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau	Arbre satellite Dépend de la Demande en eau des cultures (DMEAU) et de l'Autonomie de la ressource (AUTEA)	$DMEAU = (\sum ETM_i) / n$ Avec ETMi : Somme des ETM journaliers (ou par décade) d'une culture i, du semis à la récolte $AUTEA = [\sum \{1 - (li/DMEAU_i)\}] / n$ Avec li : Quantité d'eau d'irrigation apportée au cycle cultural i en mm
Consommation d'énergie	Indicateur INDIGO	$CEN = (\sum IEN_i) / n$ Avec IENi : IEN pour le cycle cultural i
Efficienc e énergétique	Moyenne des rapports entre l'énergie produite et l'énergie consommée sur la rotation	$EEN = [\sum (Epi / ETi)] / n$ Avec Epi : énergie produite l'année i en MJ/ha/an ETi : énergie consommée l'année i en MJ/ha/an
Pression phosphore	Quantité des apports de P2O5 provenant de ressources non renouvelables	Moyenne sur le système de culture des apports de P2O5 provenant de ressources non renouvelables à l'échelle de la rotation culturale
Conservation de la macrofaune du sol	Arbre satellite Dépend de l'Effet du travail du sol, de l'Effet des apports de matière organique (MSO, indicateur INDIGO) et de l'IFT insecticides	$MSO = \sum (IMO_i) / n$ Avec IMO i : IMO pour le cycle cultural i
Conservation des insectes volants	Arbre satellite Dépend de la diversité des familles cultivées (DFC, cf critère Maîtrise des maladies et des ravageurs, dimension économique) et de l'IFT insecticides	$IFT = (DA \times ST) / (DH \times SP)$ Avec DA : dose appliquée, ST : surface traitée, DH : dose homologuée, SP : surface parcellaire
Diversité floristique	Arbre satellite Dépend de l'EPI (cf critère Maîtrise des adventices, dimension économique), de l'Utilisation d'herbicides à large spectre et de la Gestion des bords de champ	$IFT_{HSL} = \sum IFT_{HSL}_i / n$ Avec IFT _{HSL} i : IFT parcellaire annuel comptabilisant seulement les herbicides à spectre large (anti-graminées et antidyctylédones).
Conservation des micro-organismes du sol	Arbre satellite Dépend de l'Effet des apports de matière organique (MSO, indicateur INDIGO), de l'Effet des pesticides (IFTT) et de la Diversité des familles cultivées (DFC, cf critère Maîtrise des maladies et des ravageurs, dimension économique)	$IFTT = \sum IFTT_i / n$ Avec IFTTi : IFT parcellaire annuel comptabilisant les insecticides, les fongicides et les herbicides.

ANNEXE II : Données économiques utilisées sur l'outil de calcul CRITER 5.4

- Coûts d'utilisation des outils tirés du Barème Entraide des CUMAS de l'Est (2018-2019), avec un prix du carburant de 0.65€/L

Outil	Performance (ha/h)	Consommation en carburant (l/ha)	Prix neuf (€)	Coût d'utilisation (€/h sans carburant)
Semoir céréales 3m intégré pneumatique à soc + Herse rotative 3m rouleau barre	1.2	14	13400	48.20
Semoir monograine pour maïs, 4 rangs, distribution mécanique	0.8	8.4	4000	16.35
Déchaumeur rapide 3m à disques indépendants chassis fixe	2.5	10.08	16400	46.37
Tonne + rampe 12-14m	0.87	12.6	46000	45.16
Charrue 5 corps portée sécurité non stop hydraulique	0.9	24.27	18700	33.86
Pulvérisateur trainé 2500L rampe 24m entrée de gamme	8	1.26	39000	67.85
Moissonneuse Batteuse 190 à 220 ch 5 secoueurs E G coupe 5 à 6 m + Benne 10 tonnes	1.5	20.58	147000	198.40
Cueilleur à maïs 6 rangs repliable avec broyeur sous bec	2.5	0	33200	270.65
Benne 10 tonnes 1 ou 2 essieux pneus 18*22.5	1.5	6.7	15 200	44.47
Presse balle ronde Chambre variable 120-160 pick up large de série (prix par balle, performance en balle/h) + Plateau 8 m 8 tonnes	2.3	0.48	32500	155.69
Déchaumeur 4m combiné dents avec ou sans disques sécurité non stop	2.5	10.08	15000	42.12
Cuve 12 à 18 hl bidisques 12 à 28m	5	1.34	5000	24.15
Déchaumeur 4m combiné dents avec ou sans disques sécurité non stop	2.5	10.08	15000	42.12
Décompacteur 3 corps porté, sécurité boulon de rupture	0.6	28	4400	24.72
Rouleau Cambridge 6m, repliage hydraulique	3	2.8	7880	36.84
Faucheuse Conditionneuse 2.8 m portée Conditionneur à doigts	1.8	9.38	13 500	52.08
Faneuse 6 axes 6.5m portée, repliage hydraulique	3.5	2.4	8500	36.19
Remorque autochargeuse 55m3 avec couteaux pour l'ensilage	1.25	16.13	77000	112.69
Presse enrubanneuse balle 120*150 hors film + film à 2.75/balle + Plateau 8m 8 tonnes	5.5	2.3	78000	303.40

- Coûts des fertilisants

Type de fertilisant	Prix	Unité	Source
Chlorure de potasse 60%	290	€/t	A dires d'experts
Ammonitrate 33.5	270	€/t	
SuperPhosphate Triple 45	223	€/t	Terre net : https://www.terre-net.fr/marche-agricole/super-phosphate-triple/engrais
Carbonates 54 %	0.14	€/VN	A dires d'experts

- Prix des produits phytosanitaires utilisés, tirés des données d'enquête de la CRAB

Nom du produit	Type de produit	Culture traitée	Dose homologuée	Unité	Prix (€/L ou €/kg)
ALLIE EXPRESS	Herbicide	Blé	0.05	kg/ha	490
ARCHIPEL DUO	Herbicide	Blé	1	L/ha	61
AXEO	Herbicide	Blé/Orge	1.2	L/ha	39
CENTURION 240 EC	Herbicide	Luzerne	0.5	L/ha	62
TROOPER	Herbicide	Orge	2.5	L/ha	18.8
JOYSTICK	Herbicide	Orge	0.2	L/ha	193
ELUMIS	Herbicide	Maïs	1.5	L/ha	52
KERB FLO	Herbicide	Luzerne	1.875	L/ha	21
NIVRANA S	Herbicide	Luzerne	4	L/ha	21
PEAK	Herbicide	Maïs	0.02	kg/ha	1290
BANVEL 4S	Herbicide	Maïs	0.6	L/ha	30
LIBRAX	Fongicide	Blé	2	L/ha	54
KANTIK	Fongicide	Blé	1.6	L/ha	22
FANDANGO S	Fongicide	Orge	1.75	L/ha	37
BELEM	Insecticide	Maïs	12	kg/ha	3833
Astuss	Mouillant	Orge	2	L/ha	2.5
ARVEST	Régulateur	Blé/Orge	2.5	L/ha	12

- Prix relatifs aux cultures.

Cultures	Blé	Maïs	Orge	Luzerne	Trèfle violet	Méteil			
Coût semences	91 €/ha	193 €/ha	28 €/kg	6€/20-25 kg + 15€ inoculation	4.5 €/kg	35.9			
Prix du grain (€/t)	150	110	140						
Prix de la paille (€/t)	35		35						
Prix ensilage							144€/tMS	83 €/tMS	
Prix enrubannage							180€/tMS		
Prix bouchons				170 €					
Prix farine				170 €					
Sources	Références technico-économiques enquêtes CRAB			Coût semences : Références technico-économiques CRAB Prix ensilage et enrubannage : Barème fourrages 2019 FDSEA (http://www.fdsea60.fr/media/3059458/bareme-fourrages-2019.pdf) Bouchons/farine : Echanges avec responsables essais zootechniques	Références technico-économiques enquêtes CRAB				

NB : les prix de l'ensilage et de l'enrubannage ont été utilisés seulement pour les calculs de l'Efficiéce économique et de l'Indépendance économique.

ANNEXE III : Données pédoclimatiques utilisées dans le paramétrage de CRITER 5.4

- Données pédologiques et caractéristiques des parcelles

Les caractéristiques du sol requises pour l'utilisation de CRITER sont les suivantes.

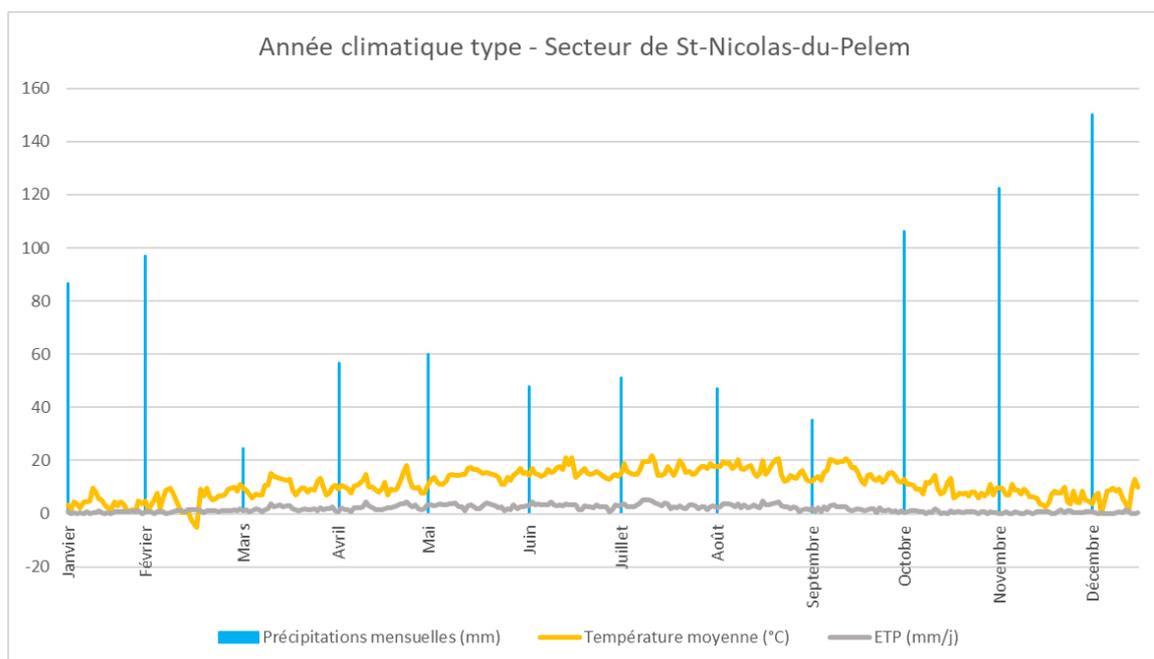
Dans le cadre de ce stage, elles ont été évaluées en prenant la médiane de chaque grandeur parmi 10 analyses de sols du secteur étudié, afin de ne pas tenir compte des valeurs extrêmes. Certaines informations n'étaient pas présentes dans les analyses de sol. Dans ces cas, un employé de la CRAB travaillant sur ces thématiques a pu nous donner les informations.

			Source
Caractéristiques du sol	Sol drainé	Non	Analyses de sol
	Battance	4	
	Hydromorphie	Non	
	Profondeur réelle (cm)	80	
	Réserve utile (mm)	90	
	Texture	Limoneux	
	% Argile	13	
	% Calcaire	2	
	% Matière organique	3.75	
	% Cailloux	10	
	Densité apparente	1.35	Valeur par défaut
Caractéristiques de la parcelle	Pente	Moyenne (2-5%)	Dires d'expert
	Erodibilité	4	
	Distance à un cours d'eau	12m	
	Largeur de la bande enherbée	12m	

- Année climatique

Les données climatiques utilisées sont issues d'une station météorologique utilisée par la CRAB et située à Saint-Nicolas-du-Pelem. La série climatique utilisée pour CRITER a été obtenue en prenant les mois médians en termes de cumuls mensuels de pluviométrie sur la période 2009-2019. La température et l'évapotranspiration de la série climatique sont celles de ces mois médians. Ce choix a été fait afin d'obtenir une série climatique représentative de la pluviométrie du secteur, qui intervient dans un certain nombre d'indicateurs.

La série climatique à importer dans CRITER doit comporter la température en °C, la pluviométrie en mm et l'évapotranspiration (ETP) en mm, à une fréquence quotidienne. Ici la pluviométrie a été représentée selon les cumuls mensuels pour plus de lisibilité.



ANNEXE IV : Valeurs des seuils utilisées pour la répartition des classes qualitatives sur MASC 2.0 des critères de base et de ceux des arbres satellites

- Critères des dimensions économique et sociale

Indicateurs basiques MASC	Critères arbre satellite	Fixation du seuil	Valeurs seuil
Rentabilité		Par l'utilisateur	Très élevée<0.85<Moyenne à élevée<0.95<Moyenne<1.05<Faible à moyenne<1.15<Faible
Indépendance économique		Exemple conservé	Très faible<20%<Faible à moyenne<40%<Moyenne à élevée<60%<Très élevée
Efficience économique		Par l'utilisateur	Faible<1.15<Faible à moyenne<1.3<Moyenne à élevée<45<Très élevée
Surcoût en matériel		Exemple conservé	Faible<20%<Moyen<50%<Elevé
Maitrise du statut acido-basique	Statut acido-basique initial	Préconisation	Faible<6<Moyen<7<Elevé
	CEC (pouvoir tampon)	Préconisation	Faible<8<Moyenne<14<Elevée
	EPA Effet des pratiques acidifiantes	Préconisation	Très faible<3<Faible à moyen<5<Moyen à élevé<7<Très élevé
	EAB Effet des amendements basiques	Préconisation	Très faible<150UN/ha/an<Faible à moyen<250<Moyen à élevé<350<Très élevé
Maitrise état structural du sol	CRMC Proportion de cultures récoltées en mauvaises conditions	Préconisation	Très faible =0, 0<Faible à moyenne<20<Moyenne à élevée<40<Très élevée
	Effet équipements limitant le tassement	Préconisation	Faible : Absence d'équipement limitant le tassement Elevé : Pneumatiques basse pression, roues jumelées
	Aptitude du sol à la fissuration	Préconisation	Selon les classes du triangles : Classe IV et V : Très faible, Classe III : Faible à moyenne, Classe II : Moyenne à élevée, Classe I : Très élevée
	Régénération mécanique de la structure	Préconisation	Très faible : Travail superficiel exclusivement sur la ligne de semis, Faible à moyenne : Travail superficiel avec déchaumages, Moyenne à élevée : Travail profond occasionnel, Très élevée : Travail profond régulier
Maitrise de fertilité P-K	Etat de la fertilité initiale P et K	Préconisation	3 classes selon les niveaux actuels de fertilité
	BCA Bilan cultural annuel P moyen	Préconisation	Très faible <-30<Faible<-10<Moyen<10<Elevé<30<Très élevé
	BCA Bilan cultural annuel K moyen	Préconisation	Très faible <-50<Faible<-20<Moyen<20<Elevé<50<Très élevé
	Recyclage du P par les résidus de culture	Préconisation	Faible<30<Moyen<60<Elevé
	Recyclage du K par les résidus de culture	Préconisation	Faible<50<Moyen<90<Elevé
	Pouvoir tampon du sol P	Préconisation	Classe "Moyen" car trop peu d'informations
	Pouvoir tampon du sol K	Préconisation	Sable/limon sableux : Faible, Limon léger/Limon moyen : Moyen, Argile, Limon argileux, Limon argilo-sableux : Elevé
Maitrise des maladies et ravageurs	Effet de la diversité des familles cultivées	Préconisation	Faible<1.7<Moyen<2.5<Elevé
	Effet du travail du sol (gestion des résidus)	Préconisation	SD : Très faible, TCSL : Faible à moyen, Labour < 1an/3 : Moyen à élevé, Labour régulier : Très élevé
	Effet des méthodes de lutte	Préconisation	Faible<1.5<Moyen<2.5<Elevé
Maitrise des adventices	Effet de la diversité des périodes d'implantation	Préconisation	1 = Très faible, 2 = Faible, 3 = Moyenne, 4 = Elevée, Très élevée≥5
	Effet du labour	Préconisation	Présence de labour : élevé, Absence : faible
	Effet des méthodes de lutte	Exemple conservé	Faible<4<Moyen<5<Elevé
Qualité technologique et esthétique		Préconisation	Faible<1.5<Moyenne<2<Elevée
Qualité sanitaire des produits		Préconisation	Elevée<1<Moyenne<2<Faible
Contribution à l'émergence de nouvelles filières		Exemple conservé	Nulle = 0<Moyenne<0.5<Elevée
Surcharge de travail		Par l'utilisateur	Faible : Diminution du nombre de pics si temps de travail avec fourrage ≤ 105% du temps de travail témoin, Moyenne = même nombre de pics si temps de travail ≤ 105% du temps de travail, Elevée = augmentation du nombre de pics, ou du temps de travail au-delà de 105%
Difficulté physique		Exemple conservé	Faible<1<Moyenne<3<Elevée
Risque pour la santé de l'opérateur		Préconisation	Faible<1<Moyen<2<Elevé
Complexité des interventions culturales		Exemple conservé	Très faible<1.5<Faible à moyenne<2<Moyenne à élevée<2.5<Très élevée
Temps de veille technico-économique		Exemple conservé	Faible<3<Moyen<6<Elevé
Contribution à l'emploi		Exemple conservé	Très faible <2h/ha/an<Faible à moyenne<4<Moyenne à élevée<6<Très élevée
Fourniture de matières premières		Exemple conservé	Très faible <70%<Faible à moyenne<80<Moyenne à élevée<90<Très élevée

- Critères de la dimension environnementale

Indicateurs basiques MASC	Critères arbre satellite	Fixation du seuil	Valeurs seuil
Pertes de pesticides dans les eaux superficielles		Préconisation	Très faible<4<Faible à moyenne<7<Moyenne à élevée<9<Très élevée
Pertes de pesticides dans les eaux profondes		Préconisation	Très faible<4<Faible à moyenne<7<Moyenne à élevée<9<Très élevée
Maitrise des pertes de NO3		Préconisation	Très faible<4<Faible à moyenne<7<Moyenne à élevée<9<Très élevée
Maitrise des pertes de P	Maitrise de l'érosion	Préconisation	Cf MERO
	IMO Teneur en P du sol	Préconisation	Lié à Maitrise de la fertilité phosphopotassique
	Quantité de P apportée en moyenne	Préconisation	Faible<40<Moyenne<100<Elevée
	Méthode d'incorporation des amendements	Préconisation	Faible : Pas d'apport/incorporation avec le semoir lors du semis, Moyenne : Juste avant le semis, Elevée : Plus de 3 mois avant le semis ou application sans incorporation au sol
Maitrise des émissions de NH3		Préconisation	Très faible<4<Faible à moyenne<7<Moyenne à élevée<9<Très élevée
Maitrise des émissions de N2O		Préconisation	Très faible<4<Faible à moyenne<7<Moyenne à élevée<9<Très élevée
Maitrise des émissions de pesticides dans l'air		Préconisation	Très faible<4<Faible à moyenne<7<Moyenne à élevée<9<Très élevée
Maitrise de l'érosion (MERO)	Sensibilité du milieu	Préconisation	Très faible = 1, Faible = 2, Moyenne = 3, Elevée = 4, Très élevée = 5
	Défaut de couverture en période à risque	Exemple conservé	Faible<20<Moyen<40<Elevé
	Effet du travail du sol	Préconisation	SD : Très faible, TCSL : Faible à moyen, Labour < 1an/3 : Moyen à élevé, Labour régulier : Très élevé
	Maitrise de l'état structural du sol		
Maitrise du statut organique du sol (MSO)		Préconisation	Très faible<4<Faible à moyenne<7<Moyenne à élevée<9<Très élevée
Maitrise de l'accumulation des éléments toxiques		Par l'utilisateur	Arbre DEXI créé d'après la bibliographie
Consommation d'eau en période critique		Par l'utilisateur	Par expertise : ici 0 car pas d'irrigation
Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau	Demande en eau des cultures	Exemple conservé	Elevée>750mm/an>Moyenne>550>Faible
	Autonomie de la ressource	Exemple conservé	Très élevée = 100%>Elevée>85%>Moyenne>75%>Faible
Consommation en énergie		Préconisation	Faible<9<Moyenne<16<Elevée
Efficience énergétique		Préconisation	Faible<6<Moyenne<9<Elevée
Pression phosphore		Exemple conservé	Très faible<20<Faible à moyenne<40<Moyenne à élevée<60<Très élevée
Conservation de la macrofaune du sol	Effet du travail du sol	Préconisation	SD : Très faible, TCSL : Faible à moyen, Labour < 1an/3 : Moyen à élevé, Labour régulier : Très élevé
	Effet des apports de matière organique		cf MSO
	IFT Insecticide	Préconisation	Nul = 0<Faible<0.75<Moyen<1.5<Elevé
Conservation des insectes volants	Effet de la diversité des familles cultivées	Préconisation	cf Maitrise maladies et ravageurs
	IFT Insecticide	Préconisation	Nul = 0<Faible<0.75<Moyen<1.5<Elevé
Abondance floristique		Préconisation	Inverse de Maitrise des adventices
Diversité floristique	Effet de la diversité des périodes d'implantation	Préconisation	1 = Très faible, 2 = Faible, 3 = Moyenne, 4 = Elevée, Très élevée ≤ 5
	Utilisation d'herbicides à spectre large	Préconisation	Nulle=0<Faible à moyenne<1<Elevée
	Gestion des bords de champ	Préconisation	Non différenciée = faible, Diminution intrants/travail = moyenne, Implantation pluriespèces = élevée
Conservation des microorganismes du sol	Effet des apports de matière organique	Préconisation	cf MSO
	Effet des pesticides	Préconisation	Nul=0<Faible<3<Moyen<5<Elevé
	Effet de la diversité des familles cultivées	Préconisation	cf Maitrise des maladies et ravageurs

- Règle de décision créée pour évaluer le critère de **Maîtrise d'accumulation des éléments toxiques dans le sol**, d'après Tremel-Schaub et Feix (2005) et Dauguet et al. (2010) :

Fongicides avec	Lisier	Engrais P	Maîtrise de l'accumulation des éléments toxiques
Utilisation	Un épandage par an	Régulière	Très élevée
Utilisation	Un épandage par an	Occasionnelle	Moyenne à élevée
Utilisation	Un épandage par an	Pas d'utilisation	Faible à moyenne
Utilisation	Moins d'un épandage par an	Régulière	Moyenne à élevée
Utilisation	Moins d'un épandage par an	Occasionnelle	Moyenne à élevée
Utilisation	Moins d'un épandage par an	Pas d'utilisation	Faible à moyenne
Pas d'utilisation	Un épandage par an	Régulière	Très élevée
Pas d'utilisation	Un épandage par an	Occasionnelle	Moyenne à élevée
Pas d'utilisation	Un épandage par an	Pas d'utilisation	Faible à moyenne
Pas d'utilisation	Moins d'un épandage par an	Régulière	Moyenne à élevée
Pas d'utilisation	Moins d'un épandage par an	Occasionnelle	Faible à moyenne
Pas d'utilisation	Moins d'un épandage par an	Pas d'utilisation	Très faible

ANNEXE V : Présentation des itinéraires techniques

- Itinéraire technique du blé :

Culture	Questions communes			Semis		Fertilisation			Produits phytosanitaires				
	Intervention	Date	Fréquence	Densité de semis	Objectif de rendement (t/ha)	Type de fertilisation	Dose	Unité	Nom du produit	Dose	Unité	Dose homologuée	% surface traitée
Blé	Labour	02-nov	3 ans sur 4										
Témoin	Ou Déchaumage	03-nov	1 an sur 4										
	Semis combiné	04-nov	Chaque année	120 kg/ha	7.2								
	Fertilisation	20-févr	Chaque année			Ammonitrate 33,5	100 kg (33.5 U)	kg/ha					
	Fertilisation	20-mars	Chaque année			Lisier Porc	21 500 L (50 U)	kg/ha					
	Fertilisation	20-avr	Chaque année			Ammonitrate 33,5	120 kg (40 U)	kg/ha					
	Régulateur	25-mars	1 an sur 5						ARVEST	1.5	L/ha	2.5 L/ha	100
	Herbicide	10-déc	Chaque année						TROOPER	2.0	L/ha	2.5 L/ha	100
	Herbicide	10-mars	Chaque année						ARCHIPEL DUO	0.4	L/ha	1 L/ha	100
	Herbicide	10-mars	Chaque année						ALLIE EXPRESS	20	g/ha	50 g/ha	100
	Herbicide	10-mars	Chaque année						AXEO	0.6	L/ha	1.2 L/ha	30
	Fongicide	15-avr	Chaque année						KANTIK	1	L/ha	1.6 L/ha	100
	Fongicide	15-avr	Chaque année						LIBRAX	0.7	L/ha	2.0 L/ha	100
	Récolte	01-août	Chaque année										
	Pressage	01-août	Chaque année										

Le **blé suivant un maïs de luzerne** voit son traitement herbicide de décembre (TROOPER) supprimé et le traitement AXEO diminuer à 10% de surface traitée. Le **blé de méteil** voit, lui, seulement son traitement de décembre supprimer.

- Itinéraire technique de l'orge :

Culture	Questions communes			Semis		Fertilisation			Produits phytosanitaires				
	Intervention	Date	Fréquence	Densité de semis	Objectif de rendement (t/ha)	Type de fertilisation	Dose	Unité	Nom du produit	Dose	Unité	Dose homologuée	% surface traitée
Orge	Labour	20-oct	3 ans sur 4										
	Ou Déchaumage	20-oct	1 an sur 4										
	Semis	25-oct	Chaque année	220 g/m ²	6.7								
	Fertilisation	20-mars	Chaque année			Lisier de porc	21 500 L (50 uN)	kg/ha					
	Fertilisation	20-avr	Chaque année			Ammonitrate 33,5	172 (57 uN)	kg/ha					
	Régulateur	25-mars	1 an sur 2						ARVEST	2	L/ha	2.5 L/ha	100
	Herbicide	Décembre	Chaque année						TROOPER	2.0	L/ha	2.5 L/ha	100
	Herbicide	10-mars	Chaque année						JOYSTICK (0.15/0.2) + Astuss (2/2)	0.15	kg/ha	0.2 kg/ha	100
	Herbicide	10-mars	Chaque année						AXEO	0.6	L/ha	1.2 L/ha	30
	Fongicide	les barbes	Chaque année						FANDANGO S	1.4	L/ha	1.75 L/ha	100
	Récolte	Juillet	Chaque année										
	Pressage	Début Août	Chaque année										

L'orge étant cultivée après le blé, la période d'influence des fourrages est passée quoiqu'il arrive. Il n'y a donc pas eu besoin d'adapter son itinéraire technique à la présence de fourrages dans la rotation.

- Itinéraire technique de la luzerne :

Culture	Questions communes		Semis		Fertilisation		Produits phytosanitaires				
	Intervention	Date	Densité de semis	Objectif de rendement (t/ha)	Type de fertilisation	Dose	Nom du produit	Dose	Unité	Dose homologuée	% surface traitée
Luzerne année 1	Déchaumage	15-août									
	Sous-solage	15-août									
	Labour	16-août									
	Chaulage	16-août			Carbonate 54	2800 kg/ha					
	Semis	18-août	20 kg/ha	9							
	Roulage	18-août									
Luzerne chaque année	Herbicide	15-sept					Centurion	0.4	L/ha	0.5	100
	Fauche	20-avr									
	Fanage	20-avr									
	Andainage	21-avr									
	Enrubannage ou ensilage	22-avr									
	Fertilisation	26-avr			Lisier de porc	21 500 L/ha (50 UN, 60 uK)					
	Fertilisation	26-avr			KCl	290 kg/ha (174 U)					
	Fauche	j+40 fin mai									
	Andainage	j+41									
	Enrubannage ou ensilage	j+42									
	Fauche	j+80 mi juillet									
	Andainage	j+81									
	Enrubannage ou ensilage	j+82									
	Fauche	j+120 aout									
	Andainage	j+121									
	Enrubannage ou ensilage	j+122									
	Fauche	j+160 début octobre									
	Andainage	j+161									
	Enrubannage ou ensilage	j+162									
	Désherbage d'entretien (hors première année)	10-oct						KerbFlo	0.75 ou 1.25 si seul	L/ha	1.875 L/ha
Désherbage d'entretien (hors première année)	10-oct						Nirvana S	2	L/ha	4 L/ha	100

- Itinéraire technique du trèfle :

Culture	Questions communes		Semis		Fertilisation		Phytos				
	Intervention	Date	Densité de semis	Objectif de rendement (t/ha)	Type de fertilisation	Dose	Nom du produit	Dose	Unité	Dose homologuée	% surface traitée
Trèfle année 1	Déchaumage	15-août									
	Sous-solage	15-août									
	Labour	16-août									
	Semis	16-août	20 kg/ha								
	Roulage	18-août		9							
	Herbicide	18-août									
Trèfle chaque année	Fauche	15-sept					Centurion	0.4	L/ha	0.5	100
	Fanage	13-avr									
	Andainage	14-avr									
	Pressage et enrubannage	15-avr									
	Fertilisation	20-avr			Superphosphate triple 45	166 kg/ha (75 U)					
	Fertilisation	20-avr			KCl	390 kg/ha (234 U)					
	Fauche	j+40									
	Fanage	j+40									
	Andainage	j+42									
	Pressage et enrubannage	j+43									
	Fauche	j+80									
	Fanage	j+80									
	Andainage	j+81									
	Pressage et enrubannage	j+82									
	Fauche	j+120									
	Fanage	j+120									
Andainage	j+121										
Pressage et enrubannage	j+122										

Le trèfle étant plus agressif que la luzerne face aux autres plantes, il n'a pas besoin de désherbage d'entretien. De plus 4 coupes suffisent, contre 5 pour la luzerne.

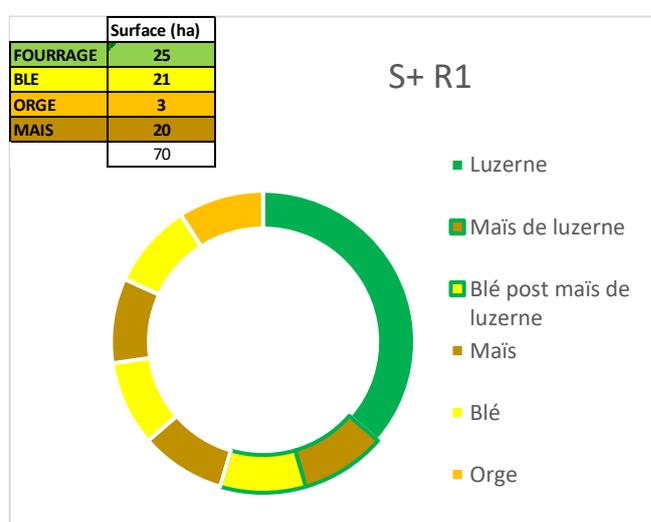
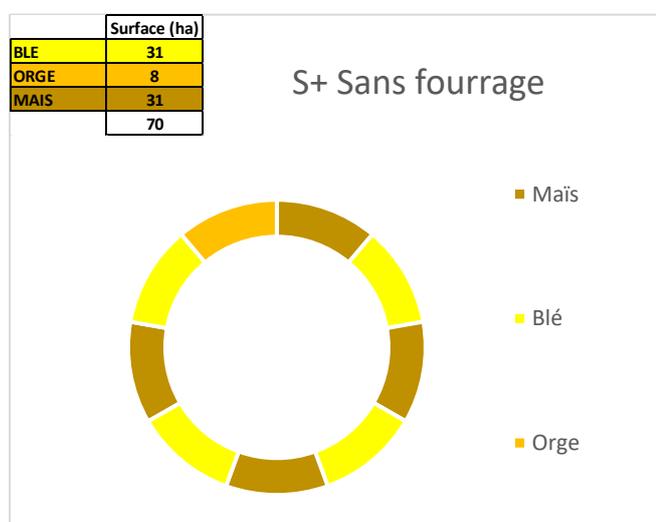
ANNEXE VI : Présentation des rotations créées

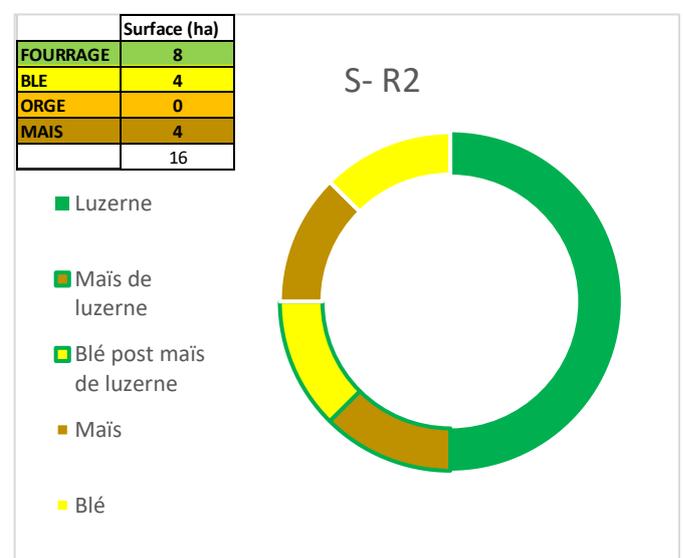
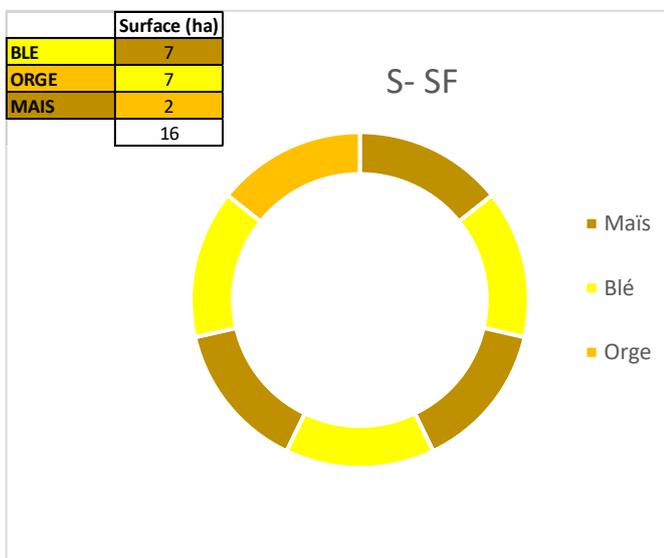
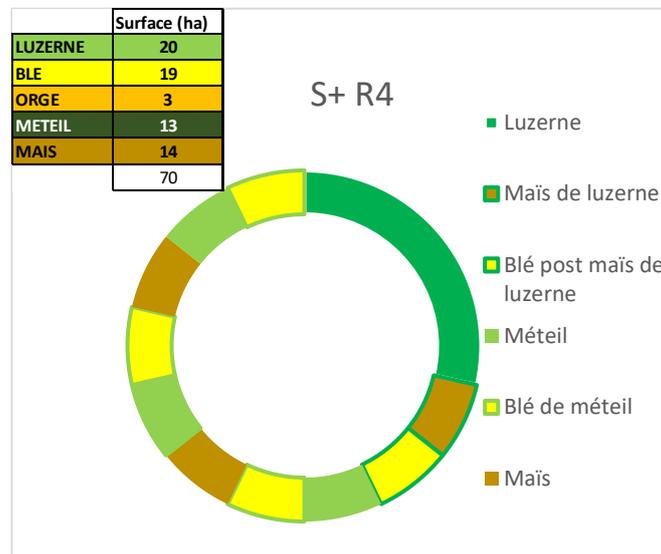
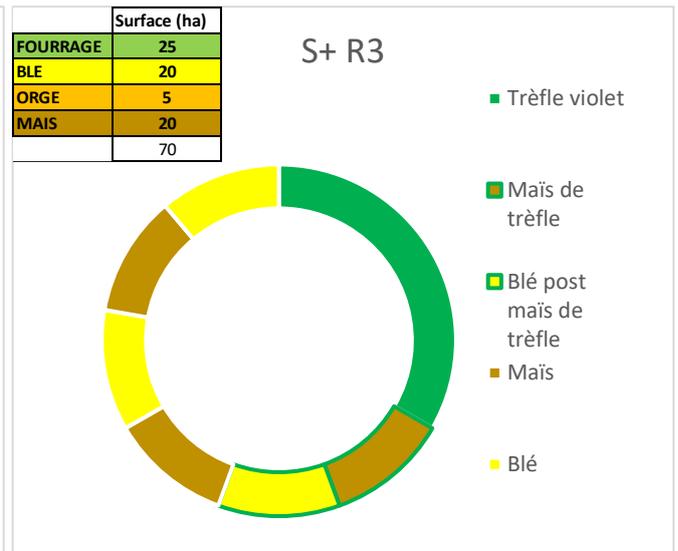
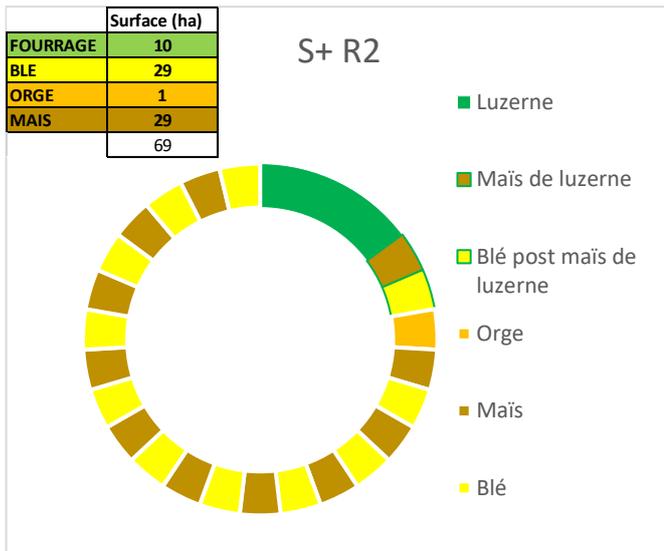
La durée de culture des luzernes est de 4 ans, et celle des trèfles est de 3 ans. Dans un souci de praticité pour l'agriculteur, afin d'étaler les implantations de ces cultures dans le temps et ne pas créer de trop gros pics de travail, le choix a été fait de les implanter au maximum tous les 10 ha. On obtient donc des rotations pour chaque parcelle telles que sur cet exemple, qui est construit pour le scénario S+ R1 :

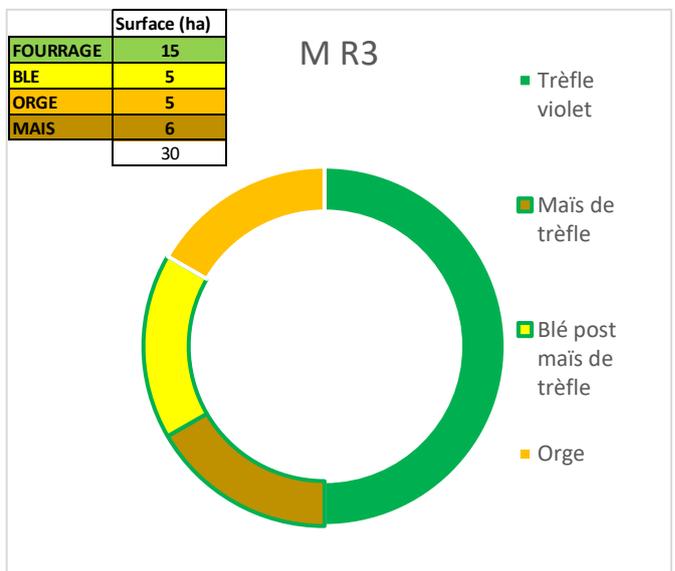
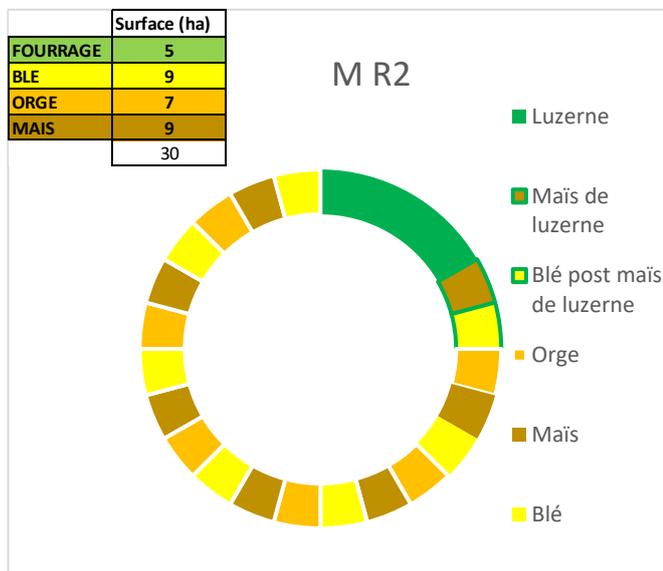
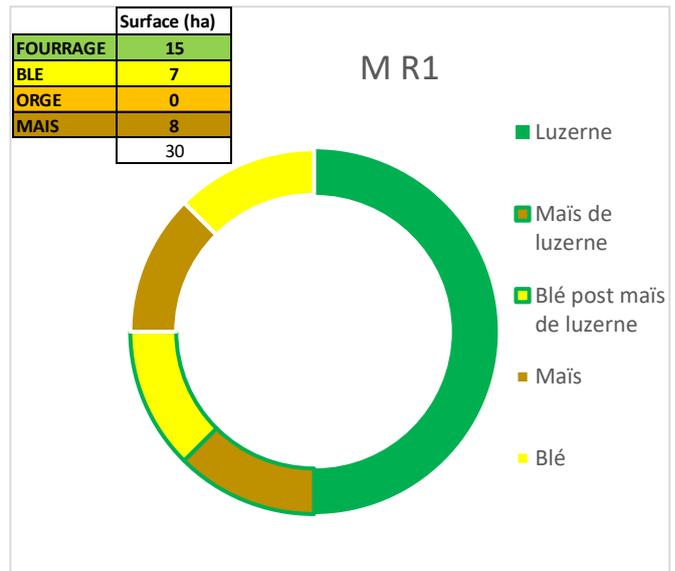
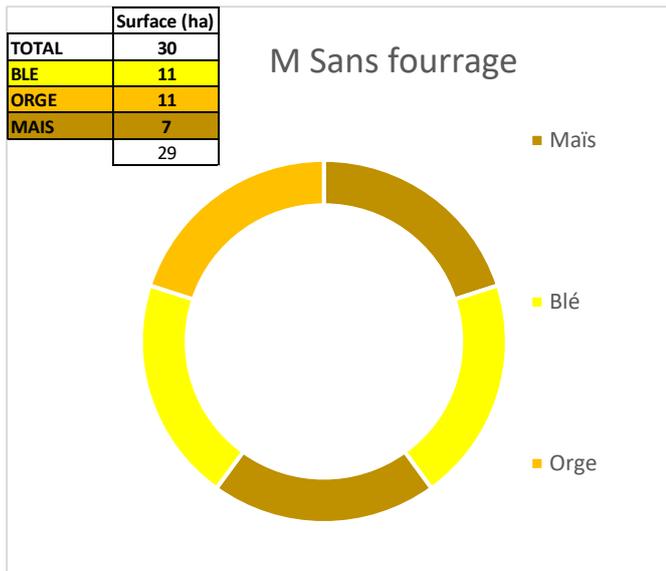
		Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9
Parcelle 1	5	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Maïs	Blé	Maïs	Blé
Parcelle 2	5	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Maïs	Blé	Maïs	Blé
Parcelle 3	5	Blé	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Maïs	Blé	Maïs
Parcelle 4	5	Blé	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Maïs	Blé	Maïs
Parcelle 5	5	Blé	Maïs	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Maïs	Blé
Parcelle 6	5	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Parcelle 7	5	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Parcelle 8	5	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Parcelle 9	5	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé-Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Parcelle 10	5	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Orge-Luzerne	Luzerne	Luzerne
Parcelle 11	5	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Maïs	Maïs	Blé	Orge-Luzerne
Parcelle 12	5	Maïs	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé-Luzerne
Parcelle 13	5	Maïs	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé
Parcelle 14	5	Maïs	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé	Maïs	Blé

Lorsque la rotation sera arrivée à son rythme de routine, cet assolement comportera 25 ha de luzerne, 21 ha de blé, 22 ha de maïs et 2 ha d'orge par an, de façon à respecter au maximum les proportions en céréales établies lors de la typologie.

Comme on peut l'observer sur la parcelle 10, à l'année 7, une culture d'orge a été placée avant la luzerne, contrairement aux années précédentes sur les autres parcelles. La luzerne étant normalement implantée après un blé, on aurait pu s'attendre à ce qu'elle soit implantée à l'année 7. Néanmoins la surface nécessaire à la production de luzerne était déjà pourvue : les parcelles 5 à 9 produisent les 25 ha requis. Il a donc fallu retarder l'implantation de la luzernière d'une année, et l'orge a été utilisée pour limiter les retours blé/blé. Ce type d'ajustements entraîne une différence de la durée de rotation sur cette parcelle par rapport aux autres. Celle-ci se rééquilibre ensuite « automatiquement » au fur et à mesure sur les autres parcelles, pour tenir compte des contraintes de l'assolement évoquées au paragraphe précédent. Les rotations qui vont suivre sont donc des moyennes, elles ne prennent pas en compte ces ajustements.







 	Diplôme : Ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement Spécialité : Sciences et Ingénierie du Végétal Spécialisation / option : Agrosystèmes : conception et évaluation Enseignant référent : Matthieu CAROF
Auteur(s) : Gaël GAUCHER Date de naissance* : 27/03/1996	Organisme d'accueil : Chambre régionale d'Agriculture de Bretagne Adresse : Rue Maurice le Lannou, CS 74 223 35 042 Rennes Cedex, France Maître de stage : Aurélien DUPONT
Nb pages : 25 Annexe(s) : 6	
Année de soutenance : 2020	
<p>Titre français : Augmenter l'autonomie protéique des élevages de porcs bretons : Co-conception et évaluation de systèmes de culture intégrant des fourrages sources de protéines.</p> <p>Titre anglais : Increasing the protein self-sufficiency of Breton pork farms : co-conception and evaluation of farming systems incorporating fodders sources of protein.</p>	
<p>Résumé : Pour augmenter l'autonomie protéique des élevages de porcs bretons conventionnels et limiter leur dépendance aux tourteaux de soja, le projet FOURPROPORC étudie les conséquences de l'incorporation dans la ration des porcs de fourrages sources de protéines. Plusieurs espèces et présentations sont testées : luzerne enrubannée, ensilée ou déshydratée, trèfle violet et méteil enrubannés. En plus des essais zootechniques, cette étude vise à évaluer les conséquences de l'incorporation de ces fourrages sur la durabilité de systèmes de culture conçus pour leur production. Pour ce faire une typologie des élevages de porcs bretons a d'abord été menée. A partir de celle-ci les nouveaux systèmes de culture ont été conçus de manière collective pour répondre aux contraintes de 12 scénarios d'alimentation, et ont été évalués a priori via une évaluation multicritères sur leurs dimensions économique, sociale et environnementale avec l'outil d'évaluation MASC. Les résultats montrent que la plupart des nouveaux systèmes ont une durabilité supérieure ou égale aux systèmes témoins. Cette première évaluation, simulée sur le secteur de la station d'expérimentation, ouvre la voie à d'autres évaluations sur d'autres contextes pédoclimatiques bretons, pour plus de représentativité. Une fois menées, elles permettront, conjointement aux essais zootechniques, de conforter le choix d'adopter ces nouveaux systèmes d'alimentation.</p>	
<p>Abstract : In order to increase the protein self-sufficiency of the conventional Breton pork farms and lower their dependency to soybean oilcakes the project FOURPROPORC is studying the consequences of the incorporation of fodders sources of protein in the pigs' meals. Several species and presentations are tested : wrapped hay silage, silage or dehydrated alfalfa, wrapped hay silage of purple clover or of multispecies crop. Besides the zootechnics trials, this study aims to evaluate the consequences of the incorporation of these fodders on the durability of cropping systems adapted to their production. To achieve this, a typology of the Breton pork farms has first been realised. From the latter, new cropping systems have been co-created to fulfill the constraints of 12 scenarios of feeding, and have been evaluated ex ante thanks to a multicriteria evaluation on their economic, social and environmental dimensions, with the evaluation tool MASC. The results show that most of the new cropping systems have an equal or higher durability than the control ones. This first evaluation, simulated in the context of the experimentation platform, opens to other evaluations in other pedoclimatic contexts, for a better representativity. Once they are realised, they will enable, along with the zootechnic trials, to confort the choice of taking these new feeding systems on.</p>	
Mots-clés : Autonomie protéique, MASC, évaluation, durabilité, systèmes de culture, fourrages Key Words: Protein self-sufficiency, MASC, evaluation, durability, cropping systems, fodders	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires