



HAL
open science

Évaluation multicritère de la durabilité de trois systèmes de culture innovants en grande culture dans un contexte Breton

Ludivine Paugam

► **To cite this version:**

Ludivine Paugam. Évaluation multicritère de la durabilité de trois systèmes de culture innovants en grande culture dans un contexte Breton. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01971953

HAL Id: dumas-01971953

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01971953>

Submitted on 7 Jan 2019

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

Année universitaire : 2017-2018

Spécialité : Ingénieur agronome

Spécialisation (et option éventuelle) :

Agroecology

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Evaluation multicritère de la durabilité de trois systèmes de culture innovants en grande culture dans un contexte Breton

Par : Ludivine PAUGAM



Soutenu à Rennes le 13/09/2018

Devant le jury composé de :

Président : Guénola Pérès

Autre membre du jury : Olivier Godinot (rapporteur)

Maître de stage : Patrice Cotinet

Enseignant référent : Matthieu Carof

Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du **maître de stage** ⁽²⁾ :
(ou de l'étudiant-entrepreneur)

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur ⁽³⁾ **Paugam Ludivine**

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'**auteur** :

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'**enseignant** :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

En premier lieu, je remercie mon maître de stage Patrice Cotinet pour son accompagnement tout au long de mon stage et sa disponibilité ainsi que son implication pour m'aider et répondre à mes questions.

Je souhaite remercier mon enseignant référent Matthieu Carof qui m'a aidé à trouver les réponses pour quelques questions un peu pointues que j'avais.

Je remercie également toutes les personnes travaillant de façon permanente ou régulière à la station de Kerguéhennec Yvon Lambert, David Meallet, Caroline Cocoual, Tanguy Pommeret, Floriane Bouard ainsi qu'Aurélien Dupont pour leur accueil et leurs discussions qui m'ont appris beaucoup et m'ont permis de passer de bons moments autour d'un café ou du repas du midi. Merci aussi à Jean-Luc Giteau et Paul Landrain qui m'ont aidée dans ce projet ainsi qu'à Lionel Quere et Blandine lemercier (INRA UMR Sol Agro) pour leurs avis d'experts.

Je tiens également à remercier les stagiaires Johan le Botlan, Léa Louvet, Maiwenn Gilbert, Augustine Laboury et Clémentine Maunier pour les bons moments passés avec elles et tout spécialement Jeanne Angot qui a été d'une grande aide pour ce stage.

Table des matières

Abréviations.....	1
Glossaire.....	2
Table des figures.....	3
Table des tableaux.....	4
Table des annexes:.....	4
1. Introduction.....	1
2. Contexte et enjeux.....	2
2.1. Contexte et enjeux des systèmes de production bretons.....	2
2.2. L'approche système et l'innovation.....	3
2.2.1. Définition et caractérisation de l'approche système.....	3
2.2.2. La méthodologie de l'approche système.....	4
2.3. L'objectif de durabilité.....	5
2.3.1. Qu'est-ce que la durabilité ?.....	5
2.3.2. La difficulté d'évaluer la durabilité d'un SdC.....	5
2.3.3. Les différents outils disponibles pour guider l'évaluation de la durabilité.....	6
2.3.4. Les précédentes évaluations des SdC étudiés dans ce mémoire.....	6
2.4. Objectif de l'étude :.....	7
3. Matériels et Méthodes.....	8
3.1. Sites expérimentaux.....	8
3.2. Contexte pédoclimatique.....	8
3.2.1. Contexte climatique.....	8
3.2.2. Contexte pédologique.....	8
3.3. Dispositifs expérimentaux.....	8
3.3.1. Les systèmes innovants testés.....	9
3.3.2. Les systèmes de référence.....	9
3.4. Evaluation multicritère a posteriori.....	9
3.4.1. Présentation des outils.....	9
3.4.2. Paramétrage des outils.....	10
3.4.3. Mode d'évaluation :.....	13

4.	Résultats	14
4.1.	Analyse de la sensibilité du modèle :.....	14
4.2.	Les SdC de référence BZH et Conv:	14
4.3.	Le SdC Bio:.....	15
4.3.1.	Contribution au développement durable par année	15
4.3.2.	Comparaison au SdC de référence BZH	16
4.4.	Le SdC Kerg int :.....	16
4.4.1.	Contribution au développement durable par année	16
4.4.2.	Contribution au développement durable par parcelle.....	17
4.4.3.	Comparaison au SdC de référence BZH	18
4.5.	Le SdC Crécom:.....	19
4.5.1.	Contribution au développement durable par année	19
4.5.2.	Contribution au développement durable par parcelle.....	19
4.5.3.	Comparaison au SdC de référence BZH	20
4.6.	Comparaison entre les trois SdCi:.....	21
5.	Discussion.....	22
5.1.	Réponse aux hypothèses	22
5.2.	Confrontation des résultats avec les autres évaluations	22
5.3.	Mise en relation des résultats avec les pratiques et axes d'améliorations	23
5.4.	Limites de la méthode	24
5.4.1.	Limites des essais et des références :.....	24
5.4.2.	Limites de la méthode CRITER-MASC.....	25
6.	Conclusion	26
7.	Bibliographie	27
8.	Annexes :	1
9.	Short report	25

Abréviations :

RMT : réseau mixte technologique

SdC : système de culture

SdCi : système de culture innovant

ITK : itinéraire technique

SGC : Système Grande Culture

IFT : indice de fréquence de traitement

AB : agriculture biologique

CRAB : chambre régionale d'agriculture de Bretagne

Abréviations des cultures :

- blé tendre d'hiver : blé

- Colza d'hiver : colza

- Féverole de printemps : féverole (exception : dans « blé-féverole », la féverole est une féverole d'hiver)

- Maïs grain : maïs

- Pois d'hiver : pois

- Triticale d'hiver : triticale

Glossaire : tous les mots suivis d'un astérisque sont définis dans le glossaire

A dire(s) d'expert(s) : avis prononcé par une/des personne(s) compétente(s) sur un sujet donné.

Approche expérimentale : Essais systèmes réalisés sur un ilot contenant plusieurs parcelles, les analyses des rendements sont réalisées seulement sur des blocs à l'intérieur des parcelles pour éviter les effets bordures.

Approche exploitation : Essais systèmes réalisés sur plusieurs parcelles parfois éloignées les unes des autres, les analyses des rendements sont réalisées sur la parcelle complète.

Critères et indicateurs : Les critères sont des variables qui servent de base à un jugement par rapport à un objectif. Ils sont mesurés ou estimés par des indicateurs (Lairez J. *et al*, 2015).

Itinéraire technique : Combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée (Sebillotte M., 1974).

Q90 (quantile 90) : la valeur pour laquelle 90 % des mesures sont inférieures (Agreste Bretagne, DRAFF, 2014).

Règle de décision (RdD) : règle du type « si... alors... sinon... » permettant de cadrer les choix techniques utilisés pour répondre aux objectifs et de les adapter aux conditions annuelles et parcellaires (climat, pression biotique, évolution des cultures) (Meynard, 2012).

Reliquat début drainage : représente l'azote présent dans le sol après récolte au moment de la reprise du drainage à l'automne et susceptible d'être lessivé durant la période hivernale.

Substance(s) active(s) (d'un produit phytosanitaire) : molécule(s) constituant le(s) principe(s) actif(s) qui agit(ssent) sur la/les cible(s) du produit phytosanitaire.

Système de culture : un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Chaque système se définit par la nature des cultures et leur ordre de succession ainsi que par les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures (Sebillotte M., 1990).

Table des figures

NB : Lorsqu'aucune source n'est mentionnée, l'illustration est une réalisation personnelle

Figure 1 : Répartition des valeurs de la production agricole bretonne en 2016.....	2
Figure 2 : Pourcentage des cours d'eau en bon état écologique et objectifs à atteindre en 2021 pour les sous-bassins du SDAGE Loire-Bretagne.....	2
Figure 3 : Principaux paramètres déclassant les cours d'eau bretons en 2013.....	3
Figure 4 : Evolution de la moyenne des Q90 de la concentration en Nitrate des cours d'eau bretons de 1980 à 2015.....	3
Figure 5 : Les 10 molécules les plus quantifiées dans le réseau Corpep en 2014 et 2015..	3
Figure 6 : Les étapes de la conception, amélioration et évaluation d'un SdC.....	4
Figure 7 : La durabilité selon la conception « triple bottom line ».....	5
Figure 8 : Rotation des 3 SdCi étudiés dans ce rapport ainsi que de leurs objectifs principaux et/ou spécificités notables.....	7
Figure 9 : Zones agroclimatiques en Bretagne.....	8
Figure 10 : Vue aérienne des parcelles des SdC innovants des stations de Crécom (Saint-Nicolas-du-Pélem) et de Kerguéhennec (Bignan).....	8
Figure 11 : Arborescence de MASC et pondération associées. Les pondérations sur fond orange sont spécifiques à cette étude.....	10
Figure 12 : Aléa d'érosion des sols français.....	12
Figure 13 : Analyse de sensibilité du modèle MASC 2.0 non modifié.....	14
Figure 14 : Analyse de sensibilité du modèle MASC 2.0 avec de nouvelles pondération....	14
Figure 15 : Test de Monte Carlo portant sur la fréquence d'obtention des différentes classes de contribution au développement durable du modèle MASC utilisé dans cette étude.....	14
Figure 16 : Classement de BZH et Conv sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	14
Figure 17 : Critères variant entre BZH et Conv sur les dimensions économique et sociale. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	15
Figure 18 : Critères présentant un mauvais score dans l'agrégation "qualité du milieu" pour les SdC BZH et/ou Conv. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	15
Figure 19 : Classement du SdCi Bio et du SdC BZH sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	15
Figure 20 : Critères variant entre les SdC BZH et Bio dans la dimension économique. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	16
Figure 21 : Critères variant entre les SdC BZH et Bio dans la dimension sociale. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	16
Figure 22 : Critères variant entre les SdC BZH et Bio dans la dimension environnementale. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	16
Figure 23 : Evolution par année de la contribution au développement durable et des trois dimensions pour Kerg int.....	17
Figure 24 : Evolution par an de la moyenne des notes pour les critères variant annuellement pour Kerg int.....	17
Figure 25 : Critères variant en fonction des années pour Kerg int.....	17
Figure 26 : Classification de la contribution au développement durable et aux trois dimensions en fonction des parcelles pour Kerg int.....	18
Figure 27 : Classement du SdCi Kerg int et du SdC BZH sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	18
Figure 28 : Critères variant entre les SdC BZH et Kerg int dans la dimension économique. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	18

Figure 29 : Critères variant entre les SdC BZH et Kerg int dans la dimension sociale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	18
Figure 30 : Critères variant entre les SdC BZH et Kerg int dans la dimension environnementale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	18
Figure 31 : Evolution par année de la contribution au développement durable et aux trois dimensions pour Crécom.....	19
Figure 32 : évolution par an de la moyenne des notes pour les critères variant annuellement (hors contribution à l'emploi) pour Crécom.....	19
Figure 33 : Classification de la contribution au développement durable et aux trois dimensions en fonction des parcelles pour Crécom.....	19
Figure 34 : Classement du SdCi Crécom et du SdC BZH sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	20
Figure 35 : Critères variant entre les SdC BZH et Crécom dans la dimension économique. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	20
Figure 36 : Critères variant entre les SdC BZH et Crécom dans la dimension sociale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.....	20
Figure 37 : Critères variant entre les SdC BZH et Crécom dans la dimension environnementale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.	
Figure 38 : Classement de la contribution au développement durable de BZH, Conv, Crécom, Bio et Kerg int.....	21
Figure 39 : Classement de BZH, Conv, Crécom, Bio, et Kerg int sur les trois dimensions du développement durable.....	21

Table des tableaux

Tableau 1 : Comparaison entre l'approche analytique et systémique (Comparison between analytical and systemic approach).....	4
Tableau 2 : Comparatif de différents outils d'évaluation multicritère d'exploitations agricoles. Les cases rouges indiquent les paramètres non évalués par la méthode (Comparison of several multicriteria evaluation tools for farms. Red cells indicate non-evaluated parameters).....	6
Tableau 3 : Caractéristiques environnementales des 2 sites d'implantation des SdCi (Environmental characteristic of the two implantation site for the innovative crop system).....	8
Tableau 4 : Caractéristiques des cinq SdC analysés dans ce rapport. (Characteristics of the five crop system analyses in this report).....	9
Tableau 5 : Modifications apportées à la méthode de renseignement des critères MASC. (Modification of the information method of MASC criteria).....	11
Tableau 6 : Forces et faiblesses des 3 SdCi liées aux pratiques (Strength and weakness of the three innovative crop system linked to practices).....	21

Table des annexes:

ANNEXE I : ITK synthétisé des différents SdC.....	1
ANNEXE II : Schémas décisionnels des SdCi.....	4
ANNEXE III : Les critères nécessaires à MASC calculés par le logiciel CRITER.....	7
ANNEXE IV : Les critères basiques de MASC et les variables qui y sont intégrées.....	8
ANNEXE V : Structure des arbres satellites de MASC.....	10
ANNEXE VI : Caractéristiques du sol représentatif breton.....	11
ANNEXE VII : Formule de l'indice de Rivière.....	12
ANNEXE VIII : Répartition moyenne du temps de travail (h/décade/an) pour les cinq SdC pour une exploitation de 60ha.....	13
ANNEXE IX : Modifications apportées aux valeurs seuils des classes des critères de MASC.....	14
ANNEXE X : Pondérations minimales affectées agrégation de MASC 2.0.....	15
ANNEXE XI : Pondérations livrées par défaut dans MASC 2.0.....	16
ANNEXE XII : Score obtenu pour BZH pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.....	17
ANNEXE XIII : Score obtenu pour Conv pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.....	18
ANNEXE XIV : Score obtenu pour Bio pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.....	19
ANNEXE XV : Classement des critères variant par parcelle pour Kerg int.....	20
ANNEXE XVI : Rendement des cultures sur la parcelle P6 comparé aux rendements minimums, maximums et moyens de toutes les parcelles.....	21
ANNEXE XVII : Score obtenu pour Kerg int pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.....	22
ANNEXE XVIII : Evolution du temps de travail (h/ha/an) pour Crécom.....	23
ANNEXE XIX : Score obtenu pour Crécom pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.....	24

1. Introduction

La logique productiviste de l'agriculture a été encouragée pour faire face à la pénurie d'après-guerre, mais également pour amener les agriculteurs au même niveau de vie que le reste de la population. Cependant, de par la relation privilégiée de l'agronomie avec l'environnement, cette politique a entraîné des effets secondaires dont la dégradation de la biodiversité, de la qualité de l'air, de l'eau et du sol.

En Bretagne, les principales menaces identifiées sont la pollution par les produits phytosanitaires ainsi que par les nitrates. Ces derniers proviennent de l'importance de l'élevage dans cette région. Le plan Ecophyto mis en place par le gouvernement français vise à diminuer progressivement le recours aux produits phytosanitaires. Tous les acteurs agricoles sont mobilisés, dont ceux de la recherche par la mise en place d'expérimentations systèmes.

Cette étude menée par la CRAB (Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne) s'intègre dans deux réseaux nationaux : DEPHY EXPE (plan Ecophyto) et le RMT SdCi (Réseau Mixte Technologique Système de Culture* innovant). La problématique posée est la suivante : **les méthodes de production intégrée et biologique en grande culture conduisent-elles à une meilleure contribution au développement durable et plus particulièrement à une amélioration de la dimension environnementale sans pénaliser les dimensions économiques et sociales par rapport à un SdC de référence conventionnel breton ?**

Pour répondre à cette problématique, trois essais systèmes (deux en agriculture intégrée et un en agriculture biologique), conduits en stations expérimentales, sont analysés grâce à l'outil d'analyse multicritère de durabilité MASC.

L'évolution des SdCi (systèmes de culture innovants) ainsi que leurs variations et les différences avec un système de référence breton sont étudiés.

La première partie de cette étude est consacrée à un état des lieux exposant le contexte de l'agriculture bretonne ainsi que les enjeux qui en découlent, la définition et la caractérisation de l'approche système et de l'innovation, la présentation de l'objectif de durabilité et enfin l'objectif de l'étude. En deuxième partie, l'environnement des SdC étudiés ainsi que leurs caractéristiques sont présentés, puis les outils et leurs méthodes de paramétrages sont exposés. S'ensuit les résultats et l'interprétation de l'analyse du modèle, des variations entre les SdC de référence, des différences interannuelles et inter-parcellaires pour chaque SdCi et enfin de la comparaison des trois SdCi. La dernière partie pose une discussion abordant les études précédentes de ces SdCi, la réponse aux hypothèses, les pistes d'amélioration de ces systèmes et enfin les limites de cette étude.

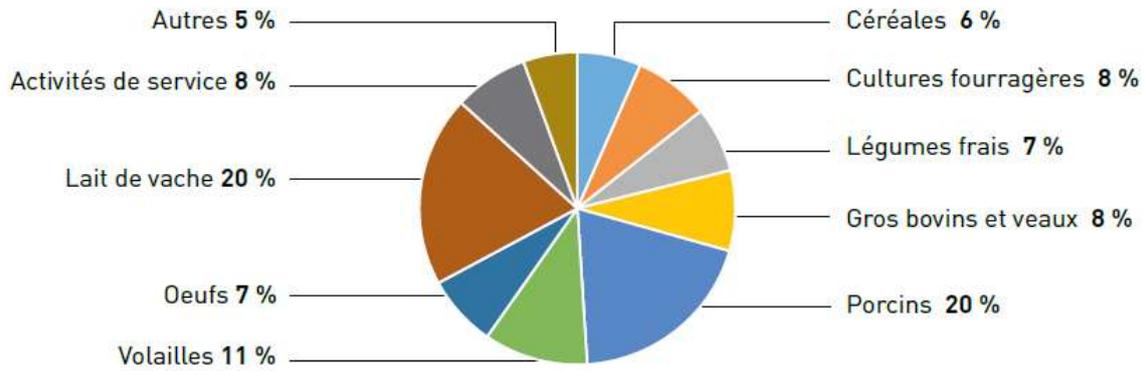


Figure1 : Répartition des valeurs de la production agricole bretonne en 2016 (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2017).
 Values repartition of Brittany agricultural production in 2016.

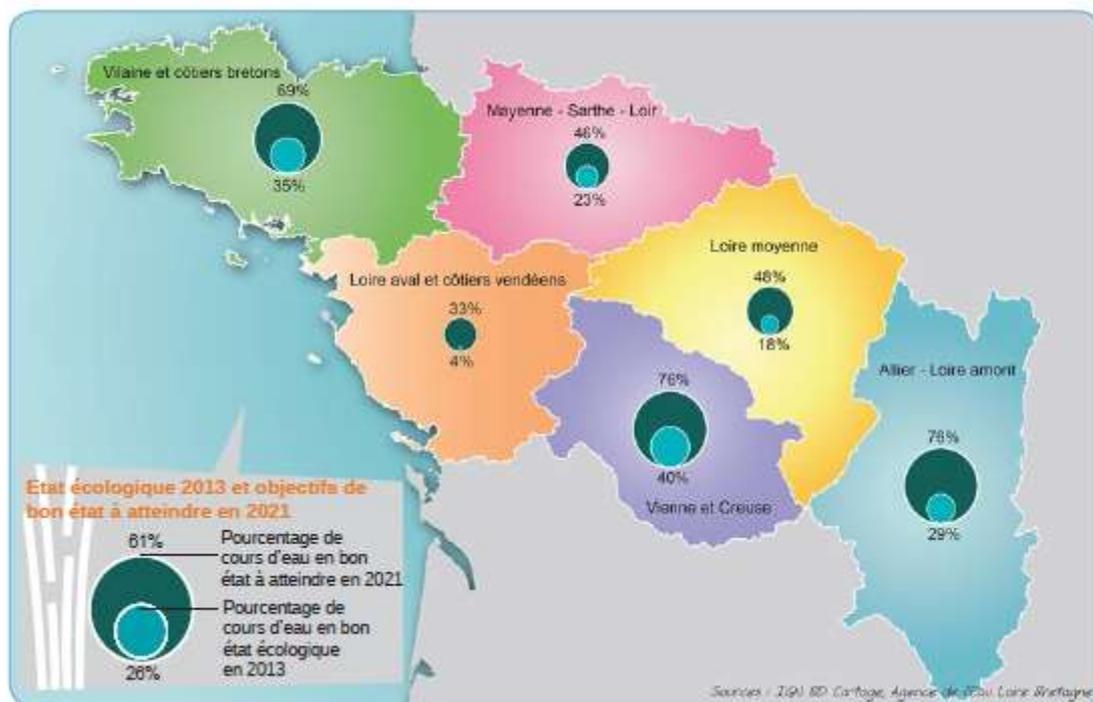


Figure 2: Pourcentage des cours d'eau en bon état écologique et objectifs à atteindre en 2021 pour les sous-bassins du SDAGE Loire-Bretagne (DREAL Bretagne, 2015)
 Percentage of good environmental status watercourse and goals to achieve in 2021 for sub-basin of the SDAGE Loire-Bretagne.

2. Contexte et enjeux

2.1. Contexte et enjeux des systèmes de production bretons

Le développement de l'agriculture productiviste a permis à de nombreux pays dans le monde d'augmenter leur production agricole et de nourrir une population croissante. Bien que cet objectif soit atteint dans la plupart des pays occidentaux, la sécurité alimentaire reste un défi global: la production mondiale de calories devra augmenter entre 40% et 68% d'ici 2050 pour faire face à la croissance démographique (Agreste, 2011a). Au-delà d'un objectif de production, un changement de méthode s'impose : les pratiques qui ont guidé la révolution verte ont en effet conduit à des problèmes environnementaux et sanitaires tels que les pollutions de la ressource en eau par les nitrates ou les produits phytosanitaires, l'érosion des sols, la perte de biodiversité, etc... Au niveau européen, cela se traduit par un verdissement de la Politique Agricole Commune, c'est-à-dire par des incitations économiques aux agriculteurs pour qu'ils privilégient des pratiques sans ou à faible impact négatif sur l'environnement (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2015). La France a quant à elle décidé de mettre en place le plan Ecophyto, essentiellement centré sur un objectif de réduction de l'usage des produits phytosanitaires, se traduisant par la réduction d'au moins 50% de l'IFT (indice de fréquence de traitement) d'ici à 2018 (objectif reporté à 2025 dans le plan Ecophyto 2). Ce plan se caractérise par la mise en place d'un réseau d'exploitations agricoles et de stations expérimentales « DEPHY ». La partie en station expérimentale (« DEPHY EXPE ») vise à tester et évaluer des systèmes cohérents concernant l'ensemble des filières agricoles et à produire des références (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2018).

En parallèle, d'autres réseaux se sont mis en place, tel que le RMT SdCi. Son objectif est de contribuer à l'innovation des SdC dans différents domaines agricoles pour le développement d'agricultures performantes du point de vue des acteurs des territoires (RMT SdCi, 2014).

Le DEPHY EXPE « Système Grandes Cultures Bretagne » (SGC Bretagne), également inscrit au RMT SdCi et mené par la CRAB, s'intègre dans une région classée au premier rang français des productions animales : 56% du tonnage national de viande porcine, 44% du volume d'œufs et 22% du volume de lait et de viande de veau (Agreste, 2016) avec une production agricole bretonne composée à 20% de porcs, 7% d'œufs et 28% de lait et viande bovine (fig.1). Cette production est cependant source de pollutions : la Bretagne est classée depuis 1994 en « zone vulnérable » au titre de la « Directive nitrates » européenne. Des programmes d'actions visant à réduire la pollution de l'eau par les nitrates d'origine agricole ont donc été mis en œuvre depuis 1996 (DREAL Bretagne, 2017). Ces actions semblent porter leurs fruits puisque le sous bassin Vilaine et côtier breton présente 35% de ses cours d'eau en bon état alors que d'autres régions telles que la Loire moyenne présentent un

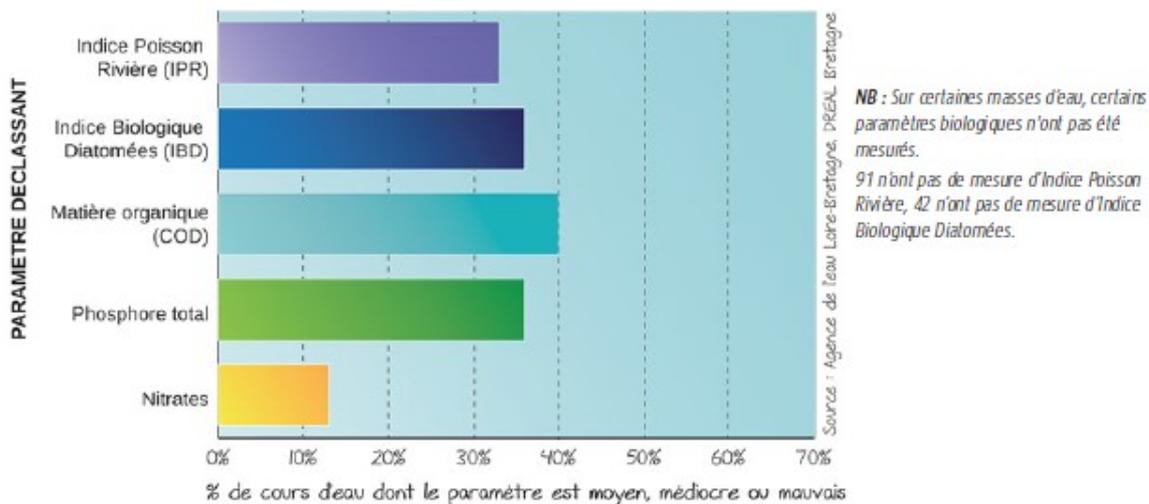


Figure 3: Principaux paramètres déclassant les cours d'eau bretons en 2013 (DREAL Bretagne, 2015).
Main parameters downgrading Brittany watercourses in 2013.

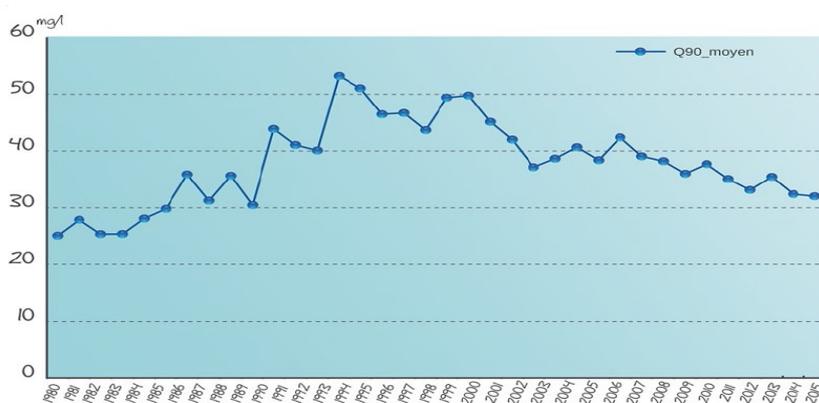


Figure 4: Evolution de la moyenne des Q90 de la concentration en Nitrate des cours d'eau bretons de 1980 à 2015 (DREAL Bretagne, 2015).
Evolution of the mean of the nitrate Q90 concentration in Brittany watercourses from 1980 to 2015.

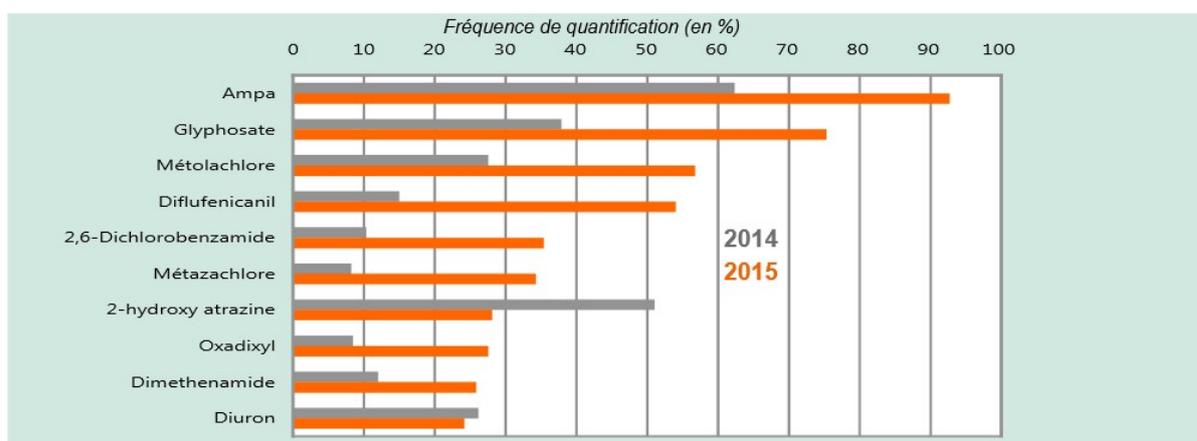


Figure 5: Les 10 molécules les plus quantifiées dans le réseau Corpep en 2014 et 2015. (Agreste Bretagne, DRAFF, 2016)
The 10 most quantified molecules in the Corpep web in 2014 and 2015.

pourcentage plus bas (18%) (Fig. 2). Hormis le paramètre « indice biologique », les paramètres « matière organique », « phosphore » et « nitrates » sont les principales causes du déclassement des cours d'eau bretons (fig. 3) (DREAL Bretagne, 2015). Les eaux de surface représentent 80% de l'eau potable à destination humaine en Bretagne (Panaget, 2004), c'est majoritairement sur cette eau que la demande de qualité se porte. Les mesures des nitrates des eaux superficielles bretonnes montrent une tendance à la baisse depuis une dizaine d'année mais restent polluées avec un Q90* moyen entre 30 et 40 mg/l sur les 10 dernières années (DREAL Bretagne, 2015) (fig. 4). La ressource en eau est également polluée par les produits phytosanitaires. 158 molécules ont été détectées dans les eaux brutes en 2015, avec une forte fréquence de détection pour l'Ampa, métabolite de dégradation du glyphosate (Agreste Bretagne, DRAFF, 2016) (fig. 5).

En plus des impacts environnementaux, les méthodes de productions industrielles, très répandues en Bretagne, posent question quant à leur impact sur la qualité de vie des agriculteurs. Elles ne semblent pas à même de leur garantir un revenu décent (en 2016, 19,2% des chefs d'exploitations avaient un revenu déficitaire et 20,1% avaient un revenu annuel inférieur à 4315€ (MSA, 2018)) et la profession est particulièrement touchée par la détresse au travail se caractérisant par un taux de suicide élevé (les agriculteurs exploitants ont un risque de mortalité par suicide 3,1 fois supérieurs aux cadres (Observatoire national du suicide, 2014)).

Pour améliorer ces aspects environnementaux, sociaux et économiques des exploitations bretonnes, la CRAB a mis en place des SdCi avec pour objectif une augmentation de la durabilité globale, c'est-à-dire une amélioration des trois dimensions de la durabilité (économique, environnementale et sociale) ou *a minima* en améliorant un des piliers sans dégrader les autres.

2.2. L'approche système et l'innovation.

2.2.1. Définition et caractérisation de l'approche système

L'approche système consiste à tester des ITK (itinéraires techniques) ou des SdC, c'est-à-dire des manières de produire cohérentes entre elles (Havardet *al*, 2017). Au contraire de l'approche analytique, il ne s'agit donc pas d'étudier indépendamment des pratiques et leurs impacts en se basant sur le « toutes choses égales par ailleurs » mais de comparer des ensembles cohérents qui sont parfois très différents entre eux. Pour cette raison, l'approche systémique ne permet pas de déterminer l'effet d'un facteur, son analyse se fait uniquement en se basant sur l'atteinte ou non des objectifs (Debaeke et al. 2009). Elle peut être complexe à mettre en œuvre et à analyser et doit être mise en place sur une échelle de temps plus longue car l'équilibre et les propriétés émergentes d'un agroécosystème peuvent être longs à apparaître (Emonet *et al*, 2016) (tab. 1).

Tableau 1: Comparaison entre l'approche analytique et systémique d'après Lewis et al. 1997, Ikerd 1993 et Emonet E et al, 2016.

Comparison between analytical and systemic approach.

	Approche analytique	Approche systémique
Méthodologie	Expérience en conditions contrôlées ou le plus proche possible du « toutes choses égales par ailleurs », présence de répétitions et de cas témoins.	Définition d'un itinéraire technique basé sur des règles de décision, répétitions si possible et utilisation d'un système de référence.
évaluation	Analyse statistique	Evaluation multicritère ou pluri-critère
But de l'étude	Déterminer l'effet d'un facteur sur une ou plusieurs variables	Déterminer l'atteinte ou non d'un certain nombre d'objectif
Avantages	Robuste scientifiquement, généralisable	Adapté à un contexte donné, proche de la réalité
Inconvénients	Parfois éloigné des conditions réelles, n'évalue qu'un seul paramètre à la fois	Difficilement généralisable, résultats discutables, nécessite une surface et une échelle de temps conséquentes

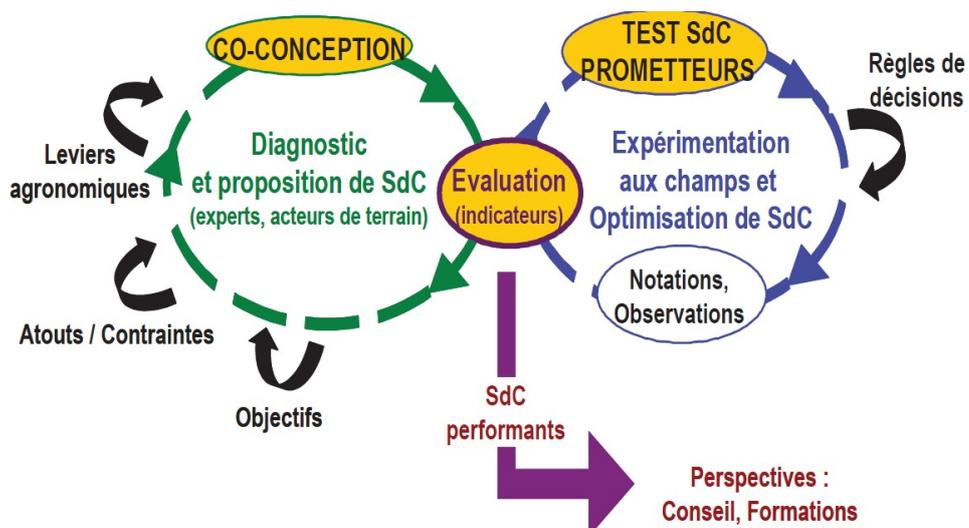


Figure 6: Les étapes de la conception, amélioration et évaluation d'un SdC (Chambre d'agriculture, 2012).

Steps of conception, improvement and evaluation of a cultural system.

L'innovation peut émerger de nouvelles combinaisons avec les techniques et les cultures existantes ou de l'introduction de nouvelles technologies ou de nouvelles cultures. Un SdCi est orienté vers des enjeux émergents et évalué sur les priorités des agriculteurs, des filières et de la société (Meynard, 2012).

Il existe différentes façons de classer les SdC en grandes familles et il ne sera abordé ici que les quatre SdC qui seront étudiés dans la suite de ce rapport :

Le système conventionnel : Dans le cadre de ce rapport, ce terme désigne les pratiques agricoles les plus répandues sur le territoire étudié, qui se rapprochent de celles des systèmes en agriculture raisonnée : les intrants chimiques de synthèse sont apportés en fonction des besoins des cultures, selon des seuils de tolérance agronomique et non plus de manière systématique (Pervanchon, Blouet, 2002).

Le système intégré : la production intégrée est définie par l'OILB (organisation internationale de lutte biologique) comme étant un système de production qui assure une agriculture viable sur le long terme, qui fournit des aliments de qualité et d'autres matières premières en utilisant au maximum les ressources et les mécanismes de régulation naturels et en limitant le plus possible les intrants dommageables à l'environnement. (Pervanchon, Blouet, 2002)

Le système biologique : tel que défini par le règlement de l'Union Européenne, la production biologique est un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques environnementales, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et une méthode de production respectant la préférence de certains consommateurs à l'égard de produits obtenus grâce à des substances et à des procédés naturels (Règlement (CE) n° 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007).

2.2.2. La méthodologie de l'approche système

L'approche système est constituée de plusieurs étapes (Fig. 6). La première est une phase de conception pouvant se faire soit *de novo* (c'est-à-dire en rupture avec ce qui existe déjà) soit pas à pas (c'est à dire par amélioration successive d'un système existant). Dans tous les cas, il s'agit de construire un ITK constitué de règles de décisions* et non pas d'un protocole établi (Meynard 2012). L'utilisation de règles de décision pour mimer un SdC conduit en exploitation agricole et dont les décisions sont prises directement par un agriculteur est très simplificateur et discutable (Cerf *et al.*, 1996, dans Meynard *et al* 2012) mais il s'agit d'une méthode incontournable si l'on veut une base de comparaison entre les différents SdC. Le système entre ensuite dans une boucle d'amélioration constituée d'évaluations et d'ajustements successifs. A la fin de la rotation, cette boucle prend fin par une évaluation finale déterminant l'atteinte ou non des objectifs. L'évaluation est une partie cruciale et

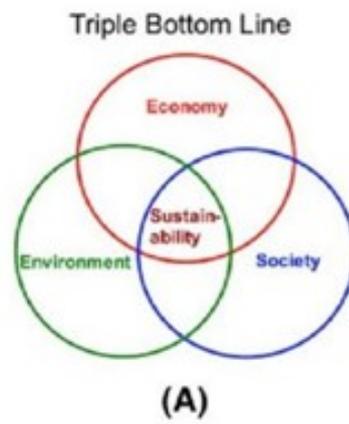


Figure7: La durabilité selon la conception « triple bottom line ». (Wu, 2013)
Sustainability according to the triple bottom line conception.

délicate de l'approche système car les outils statistiques habituels ne sont pas utilisables dans ce cas de figure en raison du nombre important de paramètres variant entre les SdC et du faible nombre ou de l'absence de répétitions. Il est donc préconisé de se tourner vers une évaluation pluri-critère et si possible multicritère (Meynard 2012). L'évaluation est considérée comme multicritère quand elle repose sur l'analyse et l'interprétation de plusieurs critères* conjointement. Il s'agit d'évaluer le système sur l'ensemble des critères choisis dans un contexte donné (Havard *et al*, 2017). La diffusion des résultats et leur valorisation restent toujours un point sensible. Guichard *et al* (2017) considèrent d'ailleurs que ce point est en partie responsable de l'échec du plan Ecophyto : les SdCi, même très prometteurs, auront peu de chance d'être mis en œuvre par les agriculteurs si aucune mesure d'accompagnement ou de communication n'est mise en œuvre. Au final, « une technologie n'est pas choisie parce qu'elle est la meilleure, mais elle devient la meilleure parce qu'elle a été choisie » (Arthur, 1989).

2.3. L'objectif de durabilité

2.3.1. Qu'est-ce que la durabilité ?

L'approche système est adaptée pour travailler sur des modes de productions plus durables. En effet, même si la définition de la durabilité varie en fonction des auteurs, il existe un consensus sur le fait qu'elle repose sur 3 piliers (environnement, social et économique) d'égales importances aussi appelés «triple bottom line» (fig. 7). Quant au développement durable, il peut être défini comme un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs (Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1987). Pour étudier la durabilité, il faut donc pouvoir travailler sur plusieurs critères, si possible couvrant les trois piliers à la fois et mettant en lumière leur connectivité (Cinelli *et al*, 2014). Il faut ainsi prendre en compte les interactions entre les différents piliers ou au sein d'un même pilier, ce qui peut parfois amener à définir un compromis.

2.3.2. La difficulté d'évaluer la durabilité d'un SdC

La définition de la durabilité étant ambiguë, son évaluation reste donc complexe. Plusieurs outils d'évaluation ont été mis en place, certains favorisant des piliers au détriment d'autres. Il est parfois considéré que l'environnement est le pilier le plus important car sa dégradation peut être irréversible ou peut avoir des conséquences à long terme. Néanmoins, ce sont les piliers économique et social qui conditionnent l'adoption d'une pratique (Ikerd, 1993).

La prise en compte de l'échelle de temps et d'espace est une des principales difficultés pour déterminer ce qui est durable et ce qui ne l'est pas. En effet, on peut considérer qu'un système est durable pour une exploitation alors qu'un changement d'échelle peut perturber cet équilibre : les produits dont la demande excède l'offre (tel que le sarrasin en AB

**Tableau 2: Comparatif de différents outils d'évaluation multicritère d'exploitations agricoles. Les cases rouges indiquent les paramètres non évalués par la méthode (PLAGE, 2014).
Comparison of several multicriteria evaluation tools for farms. Red cells indicate non-evaluated parameters.**

Critère	Modalité	CRITER+ MASC	CASSIOPÉE PERFORMANCE	DIALECTE	DAEG	DAESE	IDEA
Production dominante	Grande culture						
Enjeu	Economique						
Enjeu	Social						
Enjeu > Environnement	Déchets						
Enjeu > Environnement	énergie						
Enjeu > Environnement > Sol	Erosion et ruissellement						
Enjeu > Environnement > Sol	Matière organique						
Enjeu > Environnement > Homme	Nuisances						
Enjeu > Environnement > Homme	Santé						
Enjeu > Environnement > Air	Emission de GES						
Enjeu > Environnement > Biodiversité	Contribution à la biodiversité sauvage						
Enjeu > Environnement > Eau	Pollution ponctuelles						
Enjeu > Environnement	Consommation						
Enjeu > Environnement > Eau > Pollutions diffuses > Eaux souterraines	Nitrates						
Enjeu > Environnement > 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						
Enjeu > Environnement > Eau > Pollutions diffuses > Eaux de surface	Phosphore						
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	Acquérir des références sur des systèmes de production						
Durée de prise en main de l'outil (y compris le temps de formation)	Longue (> 1 jour)						
Compréhension et analyses des résultats obtenus	Moyenne (destinés aux professionnels agricoles)						
Note		20/25	18/25	18/25	17/25	16/25	15/25

(agriculture biologique)) sont sources de revenus intéressants et il est donc logique d'estimer que la diversification des cultures avec l'introduction de plantes telles que le sarrasin bio augmente la durabilité d'une exploitation. Cependant, si tous les agriculteurs en AB intègrent cette culture à leur rotation, il y a un fort risque d'augmentation de la pression des ravageurs et de baisse du prix de vente, supprimant ainsi l'effet positif de cette pratique sur la durabilité (Roux, 2013 ; Meynard, 2012). Un système peut également être durable dans un contexte donné mais fragile vis-à-vis des évolutions politiques ou conjoncturelles (si un système nécessite des aides du gouvernement pour assurer un revenu suffisant ou repose sur des pratiques controversées et donc interdites à l'avenir par exemple). De plus, les conclusions peuvent être différentes selon les indicateurs* : une baisse de l'utilisation d'intrants conduit souvent à une perte de rendement (donc une dégradation du volet économique) mais un effet de compensation par une baisse des coûts peut également conduire à une amélioration de la marge nette (donc une amélioration du volet économique) (Lewis et al. 1997).

2.3.3. Les différents outils disponibles pour guider l'évaluation de la durabilité

Différents outils et méthodes permettent de réaliser des évaluations qualitatives et/ou quantitatives de diverses performances, à différentes échelles : par exemple IDEA (approche globale de la durabilité par auto-évaluation), DIA'Terre (analyse énergétique de l'exploitation agricole), INDIGO (diagnostic des performances environnementales) ou encore MASC (évaluation multicritère de la durabilité d'un SdC). MASC a été créé par des chercheurs de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) pour fournir un outil d'évaluation de la durabilité des SdC *a priori*, les auteurs considérant que si l'évaluation *a priori* est faisable alors celle *a posteriori* l'est aussi. C'est un arbre de décision hiérarchisé agrégeant par des règles «si alors» des attributs de nature qualitative. Ceux-ci sont basés sur des indicateurs INDIGO et IDEA (Craheix *et al*, 2011) dont une partie est calculable à l'aide de l'outil CRITER.

MASC présente deux principaux avantages : un nombre de critères important couvrant les trois piliers de la durabilité et l'évaluation sur une échelle de temps correspondant à la rotation, ce qui se prête bien à l'évaluation d'essais système (tab. 2). C'est pour cette raison qu'il a été choisi comme outil commun pour évaluer les SdC du RMT (Reau *et al.*, 2012).

2.3.4. Les précédentes évaluations des SdC étudiés dans ce mémoire

Des évaluations concernant les SdC qui seront évalués dans ce stage ont déjà été conduites bien que la rotation n'arrive à son terme que cette année. Les caractéristiques des SdCi (Bio et intégré à Kerguéhennec ainsi que intégré à Crécom) (fig 8) seront détaillées dans la partie matériel et méthode. Mis à part le SdC Bio, les premières évaluations réalisées concluent sur une baisse insuffisante de l'IFT (-42% pour le SdCi à Crécom et - 39% pour le SdCi à Kerguéhennec comparé à la référence grande culture Bretagne de 3.01) sur la période 2012-

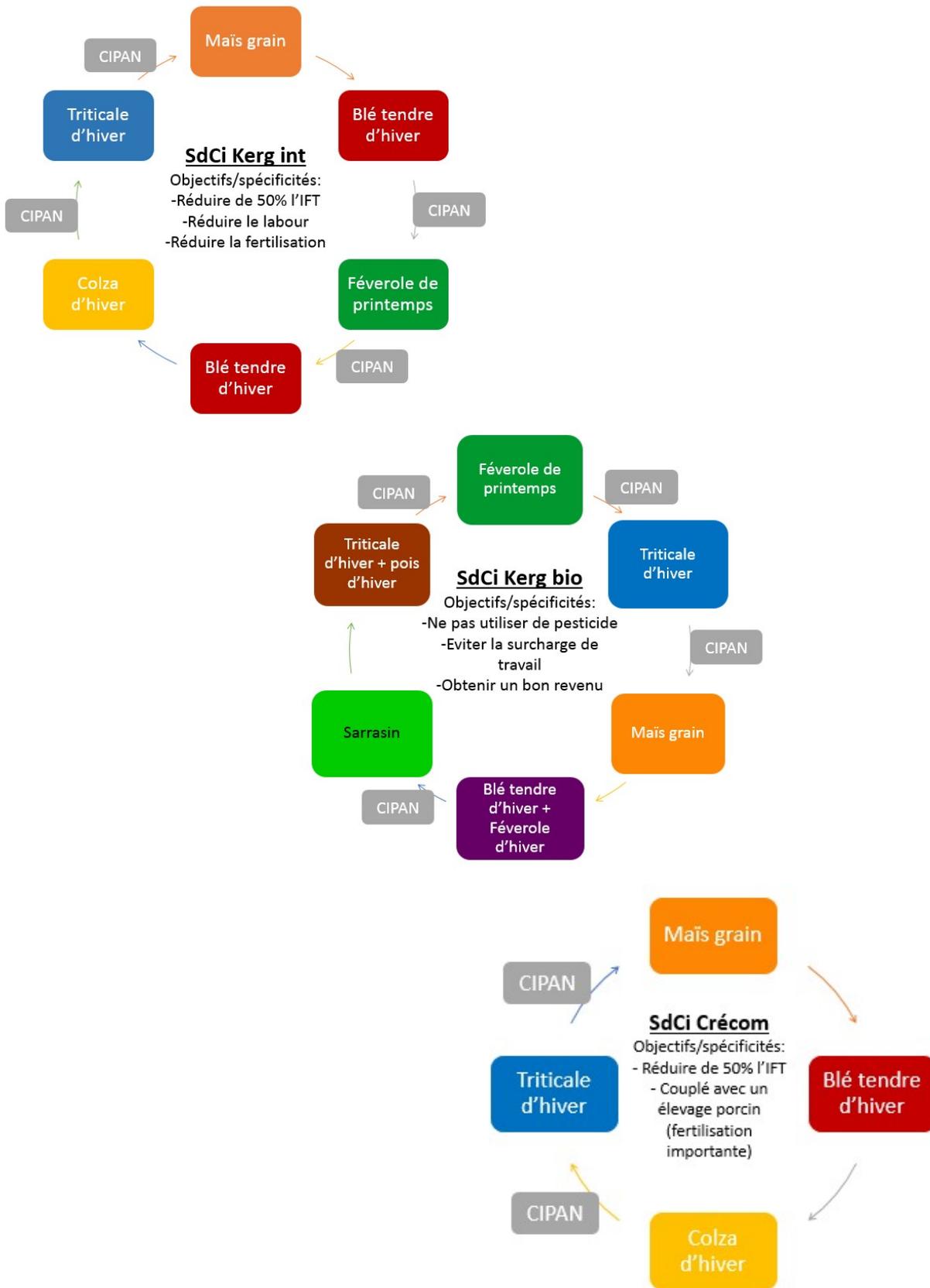


Figure 8: Rotation des 3 SdCi étudiés dans ce rapport ainsi que de leurs objectifs principaux et/ou spécificités notables.
Rotation of the 3 crop system studied in this report and their main objectives and/or noticeable specificities.

2017, notamment à cause de la pression adventice. Cependant, ils permettent bien une amélioration de la qualité de l'eau (baisse de la quantité de substance active* et du reliquat début drainage*) et une diminution de la consommation d'énergie fossile. Du point de vue économique, les SdCi sont également plus performants ou au moins plus robustes concernant la marge semi-nette. Le temps de travail reste équivalent à la référence (Bouard, 2017). Une autre étude conduite sur l'un des SdCi (Crécom) apporte les mêmes conclusions quant aux difficultés à réduire la dose d'herbicides (Guillossou, 2013). Une évaluation multicritère réalisée avec MASC sur la période 2012-2014 sur le SdCi intégré à Kerguéhennec conclue lui aussi à une amélioration de la durabilité du SdC majoritairement due à une amélioration des piliers social et économique avec toujours une difficulté concernant l'amélioration de l'environnement (Lesenne, 2015).

2.4. Objectif de l'étude :

Tenant compte de l'importance de l'élevage dans la région bretonne ainsi que de son impact sur l'environnement, la CRAB s'intègre dans le plan Ecophyto sous le nom de projet « SGC Bretagne » et produit des essais systèmes en grande culture dont les objectifs sont de :

- réduire le recours aux produits phytosanitaires ;
- préserver la qualité des milieux vis-à-vis des principaux polluants (azote, phosphore, produits phytosanitaires) et la fertilité des sols ;
- conserver voire améliorer la rentabilité des SdC actuels ou historiques ;
- conserver voire améliorer l'efficacité du travail de l'agriculteur (temps de travail au champ)

D'une façon plus générale, il s'agit majoritairement d'améliorer la durabilité des SdC en travaillant sur le volet environnemental et sous la contrainte du maintien du couplage (réelle ou non) avec un atelier d'élevage hors sol.

D'après ces objectifs énoncés, il est fait le choix d'une évaluation multicritère des SdC du SGC Bretagne afin de rendre compte de la cohérence globale et de l'amélioration de leur durabilité. La visée de ce rapport est d'évaluer à l'aide de l'outil MASC les SdCi testés et de référence « breton » au terme d'une rotation complète.

Les hypothèses posées sont :

- i) A l'échelle qualitative de MASC, les différences entre les différentes parcelles d'un même SdC sont négligeables ;
- ii) Pour chaque SdCi, il y a une amélioration de la durabilité au fil des années culturales (supposée du fait des ajustements réguliers des ITK) ;
- iii) Les trois SdCi testés sont plus durables que les SdC conventionnels et raisonnés bretons.

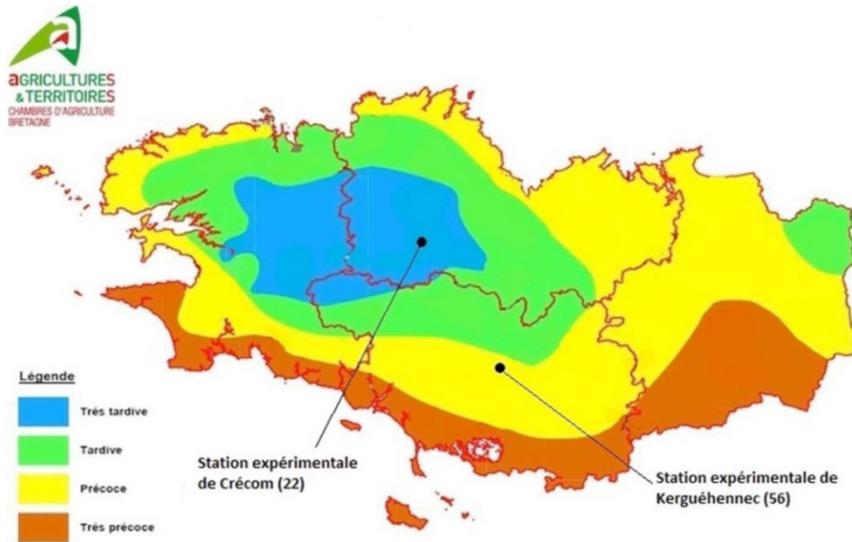


Figure 9 : Zones agroclimatiques en Bretagne (METEO-France Ouest).
Agro-climatic zone in Brittany.

Tableau 3: Caractéristiques environnementales des 2 sites d'implantation des SdCi (d'après Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto, 2017).

Environmental characteristic of the two implantation site for the innovative crop system.

Site	Crécom	Kerguéhennec
département	22	56
Climat	Océanique, très tardif	Océanique, précoce
Pluviométrie	1145 mm	992 mm
Température moyenne	11.4°C	11.7°C
Type de sol	Humic Cambisol sur granite et schiste	Humic Cambisol, sur micashiste
Texture	Limono-sableux,	Limono-sablo-agileux
Profondeur	50 à 90 cm	40 à 90 cm
Comportement du sol	Sol sain, risque hydromorphie faible	Sol sain, absence d'hydromorphie

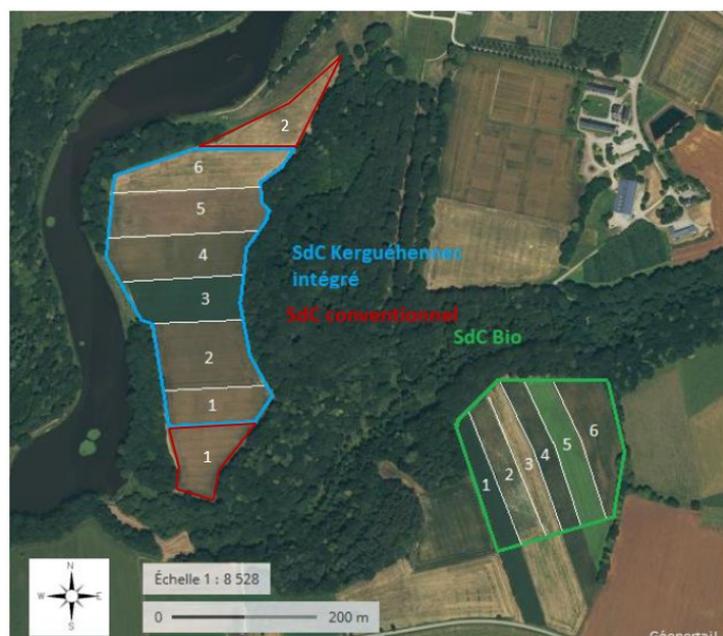


Figure 10 : Vue aérienne des parcelles des SdC innovants des stations de Crécom (Saint-Nicolas-du-Pélem) et de Kerguéhennec (Bignan) (CRAB, transmission interne ; Géoportail, n.d.)
Aerial image of innovative crop system plot of Crécom (Saint-Nicolas-du-Pélem, 22) and Kerguéhennec station (Bignan, 56).

3. Matériels et Méthodes

3.1. Sites expérimentaux

Les essais systèmes de ce projet sont implantés sur deux stations expérimentales des CRAB. Ces sites expérimentaux (fig. 9) sont situés dans des zones agroclimatiques différentes. Le site de Kerguéhennec est situé dans le Morbihan et fait partie de la zone agro climatique « précoce », zone la plus représentative de la région. Cette station est spécialisée en agronomie et production végétale. Le site de Crécom est situé au Sud-Ouest des Côtes d'Armor, en Centre Bretagne, et fait partie de la zone agro climatique « très tardive », une des zones les plus froides et humides de la région. Cette station est spécialisée dans la filière porcine et doit assurer la gestion de ses effluents.

3.2. Contexte pédoclimatique

3.2.1. Contexte climatique

Ces deux sites bénéficient d'un climat océanique doux et humide. La pluviométrie annuelle (moyenne 1994-2016) est respectivement pour Kerguéhennec et Crécom de 992 et de 1145 mm tandis que la température moyenne est de 11,7 °C pour Kerguéhennec et de 11,4°C pour Crecom. Sur chacun des sites, une année climatique médiane a été établie afin d'obtenir des données journalières réelles à intégrer dans l'outil d'évaluation MASC. Le paramètre cumul pluviométrique mensuel (1994-2016) a permis de déterminer les différents mois médians (tab. 3).

3.2.2. Contexte pédologique

Chacune des parcelles a été caractérisée par des analyses physico-chimiques. Sur les deux sites, les sols sont de type Humic Cambisol et ont une texture limoneuse. Sur le site de Kerguehennec les sols sont sur micashiste tandis que sur Crecom les parcelles sont sur deux types de sous-sol (granite et schiste) (Tab 3).

3.3. Dispositifs expérimentaux

Ce sont cinq SdC qui ont été évalués. Pour chaque système, différents leviers de gestion ont été mis en place (tab. 4). Les ITK (annexe I) ne sont pas réfléchis comme un protocole strict mais comme des règles de décision (annexe II) qui sont prévues pour être évolutives et adaptables aux changements de situations. Pour les différents SdC (sauf le théorique), il n'existe pas à proprement parler de répétitions mais toutes les cultures de la rotation sont présentes simultanément sur chaque îlot, il y a donc autant de parcelles que de cultures (fig.10). Le site de Crécom présente une approche exploitation* (parcelle entière) alors que les essais à Kerguéhennec ont une approche expérimentale* (évaluation sur des blocs à l'intérieur de la parcelle). Chaque SdC a été conçu avec des objectifs présentés ci-dessous.

**Tableau 4: Caractéristiques des cinq SdC analysés dans ce rapport.
Characteristics of the five crop system analyses in this report.**

SdC	Crécom Intégré	Kerguéhennec Intégré	Kerguéhennec Biologique	Kerguéhennec Conventionnel	Référence Bretagne
Identifiant	Crecom	Kerg int	Bio	Conv	BZH
Caractéristique/objectif	Réduire de 50% l'IFT sous la contrainte du couplage avec un élevage porcin	Réduire de 50% l'IFT avec peu de fertilisation et peu de labour	Avoir un impact réduit sur l'environnement en dégradant peu les conditions de travail et le revenu	Etre représentatif des pratiques conventionnelles en grande culture Bretonne	Etre représentatif des pratiques conventionnelles en grande culture Bretonne
Difficultés liées à l'environnement	Situé en zone tardive pour le climat	Abondance d'adventices	Abondance d'adventices	Abondance d'adventices	-
Rotation	(CIPAN) maïs grain – blé tendre d'hiver- colza d'hiver- (sol nu ou CIPAN) Triticale d'hiver	(CIPAN) maïs grain – blé tendre d'hiver – (CIPAN) féverole de printemps – (CIPAN) blé tendre d'hiver – colza d'hiver – (sol nu ou CIPAN) triticale d'hiver	(CIPAN) féverole de printemps – (sol nu ou CIPAN) triticale d'hiver – (CIPAN) maïs grain – blé tendre d'hiver + féverole d'hiver – (CIPAN) sarrasin – triticale d'hiver + pois d'hiver	(CIPAN) maïs grain-blé tendre d'hiver	(CIPAN) maïs grain-blé tendre d'hiver
Année de première récolte	2010	2012	2014	2014	-
labour	Annuel	3 ans/6	Annuel	3 ans/4	3 ans/4
Désherbage mécanique	Oui (céréales, maïs)	Oui (colza, féverole, maïs)	Oui (toutes cultures)	Non	Non
Densité et date de semis	Densités réduites (céréales, colza), semis précoce	Densités réduites (céréales, colza), semis précoce (colza)	Densités augmentées, semis tardif (maïs, sarrasin)	classique	classique
Mélange	Variétés (blé, colza)	Variétés (céréales, colza)	Variétés (triticale), inter-espèces (céréales-protéagineux)	Non	non
Fertilisation organique	mixte fumier/lisier de porc annuellement	compost de fumier de volaille 2 ans/6 (colza, maïs)	fiente humide de poule 1 an/6 (maïs)	fumier de volaille 1 an/2	lisier de porc 1 an/2 (maïs)
Fertilisation minérale	3 ans/4 (céréales, colza)	3 ans/6 (céréales)	Non	3 ans /4	1 an/2
Gestion de la paille (céréales)	Exportation	Exportation	Restitution	Exportation	Exportation

3.3.1. Les systèmes innovants testés

Crécom : Ce système en conduite intégrée conduit sur le site de Crécom (fig. 10) a été conçu dans un objectif de baisse de l'IFT. Il comporte 4 cultures (maïs– blé - colza - triticale).

Kerg int : Ce système en conduite intégrée conduit sur le site de Kerguéhennec (fig 10) a été conçu dans un objectif de baisse de l'IFT ainsi que de diminution de la fertilisation (3 ans/6) et du labour (3 ans/6). Il comporte 5 cultures sur une rotation de 6 ans (maïs– blé –féverole –blé-colza –triticale).

bio : Ce système en conduite biologique conduit sur le site de Kerguéhennec (fig .10) a été conçu dans un objectif de suppression de l'utilisation des phytosanitaires ainsi que de diminution de la fertilisation. Sa rotation comporte 6 termes, dont 2 termes composés de cultures en association inter-espèce (féverole - triticale - maïs - blé/féverole – sarrasin - triticale/pois). Ce système a également un objectif d'amélioration économique et sociale (temps de travail majoritairement).

3.3.2. Les systèmes de référence

Conv : Ce système en conduite conventionnelle se trouve sur le même îlot que Kerg int et a été conçu pour être représentatif des pratiques bretonnes et des cultures les plus représentées en Bretagne (maïs-blé) (fig.10).

BZH : Ce système théorique se veut également représentatif des pratiques bretonnes. L'ITK de BZH a été défini par conseil Chambre et validé par Lionel Quere (Conseiller en agronomie à la CRAB). Il est composé d'une rotation maïs-blé. L'objectif de départ des SdCi était de baisser de 50% l'IFT par rapport à l'IFT Bretagne de 3.01. Cependant, l'IFT du système de référence BZH est à 2.45, moyenne des IFT du maïs et du blé en Bretagne. (Agreste 2011b). Par rapport à Conv, le système BZH a l'avantage de s'affranchir des conditions pédoclimatiques spécifiques à la station de Kerguéhennec et donc de faciliter les comparaisons avec le système situé à Crécom.

3.4. Evaluation multicritère *a posteriori*

3.4.1. Présentation des outils

3.4.1.1. CRITER

CRITER est un outil développé par l'INRA pour faciliter les calculs nécessaires aux critères de MASC, notamment tous ceux découlant de la méthode INDIGO. En tout, 35 critères nécessaires à MASC sont calculés, auxquels s'ajoutent 23 critères de diagnostic (annexe III). Pour faire fonctionner le logiciel, il faut renseigner des informations concernant : les caractéristiques des cultures, le contexte régional, les outils, les fertilisants et les produits phytosanitaires (Hirschy M et al, 2015).

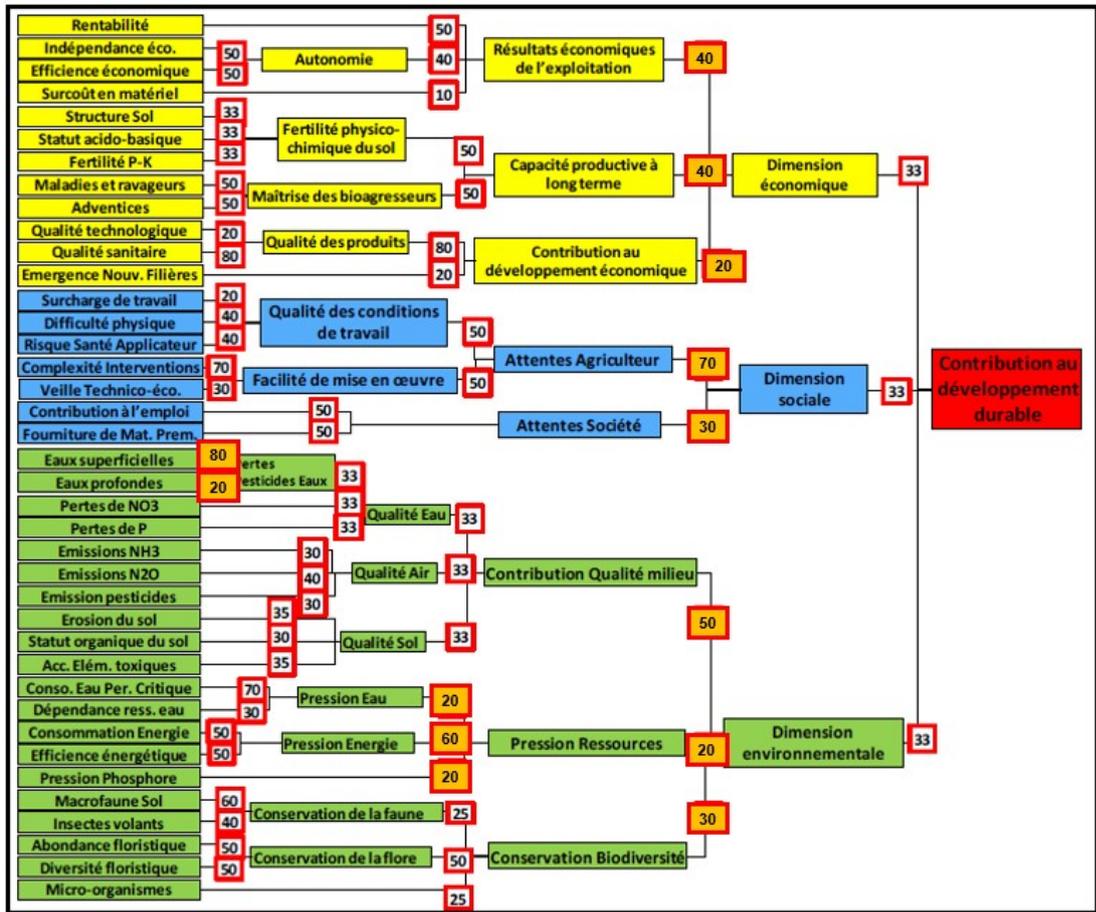


Figure 11 : Arborescence de MASC et pondération associées. Les pondérations sur fond orange sont spécifiques à cette étude
 MASC tree structure and associated weight. Weight in orange cells are specific of this report.

3.4.1.2. MASC

L'outil MASC est paramétré en utilisant le système d'agrégation du logiciel DEXI. L'outil MASC fonctionne comme suit : il est composé de 39 critères basiques et 26 critères agrégés (fig.11), dont les critères basiques sont détaillés dans l'annexe IV. 13 de ces critères basiques sont déterminés à l'aide « d'arbres satellites » (Annexe V), c'est-à-dire que ces critères basiques peuvent devenir des critères agrégés au choix de l'évaluateur. Les critères basiques sont renseignés de façon qualitative. La conversion de données quantitatives en qualitatives se fait en utilisant un système de valeurs seuil modifiables (exemple : déterminer si le taux de nitrate dans l'eau est bon, moyen ou mauvais à 30 mg/l). Les critères sont ensuite agrégés en utilisant des règles de décision de type « si ... alors » (exemple : SI l'indépendance économique est bonne et SI l'efficacité économique est mauvaise ALORS l'autonomie de l'exploitation est moyenne). Ces règles de décisions peuvent également être modifiées par un système de pondération, donnant plus ou moins d'importance au score de certains critères afin de s'adapter au contexte local.

3.4.1.3. Izi-EVAL

Le logiciel IZI-EVAL a également été créé par l'INRA. Le but est de faciliter l'interprétation des sorties MASC. Cet outil permet entre autre d'attribuer un indice de sensibilité à chaque critère basique de l'arbre MASC en se basant sur deux packages R ("Algdesign" et "XML"). Cette étude a déjà été réalisée par Carpani *et al* (2012) mais la modification des pondérations MASC conditionne l'influence relative des différents critères. Cependant, ce logiciel n'intègre pas les arbres satellites qui ne seront donc pas pris en compte dans cette évaluation.

Le même logiciel permet également de réaliser une analyse de Monte Carlo (méthode d'estimation d'une quantité numérique qui utilise des nombres aléatoires) pour estimer les fréquences de distribution dans les différentes classes du développement durable et des trois dimensions de 500 systèmes obtenant des classes aléatoires aux critères basiques.

3.4.2. Paramétrage des outils

3.4.2.1. CRITER

De nombreuses données sont déjà renseignées dans la version 5.4 mais certains pesticides ou encore les cultures peu fréquentes telles que le sarrasin ou certaines associations doivent être paramétrées. A cela s'ajoute toutes les informations qui peuvent varier entre les années et les systèmes qu'il faut ajouter ou mettre à jour. Pour cela, plusieurs choix sont possibles : entrer des données mesurées correspondant à l'année étudiée, entrer des données mesurées mais non représentatives de l'année étudiée (année différente ou moyenne/médiane) ou enfin entrer des données provenant de sources bibliographiques. Pour chaque donnée, le choix a été fait en fonction des contraintes (mesures effectuées ou

Tableau 5: Modifications apportées à la méthode de renseignement des critères MASC.
Modification of the information method of MASC criteria.

critère	mode de détermination	valeur seuil	justification
contribution à l'émergence de nouvelles filières	à dire d'expert	bio : élevé ; les autres : faible	Le bio est considéré comme une nouvelle filière en lui-même et la présence de sarrasin l'amène à la classe la plus élevée.
difficulté physique	0.5 points pour chaque culture en association ou mélange/ nb de cultures dans la succession (ajouter +1 si culture en bio)	<0.3 :faible; 0.3-0.7 moyenne; >0.7 élevée	Les autres sources de difficulté sont négligeables dans nos systèmes (Herpin, 2009). Les associations et mélanges nécessitent une action manuelle sur des sacs de semences souvent lourds et le bio nécessite régulièrement un désherbage manuel de certaines adventices.
état de la fertilité initiale	à dire d'expert	moyen	En l'absence de données, il est considéré que tous les sols ont les nutriments nécessaires pour satisfaire des cultures moyennement exigeantes.
maîtrise d'accumulation d'éléments toxiques	nombre d'apport de matière organique/nombre d'années de la succession culturale	≤0.5 : moyen à élevé ; ≥0.5 : faible à moyen	La maîtrise d'éléments toxiques n'est pas un critère très étudié en dehors de l'utilisation des boues d'épuration (ce qui n'est pas le cas ici), il a donc été décidé de faire en sorte que ce critère ne soit pas trop discriminant en ne lui donnant que des valeurs moyennes.
qualité technologique et esthétique	à dire d'expert	très élevé	Les produits étant destinés à l'alimentation animale, il n'y a pas d'attentes technologiques ou esthétiques particulières.
surcharge de travail	basé sur les pics de temps de travail par décade (annexe VIII)	< 50h: faible ; 50-68.5h : moyen ; >68.5h : élevé	Le but est de déterminer quels SdC peuvent nécessiter une aide salariale supplémentaire ponctuellement. Un travailleur faisant 35h/semaine fait en moyenne 50h/décade. Un salarié peut faire 48h/semaine exceptionnellement soit 68.5h/décade. (Direction de l'information légale et administrative, 2018)
surcoût en matériel	à dire d'expert	Crecom/Conv : faible ; kerg int/bio : moyen	Crecom est assez proche du conventionnel dans ses outils. Kerg int est plus équipé, surtout en outils de désherbage et de travail du sol. Kerg Bio l'est encore plus mais son équipement est en partie compensé par des outils conventionnels dont il n'a pas besoin.

non) mais également en fonction de l'objectif : il a été choisi de garder les données correspondant à l'année en question pour ce qui est lié aux différences entre les systèmes de culture (rendement, quantité de fertilisant ...), alors que les données variant annuellement (prix des intrants et de vente des cultures, données climatiques) sont les mêmes pour tous les systèmes et toutes les années (en considérant les cultures en AB à part). Pour le système théorique, il n'existe pas de données mesurées et différents moyens ont donc été utilisés.

Les prix : Les données sont communes à tous les systèmes. Pour estimer les charges de mécanisation, des documents de barèmes d'entraides et de coûts prévisionnels réalisés par la Cuma Bourgogne Franche-Comté (2017) et l'APCA-Chambre d'agriculture France (2017) ont été utilisés. Pour les prix des phytosanitaires et les prix d'achat de semences, l'absence de référence a conduit à utiliser les prix payés sur la station, même si de grandes variations existent en fonction du fournisseur et de l'année d'achat. La même logique a été appliquée aux fertilisants minéraux. Les fertilisants organiques sont considérés sans coût car nos systèmes sont prévus pour être couplés à un système d'élevage. Enfin, concernant les prix de vente des cultures, la moyenne sur les prix payés aux producteurs en Bretagne sur la période 2009-2016 (Agreste) a été utilisée.

Les données météo : Comme présenté dans la partie « climat », une année climatique médiane a été créée pour chacun des sites. Les données climatiques de la station de Kerguéhennec sont utilisées également pour le système théorique BZH car Kerguéhennec est placé dans une zone agro-climatique représentative de la Bretagne.

Les données sol: Toutes les informations nécessaires à CRITER ont été mesurées sur les stations. Pour le SdC BZH (n'ayant pas d'environnement réel où le placer), il a été choisi de prendre des valeurs médianes pour toutes les caractéristiques du sol (Annexe VI). La médiane permet en effet de ne pas accorder trop de poids aux valeurs extrêmes et de rester dans un contexte plus proche de ceux rencontrés en Bretagne.

Modification du calcul d'un indicateur: Pour caractériser la sensibilité à la battance, un autre mode que calcul que celui proposé par CRITER est utilisé : l'indice de Rivière (cité par Cros-Cayot, 1996) (annexe VII), jugé plus adapté pour le contexte breton.

3.4.2.2. MASC

Le renseignement des critères :

35 des critères nécessaires à MASC et à ses arbres satellites étant calculés par CRITER, il en reste donc 25 à renseigner. 7 de ces critères ont une méthode d'évaluation qui a été créée ou modifiée pour cette étude (tab. 5). Le mode de détermination « à dire d'expert* »

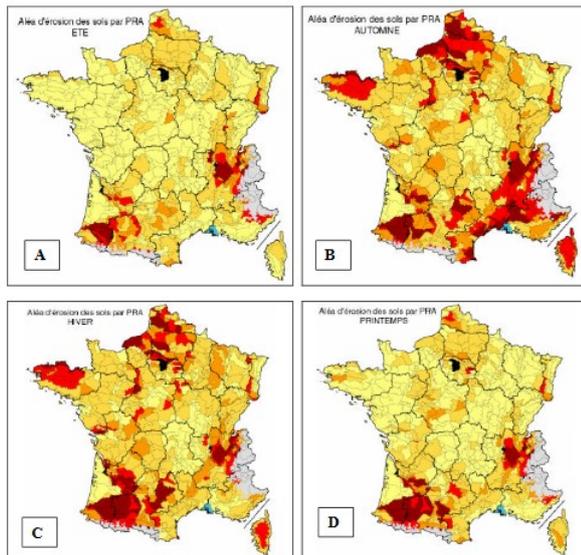


Figure 17
Aléa d'érosion des sols intégré par petite région agricole pour chaque saison.

A : été
B : automne
C : hiver
D : printemps

Cartographie : INRA Orléans, Kaléidos.



Figure 12 : Aléa d'érosion des sols français (Bissonnais et al, 2002).
French soil erosion risk.

signifie ici que le classement des différents SdC a été réalisé avec Patrice Cotinet (CRAB) puis validé lors d'une réunion avec Aurélien Dupont (CRAB) et Paul Landrain (CRAB). Enfin, 2 critères nécessitaient un choix de l'évaluateur : le facteur de production limitant entre le temps de travail et la surface ainsi que la période la plus à risque d'érosion par les pluies entre printemps-été et automne-hiver. A dire d'expert, il a été décidé que le facteur limitant de production est la surface et en nous basant sur les travaux de Bissonais *et al* (20002) (fig. 12), la période automne-hiver a été retenue comme étant la période la plus à risque car il s'agit de la période où la Bretagne présente l'aléa érosif le plus fort.

Les valeurs seuils :

Pour s'adapter au contexte de l'étude, certaines valeurs seuils sont modifiées. Pour déterminer les valeurs seuils à modifier ou non, les critères du SdC BZH ont été calculés et entrés dans MASC afin d'en déduire si les valeurs seuils conduisent à des résultats cohérents. Ces modifications ne concernent que les critères « rentabilité », « efficacité économique » et « contribution à l'emploi » (annexe IX). En effet, les 2 premiers critères n'avaient pas de classes préconisées dans le manuel d'utilisateur CRITER à cause de leur trop forte variabilité en fonction du contexte, et les valeurs seuils proposées par le critère « contribution à l'emploi » ont été jugées trop éloignées les unes des autres pour être discriminantes au vu de nos systèmes. Les autres modifications apportées aux valeurs seuils consistent uniquement en des changements mineurs tels que la modification de « inférieur strict » en « inférieur ou égale » pour une meilleure discrimination entre les SdC (annexe IX).

Les pondérations :

Les pondérations permettent de modifier les règles d'agrégation en donnant plus d'importance à certains critères. Afin de ne pas dénaturer l'outil, des pondérations minimales sont fixées pour certains critères (annexe X) mais en dehors de cette limite l'évaluateur est libre d'adapter ces pondérations à son contexte. Pour cette étude, en comparaison aux pondérations de bases de MASC (annexe XI), il a été décidé de modifier les pondérations affectées à 2 agrégations de la dimension environnementale et l'agrégation des 3 dimensions du développement durable. (figure 13).

Pertes de pesticides dans les eaux : la consommation d'eau potable en Bretagne repose à 80% sur les eaux superficielles et uniquement à 20% sur les eaux profondes (cf partie 1), d'où l'affectation de pondérations équivalentes.

Pression sur les ressources : La « pression phosphore » n'est pas discriminante dans nos systèmes car l'apport de phosphore non renouvelable est très faible (apport uniquement en cas de besoin avéré). De plus, la consommation d'eau n'est pas une problématique majeure en Bretagne, d'où la plus grande importance donnée au critère « pression énergie ».

Dimension économique : la contribution au développement économique a été affectée d'une plus faible pondération car il ne s'agissait pas d'un objectif pour nos SdC. De plus, sous cette agrégation il n'y a que 3 critères basiques, dont la qualité technologique des produits qui est toujours bonne (car destinés à l'alimentation animale).

Dimension sociale : comme pour la contribution au développement économique, la fourniture d'emploi et de matière première n'étaient pas un axe de réflexion lors de la mise en place de nos systèmes. De plus, l'agrégation conduit à donner un poids supérieur à la contribution à l'emploi par rapport à la difficulté physique et aux risques pour la santé, or, développer des emplois difficiles menaçant la santé des travailleurs ne peut pas être considéré comme en adéquation avec les attentes de la société.

Dimension environnementale : les SdCi ont été principalement pensés pour s'intégrer dans le plan Ecophyto et donc pour améliorer leur contribution à la qualité du milieu, d'où la pondération de 50% affectée à ce critère agrégé.

3.4.3. Mode d'évaluation :

Plusieurs modes d'évaluation sont réalisés dans ce rapport :

- Une analyse de la variabilité des résultats pour un même SdCi en fonction des années afin d'identifier si des modifications de pratiques en court d'expérimentation ont conduit à une amélioration globale. Pour cela, l'assolement d'une année donnée (présentant tous les termes d'une rotation) est traité comme une rotation, ce qui permet de comparer les années entre elles
- Une analyse de la variabilité des résultats pour un même SdCi en fonction des parcelles afin d'identifier les critères les plus robustes aux variations annuelles et parcellaires ou aux changements de certaines règles de décisions. Cette partie ne peut pas être réalisée pour le SdCi Bio car il n'est pas encore en fin de rotation, toutes les parcelles n'ont donc pas servi de support à toutes les cultures.
- Une analyse des différences entre les deux SdC de référence (Conv et BZH) pour confronter le SdC théorique à des pratiques réelles et identifier quels sont les points forts et faibles des SdC conventionnels.
- Une comparaison des scores obtenus en moyenne pour chaque critère pour un SdCi avec le SdC BZH.
- Une comparaison des SdCi entre eux.

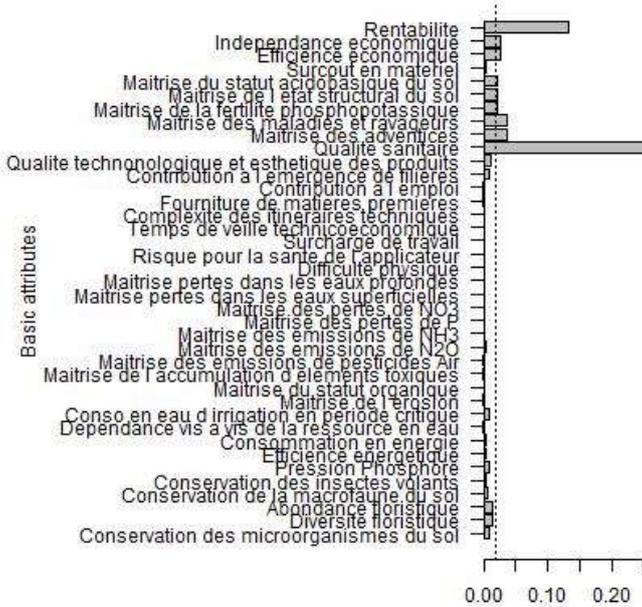


Figure13: Analyse de sensibilité du modèle MASC 2.0 non modifié.
Sensibility assesment of MASC 2.0 non modified model.

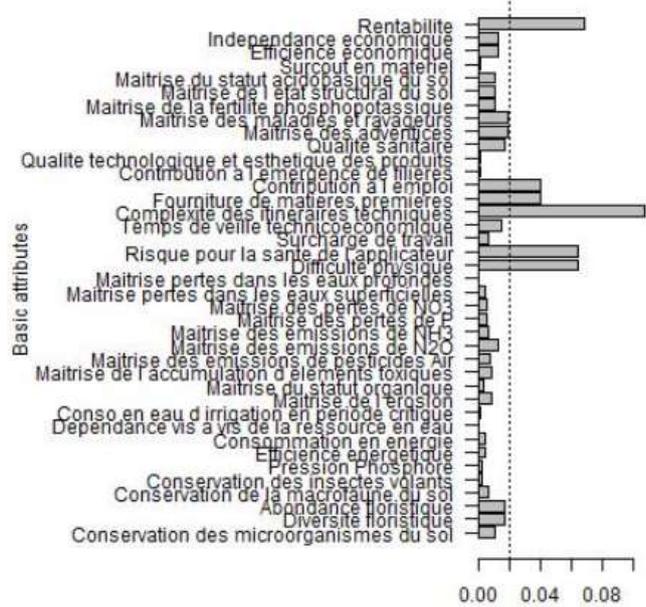


Figure 14 : Analyse de sensibilité du modèle MASC 2.0 avec de nouvelles pondérations.
Sensibility assesment of MASC 2.0 new weight model.

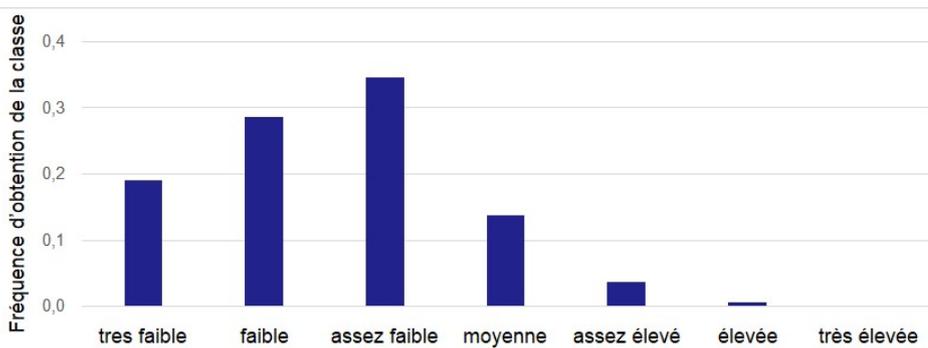


Figure 15: Test de Monte Carlo portant sur la fréquence d'obtention des différentes classes de contribution au développement durable du modèle MASC utilisé dans cette étude .
Monte Carlo test concerning frequency obtention of contribution to sustainability classes of MASC model use in this report.

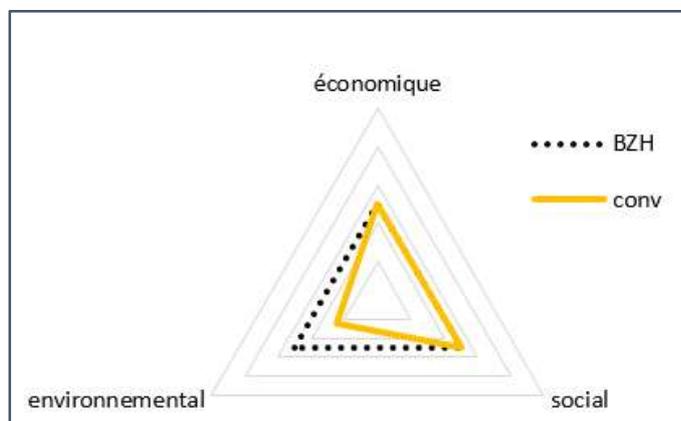


Figure 16: Classement de BZH et Conv sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
Classification of BZH and Conv on the three dimensions of sustainability. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

4. Résultats

4.1. Analyse de la sensibilité du modèle :

L'analyse de la sensibilité du modèle, avant et après modification des pondérations, (respectivement fig.13 et fig. 14) montre que l'on obtient une structure plus équilibrée avec une modification des pondérations. En effet, dans le modèle modifié, l'indice de sensibilité ne dépasse pas 0.1 alors qu'il était supérieur à 0.2 dans le modèle original, ce qui montre que l'influence relative d'un critère comparé à un autre est réduite. Avant modification, le critère qualité sanitaire des produits avait le poids le plus important, suivi de la rentabilité. Après modification, la rentabilité ainsi que cinq critères de la dimension sociale (contribution à l'emploi, fourniture de matières premières, complexité des itinéraires techniques, risque pour la santé de l'applicateur et difficulté physique) ont plus d'influences sur le résultat que les autres critères, ce qui montre que la répartition n'est toujours pas équitable mais également que les critères de la dimension environnementale influencent relativement peu la contribution au développement durable.

La réalisation d'un test de Monte Carlo (fig.15), permet d'observer que la répartition au sein du développement durable ne suit pas une loi normale et qu'il est plus difficile d'obtenir un score « moyen à très élevé » que « très faible » à « assez faible ». Cela signifie qu'il est moins fréquent d'obtenir un classement de contribution au développement durable moyen ou supérieur et donc qu'il est plus difficile de distinguer différents SdC.

4.2. Les SdC de référence BZH et Conv:

Le SdC de référence BZH est évalué comme ayant un développement durable « moyen » alors que Conv obtient la note « assez faible », il y a donc des différences notables qui se retrouvent à différents niveaux de l'arbre MASC entre ces 2 systèmes qui ont pourtant été conçus pour être proches (Annexe XII et XIII).

La différence se fait essentiellement sur le pilier environnemental. De plus, le SdC BZH a une structure équilibrée avec un score moyen dans toutes les dimensions (fig.16)

Les différences dans les dimensions économique et sociale : (fig.17) La répartition des notes des critères est globalement la même pour tous les critères agrégés (seuls les résultats économique sont meilleurs d'un point pour Conv par rapport à BZH.) Les différences de notes apparaissent entre les critères basiques. La **rentabilité** et la **fourniture de matières premières** sont meilleures pour Conv, ce qui s'explique par de meilleurs rendements obtenus par Conv. (+3.3% pour le maïs et +12.9% pour le blé en moyenne). Il semblerait donc que la station de Kerguéhennec soit plus propice aux bons rendements que la moyenne bretonne et donc probablement que Crécom, ce qui est cohérent avec les climats propres à chaque station.

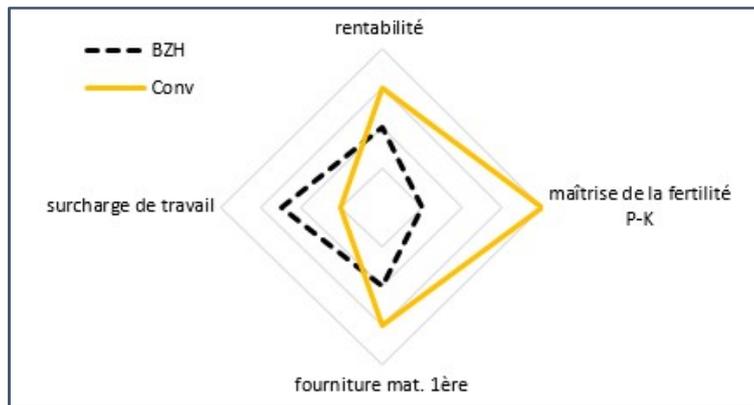


Figure 17 : Critères variant entre BZH et Conv sur les dimensions économique et sociale. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge. Criteria that differ between BZH and Conv in economic and social dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

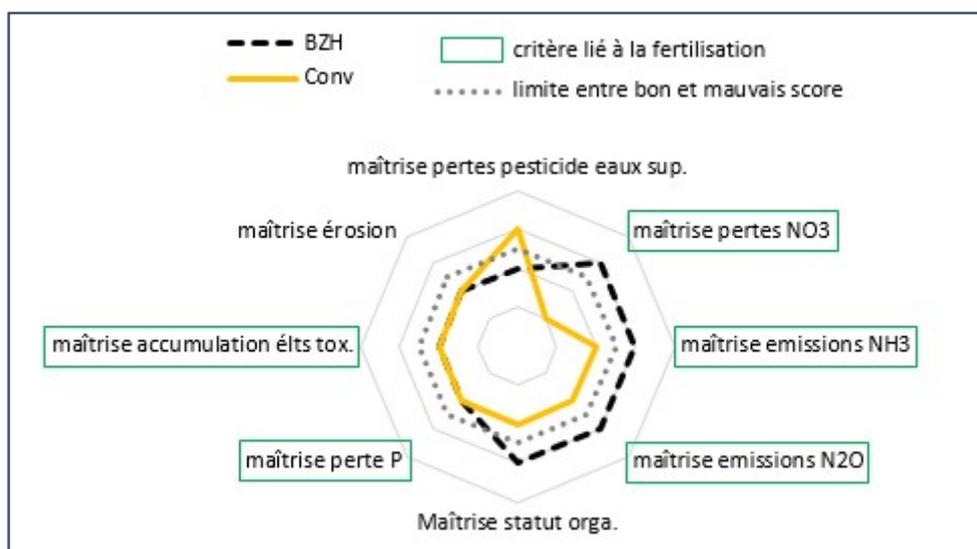


Figure 18: Critères présentant un mauvais score dans l'agrégation "qualité du milieu" pour les SdC BZH et/ou Conv. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge. Criteria that have a bad score in the "quality of environment" aggregation for BZH and/or Conv. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

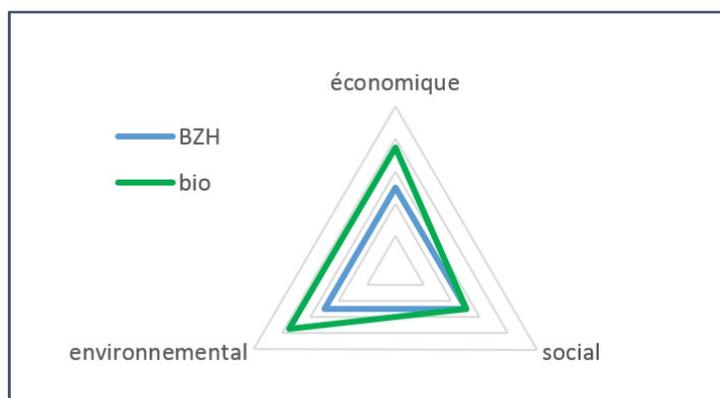


Figure 19: Classement du SdCi Bio et du SdC BZH sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge. Classification of Bio and BZH on the three dimensions of sustainability. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

Il y a également une variation quant à la **surcharge de travail** qui peut s'expliquer par une répartition du calendrier de travail légèrement différente à Kerguéhenec, ce qui fait que le cumul par décade est plus important pour Conv que pour BZH. De plus, la **fertilité P-K** est plus faible pour BZH.

Les différences dans la dimension environnementale : Pour la conservation de la biodiversité, Conv présente une moins bonne **préservation des microorganismes** du sol. La contribution à la qualité du milieu (fig. 18) présente des variations entre les SdC : 5 des 7 critères (soit 72%) ayant une mauvaise note pour Conv dans cette agrégation sont directement liés à un problème de fertilisation (sur-fertilisation ou mauvaise application) alors que cela ne concerne que 2 des 4 critères (50%) ayant une mauvaise note pour BZH. Conv a en effet été sur-fertilisé en moyenne de 52 kg d'N/ha/an, alors que BZH ne l'a été que de 9 kg d'N/ha/an.

Points faibles : Il s'agit majoritairement de la conservation de la faune, la contribution à la qualité du milieu (surtout l'eau et le sol à cause des pratiques de fertilisation et d'application de phytosanitaires), la qualité des conditions de travail (répartition du temps de travail moins homogène dans l'année et risque pour la santé lié aux produits phytosanitaires) et la contribution au développement économique.

Points forts : Ces systèmes ont pour avantage une faible pression sur la ressource en eau, une faible difficulté physique et une facilité de mise en œuvre très élevée (peu de cultures et des cultures simples à maîtriser) ainsi qu'un bon/très bon score en résultats économiques (bons rendements, peu d'aides et peu de matériel)

4.3. Le SdC Bio:

4.3.1. Contribution au développement durable par année

La contribution au développement durable du SdCi Bio est assez élevée quelle que soit l'année et aucune différence n'est observée dans les différentes dimensions : les dimensions économiques et environnementales ont une contribution élevée, celle de la dimension sociale est moyenne (fig.19). Il existe cependant des variations annuelles au niveau de certains critères dont deux notables :

Pour la **fertilité physico-chimique**, un manque de fertilisation la première année a été compensé par la suite ce qui conduit à un bilan moyen équilibré sur les quatre ans avec des variations de P2O5 de plus ou moins 10 Kg/ha et par an.

La rentabilité est augmentée la dernière année grâce à une augmentation des rendements : on a une amélioration du taux de fourniture de matières premières entre la moins bonne année (2015 avec 43%) et la meilleure (2017 avec 60%).

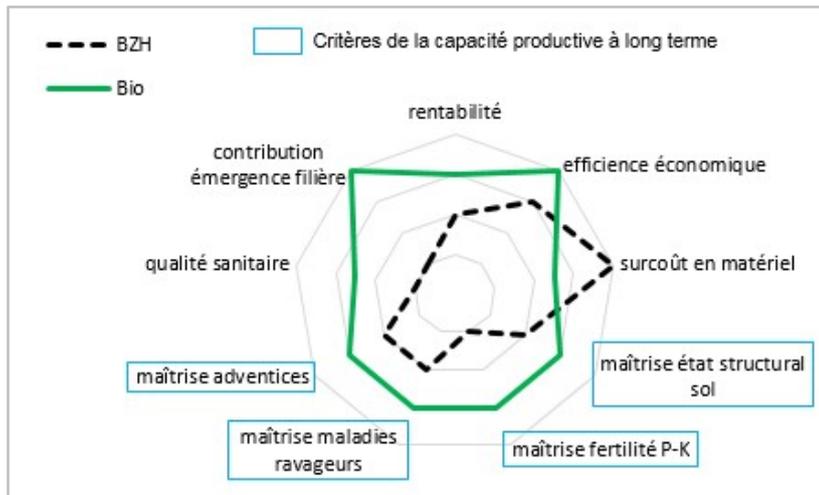


Figure 20 : Critères variant entre les SdC BZH et Bio dans la dimension économique. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
 Criteria that differ between Bio and BZH in the economic dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

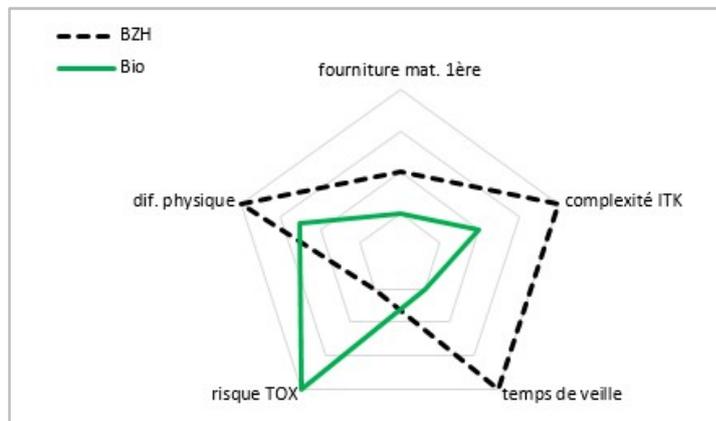


Figure 21: Critères variant entre les SdC BZH et Bio dans la dimension sociale. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
 Criteria that differ between Bio and BZH in the social dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

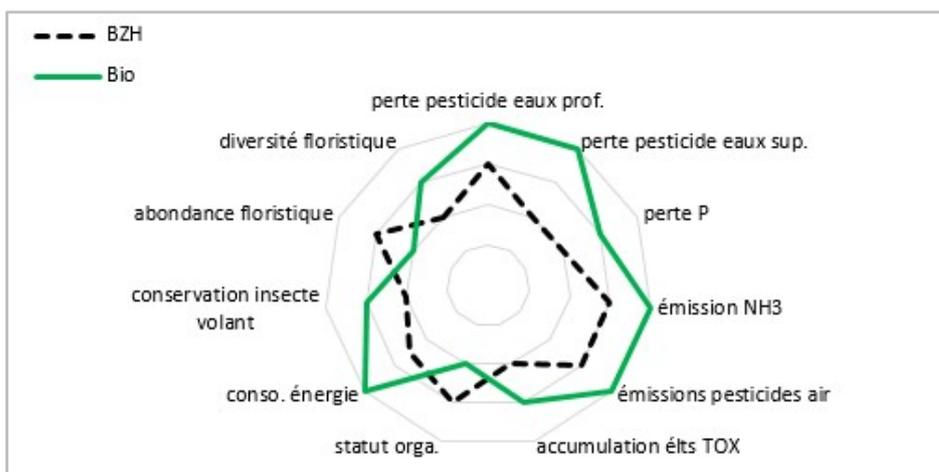


Figure 22 : Critères variant entre les SdC BZH et Bio dans la dimension environnementale. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
 Criteria that differ between Bio and BZH in the environmental dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

4.3.2. Comparaison au SdC de référence BZH

La contribution au développement durable pour le SdCi Bio est assez élevée, elle est donc meilleure que pour BZH (moyenne). L'amélioration se situe au niveau de la dimension économique et environnementale ; la dimension sociale est restée moyenne (fig.19) (Annexe XIV). Ce SdCi atteint donc les objectifs fixés : obtenir un meilleur score environnemental que BZH, sans dégrader la dimension économique et sociale.

Dimension économique (fig 20): à part un léger surcoût en matériel, les résultats économiques du bio sont meilleurs. Concernant la rentabilité et l'efficacité économique, cela s'explique par un prix de vente des cultures plus élevé (exemple : prix de vente du maïs grain conventionnel : 131,9 €/t ; bio : 286€/t) et par des charges totales inférieures (BZH : 803€/ha ; Bio : 609€/ha). La capacité productive à long terme est plus élevée grâce aux nombreux moyens de lutte non chimiques mis en place. Enfin, l'agriculture biologique, et plus particulièrement la culture sarrasin bio sont à l'origine d'émergences de filières.

Dimension sociale : Par rapport à BZH, les attentes de l'agriculteur sont améliorées alors que celles de la société sont dégradées du fait de la baisse de fourniture de matières premières. Les attentes de l'agriculteur étant jugées plus importantes, nous considérons qu'il y a une amélioration pour la dimension sociale du SdCi, liée à la diminution du risque pour la santé de l'applicateur (fig. 21). Cependant la facilité de mise en œuvre et le temps de veille technico-économique diminuent également alors qu'il s'agissait de critères importants lors de la mise en place de ce SdCi.

Dimension environnementale : La grande majorité des critères obtient un meilleur score que BZH (fig. 22). Seul le statut organique du sol (manque de fertilisation) et l'abondance floristique (car bonne maîtrise des adventices) se dégradent. Les seules mauvaises notes restantes (annexe XIV) sont l'érosion du sol (lié aux caractéristiques pédologiques de la parcelle) et la macrofaune du sol (lié à un manque d'apport de fertilisant).

Faiblesses : complexité des interventions, veille technico-économique, fourniture de matières premières, érosion du sol, macrofaune du sol et abondance floristique (manque de fourniture au sol),

Forces : bonne rentabilité (prix de vente plus valorisants), émergence de filières, capacité productive à long terme, risque santé applicateur, qualité de l'eau et de l'air, conservation des insectes.

4.4. Le SdC Kerg int :

4.4.1. Contribution au développement durable par année

Les scores des dimensions économiques et sociales du développement durable du SdCi Kerg

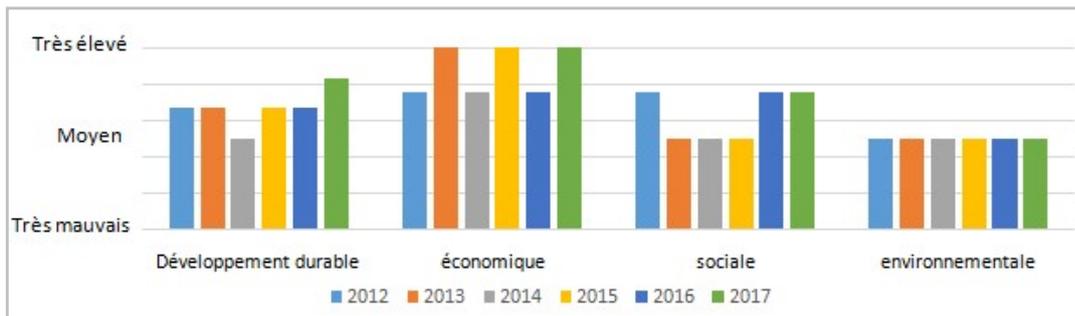


Figure 23: Evolution par année de la contribution au développement durable et des trois dimensions pour Kerg int.

Evolution by year of the contribution to sustainability and to the three dimensions for Kerg int.

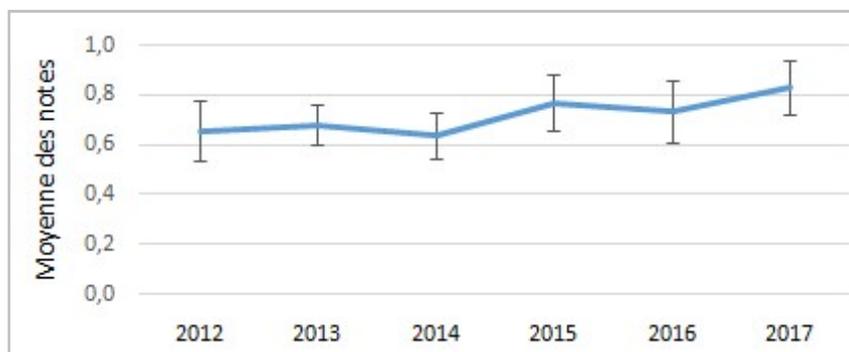


Figure 24: Evolution par an de la moyenne des notes pour les critères variant annuellement pour Kerg int.

Evolution by year of the mean score of criteria that differ between years for Kerg int.

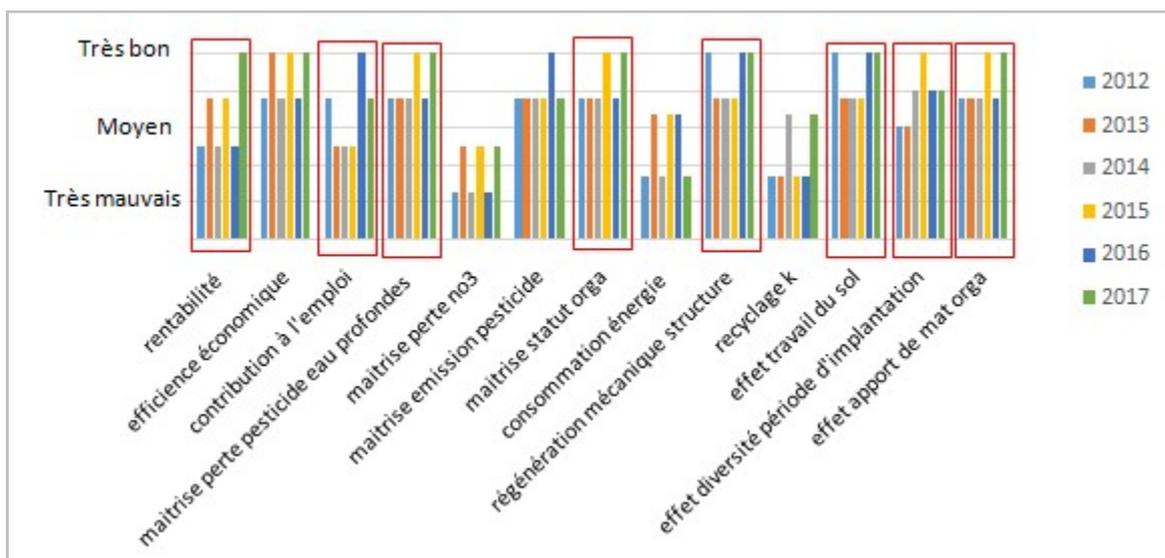


Figure 25 : Critères variant en fonction des années pour Kerg int.

Criteria that differ between years for Kerg int.

int varient en fonction des années, mais aucune des dimensions ne présente de tendance nette à la hausse. (fig.23)

La figure 24 représente les moyennes des notes pour les 13 facteurs qui varient annuellement. Comme indiqué par les écarts types importants, ce graphe ne permet pas de quantifier l'amélioration ou la diminution des différentes classes des critères de kerg int au fil des ans. Il permet cependant de dégager une tendance : il y aurait une amélioration sur la période 2015-2017 par rapport à la période 2015-2017.

L'étude de l'évolution des critères variant annuellement (fig.25) permet d'observer que 8 de ces critères présentent une tendance à la hausse :

Rentabilité: non liée ni à la fourniture de matières premières ni aux charges, il s'agit donc de l'effet de variations de rendement pour des cultures ayant des prix de ventes très différents

Régénération de la structure : il s'agit du nombre de labours dans une rotation. La variation de ce critère est liée à un choix de labourer toutes les parcelles la première année pour limiter l'impact des cultures précédentes. La règle de décision initiale était de labourer 1 ans/6 puis il y a eu modification de cette règle en faveur de l'augmentation de la fréquence de labour afin de mieux gérer la flore adventice.

Contribution à l'emploi : l'augmentation de ce critère se fait surtout sur les deux dernières années et est lié à l'augmentation du temps de travail en lien avec la fréquence de labours. Un des objectifs communs aux SdCi testés était de ne pas augmenter le temps de travail. Le critère contribution à l'emploi, vu sous cet angle, est donc discutable.

Perte pesticide : La diminution de la valeur de ce critère est notamment liée à l'effort de baisse de l'utilisation des produits phytosanitaires, mesurée par l'IFT.

Maitrise du Statut Organique : Malgré le changement de classe de ce critère, la variation quantitative est en réalité assez faible (moins de 9% de variation entre 2012 et 2017), ce qui ne peut pas être expliqué dans le cadre de l'expérimentation système.

Diversité des périodes d'implantation : La règle de décision prévoyait de semer précocement pour le colza et la féverole mais des difficultés climatiques et de calendrier de travail ont parfois décalé ces dates : l'évolution de ce critère résulte d'une nécessité d'adaptation plutôt que d'un choix.

Finalement, seuls les trois critères régénérations de la structure, perte de pesticide et diversité des périodes d'implantation résultent d'une volonté active d'améliorer le SdCi.

4.4.2. Contribution au développement durable par parcelle

L'évaluation par parcelle fait ressortir une grande diversité dans les scores de contribution au développement durable (de « moyen » à « élevé »), alors que les systèmes évalués sont très

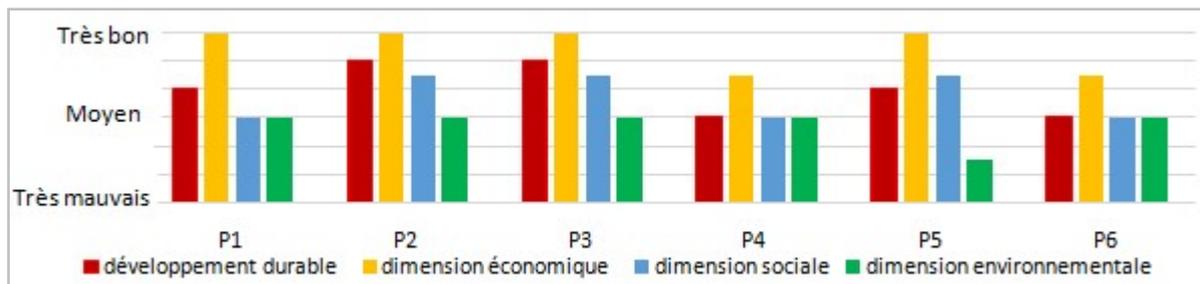


Figure 26 : Classification de la contribution au développement durable et aux trois dimensions en fonction des parcelles pour Kerg int.
Classification of the contribution to sustainability and of three dimensions depending of the plot for Kerg int.

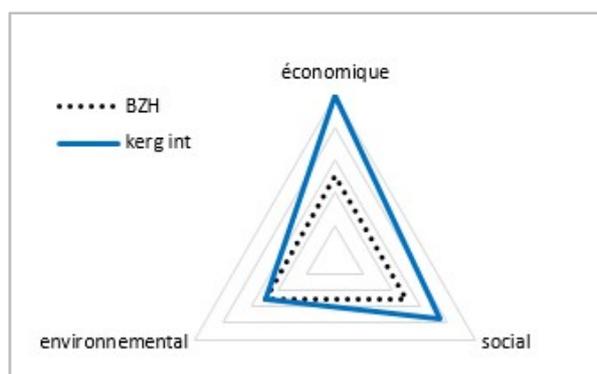


Figure 27 : Classement du SdCi Kerg int et du SdC BZH sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
Classification of Bio and BZH in the three dimensions of sustainability. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

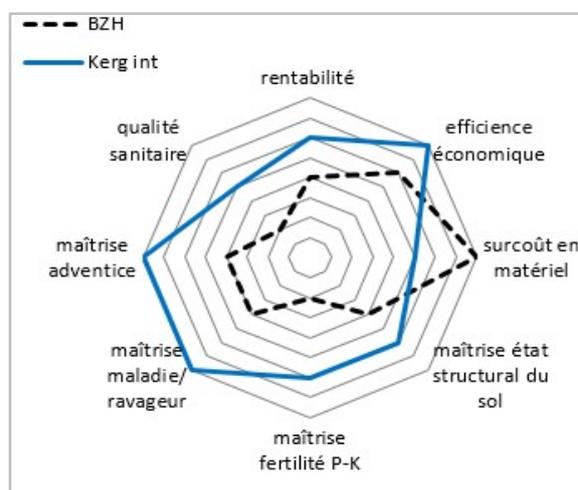


Figure 28 : Critères variant entre les SdC BZH et Kerg int dans la dimension économique. Echelle de chaque critère: du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
Criteria that differ between Kerg int and BZH in the economic dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

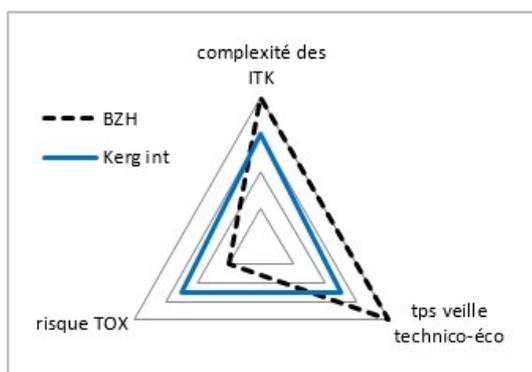


Figure 29 : Critères variant entre les SdC BZH et Kerg int dans la dimension sociale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
Criteria that differ between Kerg int and BZH in the social dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

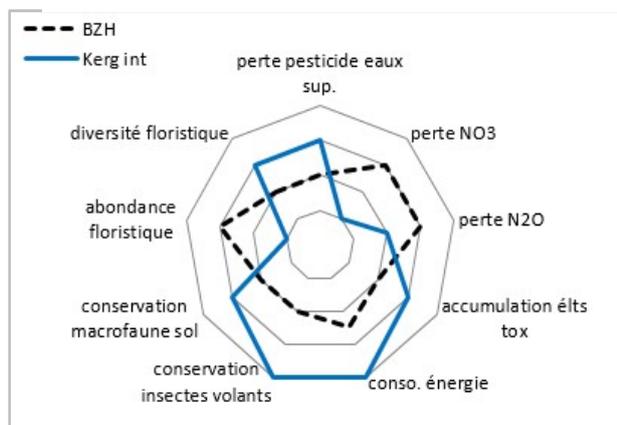


Figure 30: Critères variant entre les SdC BZH et Kerg int dans la dimension environnementale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
Criteria that differ between Kerg int and BZH in the environmental dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

proches. Ces variations sont à la fois dues à des différences dans les dimensions économique, sociale et environnementale (fig. 26). Ces différences sont liées à 17 critères (annexe XV).

Les valeurs de ces critères évoluent pour des raisons de changement de règle de décision (effet du travail du sol et régénération mécanique du sol liée au labours par exemple ou encore la maîtrise des adventices), par effet de changement des conditions environnementales (EPI lié à la possibilité ou non de semer à certaines périodes) et enfin par des effets qui semblent liés aux caractéristiques spécifiques des parcelles (la fourniture de matières premières). Concernant ce dernier point, l'étude plus approfondie des rendements de la parcelle 6 montre que cette dernière a une nette tendance à produire les rendements les moins bons, exception faite pour le colza (annexe XVI), il s'agit donc probablement d'un effet parcelle. Pour finir, les variations de la MSO sont trop faibles pour pouvoir conclure (ici la MSO moyenne est à 8.8 et la valeur jugée élevée pour P2 est à 9.19)

4.4.3. Comparaison au SdC de référence BZH

Kerg int obtient une note de contribution au développement durable de deux classes supérieures à BZH (élevée comparé à moyen). Contrairement à l'objectif de ce système, l'amélioration ne se situe pas au niveau de la dimension environnementale mais au niveau de la dimension sociale (une classe de plus) et économique (deux classes de plus) (fig 27)(Annexe XVII). Néanmoins, par rapport la référence locale Conv, on constate une amélioration de la dimension environnementale.

Dimension économique : (fig 28) Le surcoût en matériel est la seule dégradation par rapport à BZH, du fait des techniques de travail du sol et de désherbage mécanique qui nécessitent un investissement supplémentaire. Cette dégradation est compensée par une augmentation de la rentabilité et par une meilleure maîtrise des bioagresseurs (permise par l'augmentation des leviers utilisés).

Dimension sociale : (fig 29) Malgré une petite dégradation de la facilité de mise en œuvre (diversité et type de cultures), le critère agrégé « attentes de l'agriculture » est augmenté grâce à une amélioration des conditions de travail (diminution de la quantité de substances toxiques utilisées : quantité de substance active/ha supérieure à 1.5kg/ha en 2013 et 2014 puis inférieure à 0.8 kg/ha en 2015, 2016 et 2017 (Le Botlan, 2018)).

Dimension environnementale : (fig 30) bien que le score pour cette dimension soit le même pour les deux SdC, la répartition est différente. Il y a moins de perte de pesticides dans l'environnement, une meilleure conservation de la macrofaune du sol et des insectes volants grâce à une diminution de l'IFT (additionnée à un plus faible travail du sol et à une plus grande diversité des périodes d'implantations) pour le SdCi. Il y a cependant une plus forte

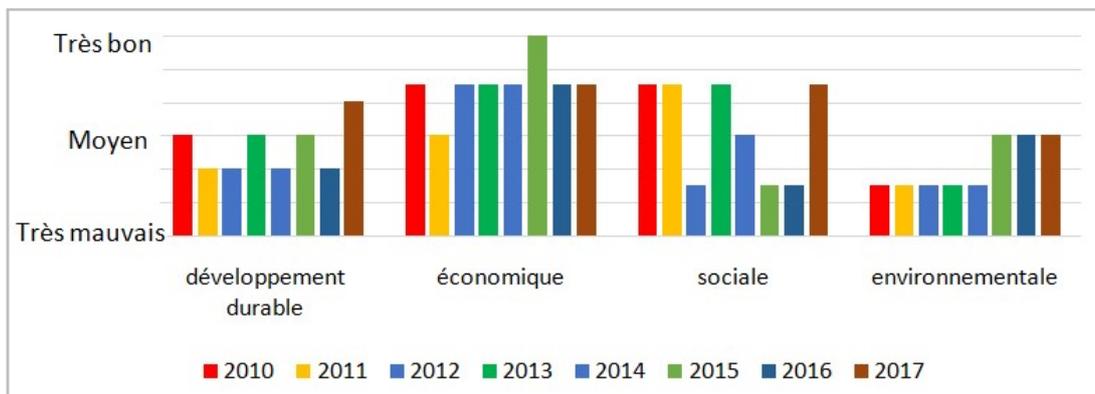


Figure 31: Evolution par année de la contribution au développement durable et aux trois dimensions pour Crécom.
Evolution by year of the contribution to the sustainability and to the three dimensions for Crécom.

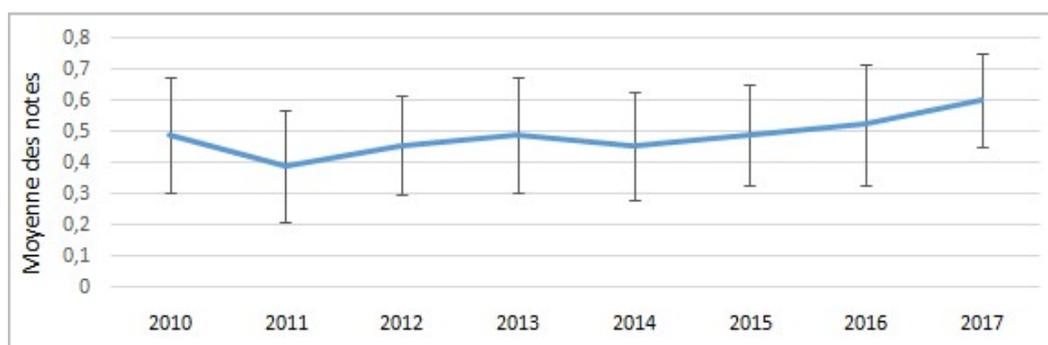


Figure 32: évolution par an de la moyenne des notes pour les critères variant annuellement (hors contribution à l'emploi) pour Crécom.
Evolution by year of the mean score of criteria that differ between years (excepted the contribution to local employment)for Crécom.

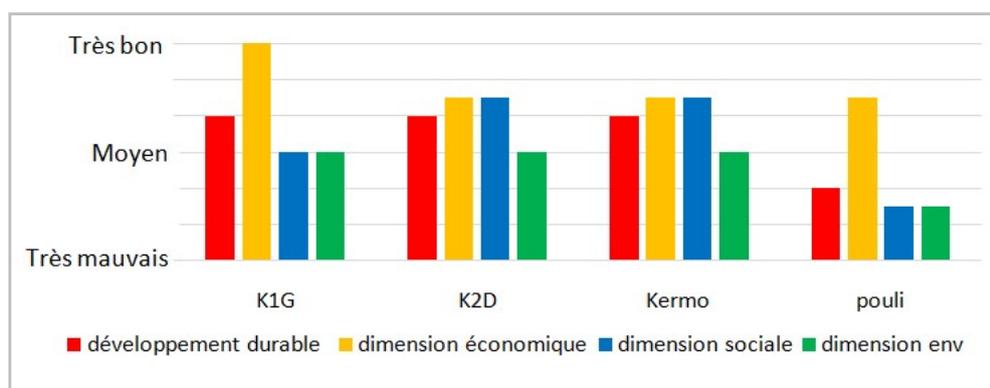


Figure 33: Classification de la contribution au développement durable et aux trois dimensions en fonction des parcelles pour Crécom.
Classification of the contribution to sustainability and of three dimensions depending of the plot for Crécom.

perte de NO₃ et émission de N₂O qui s'explique par la fertilisation plus importante à Kerg int en lien avec les objectifs de rendement plus élevés que la moyenne bretonne (ainsi que la présence de légumineuses et le type de travail du sol) . Le score est équivalent à Conv. Il y a également une baisse importante du classement du critère «abondance floristique» liée à une maîtrise des adventices élevée (voir dimension économique)

Forces : très bons résultats économiques (rendements), bonne maîtrise des bioagresseurs (diversité de méthodes de lutte), peu de pressions sur les ressources, conservation importante de la faune

Faiblesses : ne fait pas émerger de filières, un peu difficile à mettre en œuvre, perte des matières fertilisantes, mauvaise abondance floristique

4.5. Le SdC Crécom:

4.5.1. Contribution au développement durable par année

Pour Crécom, la contribution au développement durable est relativement stable. Néanmoins, on constate une amélioration du pilier environnemental (fig. 31) sur les trois dernières années. Les piliers économique et social ne suivent pas une courbe de progression.

Le temps de travail est diminué d'année en année (**annexe XVIII**). C'est un objectif pour ce SdC mais une dégradation de la situation pour MASC : ce critère n'est donc pas pris en compte dans l'observation de la tendance. La figure 32 permet d'observer qu'il n'y a pas de tendance nette dans l'évolution de globale des critères variant annuellement.

L'amélioration de la dimension environnementale semble majoritairement liée à la diversité de familles cultivées (effort réalisé sur les CIPAN, passées en mélange) et à l'IFT insecticide (qui se réduit) .

4.5.2. Contribution au développement durable par parcelle

La parcelle Pouli présente le score le moins bon pour la contribution au développement durable, classée « assez faible » alors que les autres parcelles ont une contribution au développement durable « assez élevée ». Cette parcelle obtient également les moins bons classements pour les dimensions social et environnemental (figure 33). Pouli présente un score dégradé sur le plan social, en raison de mauvaises conditions de travail liées à l'utilisation de pesticides toxiques (point faible de la parcelle K1G également) et d'une très faible fourniture de matières premières (point faible partagé avec K2D et Kermo). Son mauvais score environnemental est essentiellement dû à une moins bonne maîtrise des émissions de N₂O et de pesticides dans l'air ainsi qu'à un manque de diversité dans les périodes d'implantation. Il a été vu précédemment que ce critère peut être dû à des difficultés techniques à suivre un calendrier précis.

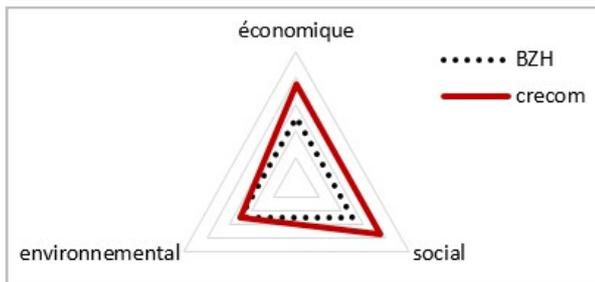


Figure 34: Classement du SdCi Crécom et du SdC BZH sur les trois dimensions du développement durable. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
 Classification of Crécom and BZH in the three dimensions of sustainability. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

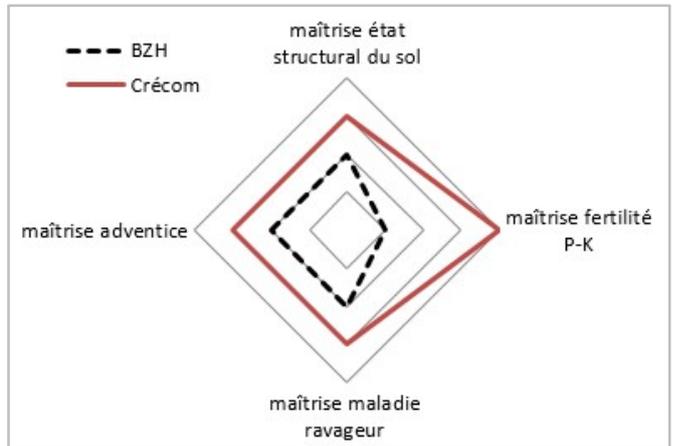


Figure 35 : Critères variant entre les SdC BZH et Crécom dans la dimension économique. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
 Criteria that differ between Crécom and BZH in the economic dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

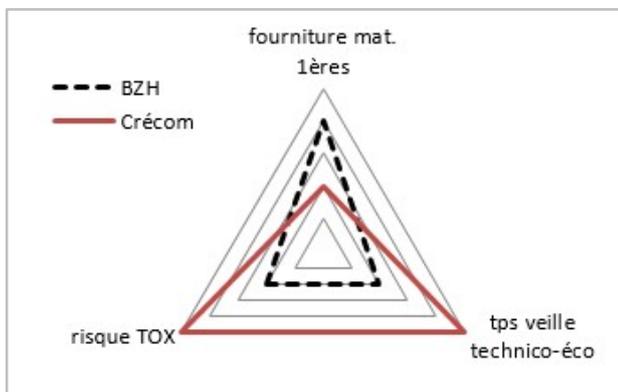


Figure 36: Critères variant entre les SdC BZH et Crécom dans la dimension sociale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
 Criteria that differ between Crécom and BZH in the social dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

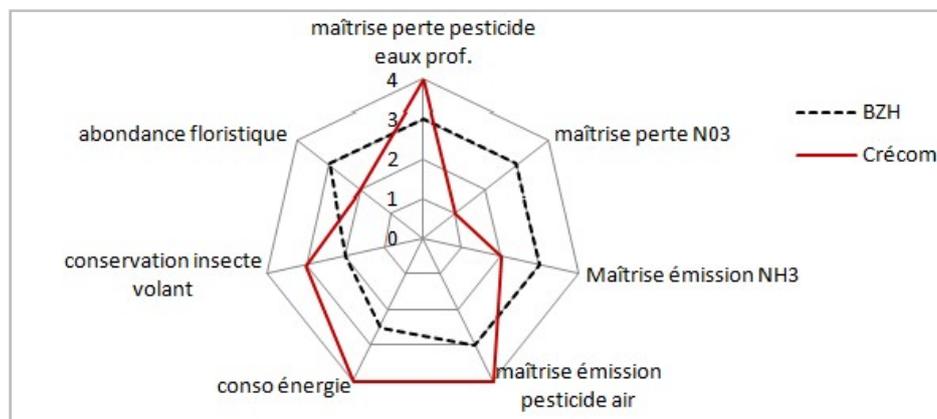


Figure 37: Critères variant entre les SdC BZH et Crécom dans la dimension environnementale. Echelle de chaque critère : du moins bon au meilleur par ordre centrifuge.
 Criteria that differ between Crécom and BZH in the environmental dimension. Scale of each criterion: from the worst to the best score by centrifuge order.

4.5.3. Comparaison au SdC de référence BZH

Crécom obtient le score « assez élevé » pour sa contribution au développement durable car la dimension environnementale classée moyenne est compensée par un score élevée dans les dimensions économiques et sociales (fig 34) (annexe XIX).

Le SdCi Crécom apporte donc une amélioration par rapport au SdC BZH bien que l'amélioration ne soit pas sur la dimension environnementale comme prévu.

La dimension économique : (fig. 35) Le SdCi Crécom présente une nette amélioration au niveau de la capacité productive à long terme, en grande partie grâce à une amélioration de la fertilité P-K en raison d'un apport de fertilisant plus important (106 kg de P205/ha/an en moyenne à Crécom contre 75 kg de P205/ha/an pour BZH), de la structure du sol (utilisation d'équipements limitant le tassement) et de la maîtrise des bio-agresseurs (plus forte diversité des familles cultivées et des périodes d'implantation). L'amélioration de la contribution au développement économique est due uniquement à l'amélioration de la qualité sanitaire grâce à l'intégration du colza qui n'est pas sensible à la fusariose a *contrario* de nombreuses céréales.

Dimension sociale : (fig. 36) les attentes de l'agriculteur sont améliorées grâce à la diminution de l'indice TOX. Par contre, les attentes de la société sont dégradées du fait d'une baisse de la fourniture de matières premières, les rendements de Crécom étant relativement bas. (7,5 t/ha en moyenne pour le maïs à Crécom contre 8,8 t/ha pour BZH et 6,6 t/ha contre 7,4 t/ha pour le blé).

Dimension environnementale : (fig. 37) même si le score final est resté le même, il y a des différences entre Crécom et BZH. En effet les pertes de NO₃, P et NH₃ sont plus élevées pour Crécom, ce qui conduit à un très mauvais score pour le critère « qualité de l'eau ». Même en comparant avec Conv, les pertes de P restent plus importantes : il s'agit donc bien d'un effet pression de la fertilisation organique à Crécom. De plus même si le score de la conservation de la biodiversité est plus faible pour Crécom, l'analyse au niveau des critères basiques montre qu'il ne s'agit que d'un échange entre la note de la conservation des insectes volants et de l'abondance floristique.

Forces : Bonne capacité productive à long terme (fertilisation), facile à mettre en œuvre (cultures simples), peu de pressions sur les ressources.

Faiblesses : rentabilité et fourniture de matières premières (rendements), non contribution à l'émergence de filières, mauvaise qualité de l'eau et du sol (pesticide et fertilisation), faible conservation de la biodiversité (travail du sol et pesticide)

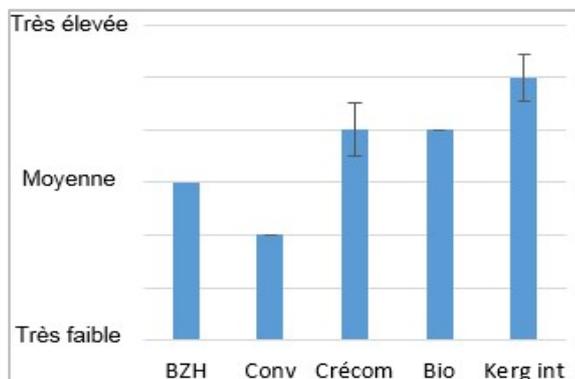


Figure 38: Classement de la contribution au développement durable de BZH, Conv, Crécom, Bio et Kerg int.

Classification of BZH, Conv, Crécom, Bio and Kerg int in contribution to sustainability.

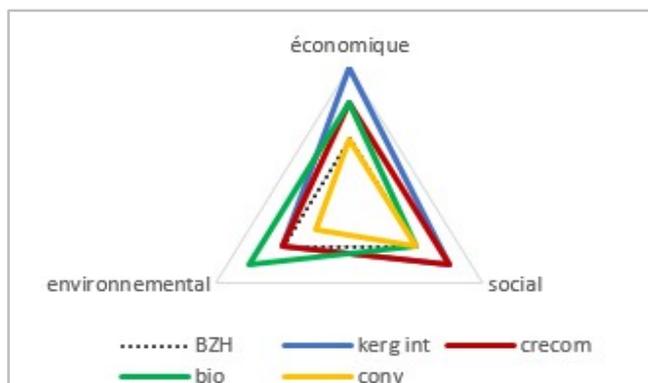


Figure 39: Classement de BZH, Conv, Crécom, Bio, et Kerg int sur les trois dimensions du développement durable.

Classification of BZH, Conv, Crécom, Bio and Kerg int in the three dimensions of sustainability.

Tableau 6: Forces et faiblesses des 3 SdCi liées aux pratiques.

Strength and weakness of the three innovative crop system linked to practices.

SdCi	Forces	pratiques	Faiblesses
Kerg int	maitrise des maladies et des ravageurs	Combinaison de plusieurs méthodes de luttés (chimique, mécanique, diversification des cultures ...)	Abondance floristique
	maitrise des adventices		
	-	Non identifié	Maîtrise émission N2O/ Maitrise émission pesticide dans l'air
Bio	émergence de filières	Agriculture biologique	
		diversification des cultures (cultures plus complexes)	complexité des itinéraires techniques
	-	diversification des cultures (quantité)	temps de veille technico-économique
	risque pour la santé de l'applicateur	Pas de pesticide	-
	maitrise des pertes de pesticides dans les eaux superficielles		
	maitrise des pertes en phosphore	Peu de fertilisants	Maîtrise statut organique
	maitrise des émissions de NH3		
Crécom	surcout en matériel	Système proche du conventionnel	-
	complexité des itinéraires techniques		
	difficulté physique		
	-	Non identifié	Rentabilité/efficience économique
	maitrise de l'état structural du sol	Labour	
	fertilité phospho-potassique	Fertilisation importante	Maîtrise des émissions de NH3
			Maîtrise accumulation éléments toxiques
	-	Non identifié	maitrise des pertes de phosphore maitrise des pertes de pesticides dans les eaux superficielles
-	Utilisation d'herbicides à spectre large et faible diversité de périodes d'implantation	diversité floristique	

4.6. Comparaison entre les trois SdCi:

Les 3 SdCi contribuent plus au développement durable que BZH. Le SdCi le mieux classé est Kerg int avec une contribution « élevée », suivi de Crécom et Bio *ex aequo* avec « assez élevée », tandis que BZH n'a qu'une contribution « moyenne » et Conv « assez faible » (fig 38). Compte tenu de la faible fréquence d'obtention des systèmes classés « assez élevée » et « élevée », il y a une amélioration notable des SdCi comparé à BZH et Conv.

Seul le SdCi bio présente une amélioration de la dimension environnementale, les 3 SdCi améliorent l'économique (amélioration supérieur pour Kerg int), et enfin Kerg int et Crécom améliorent la dimension sociale (fig 39).

Ces SdCi varient sur 25 critères basiques. Ceux-ci constituent les points forts et les points faibles notables de chaque SdC :

Les points forts :

Kerg int : maîtrise des maladies et des ravageurs, maîtrise des adventices ;

Bio : émergence de filières, risque pour la santé de l'applicateur, maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux superficielles, maîtrise des pertes en phosphore, maîtrise des émissions de NH₃ ;

Crécom : surtout en matériel, maîtrise de l'état structural du sol, fertilité phospho-potassique, complexité des itinéraires techniques*, difficulté physique.

Les points faibles :

Kerg int : abondance floristique, maîtrise des émissions de N₂O et des pesticides dans l'air ;

Bio : complexité des itinéraires techniques, temps de veille technico-économique, maîtrise du statut organique ;

Crécom : rentabilité, efficience économique, maîtrise des émissions de NH₃, maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux superficielles/des émission de NH₃/des pertes de phosphore/d'accumulation d'éléments toxiques, diversité floristique.

Certains de ces critères peuvent être reliés à des pratiques (certains sont trop complexes pour faire un lien direct, telle que la maîtrise des émissions de N₂O). Il est ainsi possible de déduire les pratiques déterminantes pour chaque système (tab. 6). Ceci permet de conclure que le point fort de Kerg int se trouve dans sa combinaison de plusieurs méthodes de lutte alors que le SdCi bio profite de la diversification de ses cultures, de son faible apport de fertilisant et de son label d'agriculture biologique sans que cela ne conduise à d'importants points faibles. Crécom se dénote par l'importance de sa fertilisation qui est à la fois sa force et sa faiblesse, ainsi que d'un SdC relativement simple et proche de ce qui se fait en conventionnel. Il subit également les effets d'un rendement faible mais cela semble plus lié à sa position géographique qu'à ses pratiques culturales.

5. Discussion

5.1. Réponse aux hypothèses

i) *A l'échelle qualitative de MASC, les différences entre les différentes parcelles d'un même SdC sont négligeables ;*

Réfutée : il y a des différences entre les parcelles suffisamment importantes pour avoir un impact sur une analyse qualitative. Cette étude par parcelle nous permet de conclure que de nombreux facteurs peuvent conduire à des différences dans l'évaluation des systèmes de culture même après avoir supprimé des facteurs de variations tels que les changements de prix. Utiliser un système de « répétition » de chaque terme de la rotation par an sur des parcelles différentes est donc essentiel pour obtenir une évaluation d'un SdC non influencé par des changements assez minimes d'environnement.

ii) *Pour chaque SdCi, il y a une amélioration de la durabilité au fil des années culturales ;*

Non concluant : l'évolution pour le SdCi Bio est trop faible pour permettre de conclure avec certitude à une amélioration et, s'il y en a bien une, elle ne serait due qu'à un effet de l'augmentation de la fertilisation et du rendement. Pour Kerg int, il y a une tendance à la hausse liée à plusieurs critères (observable). Pour Crécom, seule la dimension environnementale semble s'améliorer sur les dernières années grâce à un effort pour faire baisser l'IFT et augmenter la diversité de familles cultivées.

iii) *Les trois SdCi testés sont plus durables que les SdC conventionnels et raisonnés breton ;*

Validée : alors que BZH obtient le score « moyen » (« assez faible » pour Conv), Crécom et Bio sont « assez élevé » et Kerg int est « élevé ». Il était cependant attendu que ce soit majoritairement l'amélioration de la dimension environnementale qui conduise à l'amélioration de la durabilité. Or le SdCi Bio est le seul présentant une amélioration sur la dimension environnementale. La dimension économique est également améliorée pour ce SdCi. Pour Crécom, c'est la dimension sociale qui est source d'amélioration et pour Kerg int ce sont les dimensions économique et sociale. Cependant, si la référence avait été Conv, tous les SdCi auraient été considérés comme plus performants pour la dimension environnementale : les efforts pour maintenir un bon score environnemental pour les SdCi sont donc profitables.

5.2. Confrontation des résultats avec les autres évaluations

Ces trois SdCi ont déjà fait l'objet d'une évaluation multicritère à mi-parcours du projet entre 2014 et 2015. Les données et les paramètres n'étaient pas les mêmes mais il est tout de même intéressant d'observer si les conclusions sont proches.

Concernant le SdCi Kerg int, le score maximal pour les dimensions sociale et économique a été obtenu (Lesenn, 2015), alors que la dimension environnementale était jugée comme

faible. Cela diffère en partie des conclusions de ce rapport qui classe la dimension sociale un niveau en dessous et la dimension environnementale comme moyenne.

Comme dans cette étude, Bourigault (2014) conclut que Crécom a un meilleur score pour les dimensions économique et social par rapport à l'environnemental. Cependant, les notes sont plus élevées d'un niveau par rapport aux résultats de cette étude.

Dans le rapport de Salou (2015) le SdCi Bio est classé « très élevé » pour la dimension économique et environnementale et « élevé » dans la sociale, ce qui garde la même structure que dans ce rapport mais là encore avec un niveau supérieur.

Pour résumer, malgré des différences avec ces études, les résultats restent cohérents avec les précédentes observations.

Les précédentes études portant sur l'évaluation de ces systèmes par une approche pluri-critère arrivent également à la conclusion que les SdCi sont améliorés sur la plupart des critères que le système de référence breton (Bouard, 2017 ; Loaec 2017 ; Le Botlan, 2018).

5.3. Mise en relation des résultats avec les pratiques et axes d'améliorations

L'étude des critères en lien avec les pratiques a mis en avant la difficulté d'améliorer un SdC : beaucoup de pratiques entraînent à la fois l'amélioration de certains critères et la dégradation d'autres. Ce n'est cependant pas une fatalité car il est possible de trouver des alternatives : pour augmenter la diversité des familles cultivées sans pénaliser le temps de veille technico-économique il est possible d'introduire plus d'espèces dans les couverts sans modifier la rotation. Dans la même idée, pour le cas du SdCi Crécom, au lieu d'augmenter la fertilité phospho-potassique du sol par une fertilisation importante (conduisant à une mauvaise maîtrise des pertes de phosphore), il est possible de favoriser le recyclage des résidus de cultures en n'exportant plus les pailles. Il est également possible de chercher des moyens de compenser les effets délétères de certaines pratiques : en gardant l'exemple précédent, incorporer les fertilisants lors du semis réduirait fortement le risque de perte de P sans baisser l'apport.

Il y a également certaines pratiques qui ne sont liées qu'à des effets négatifs, telle que la faible diversité des périodes d'implantation dans le SdCi Crécom qui conduit à une mauvaise diversité floristique, ou encore la sensibilité des variétés de céréales au risque mycotoxine qui fait baisser la qualité sanitaire des produits des trois SdCi. Modifier ces pratiques serait donc une priorité.

Enfin, pour tous les SdCi il existe certaines pratiques qui n'ont pas été mises en place telle que l'implantation d'un mélange multi-espèces en bords de champs, qui pourrait améliorer la contribution à la dimension environnementale sans pénaliser d'autres critères.

D'autres propositions peuvent s'ajouter à ces axes d'amélioration reposant uniquement sur les conclusions de MASC. En effet, les observations de terrains à kerg int ont montrées une

certaine difficulté à maîtriser les adventices bien que le critère associé dans MASC soit jugé bon. Pour cela, l'ajout d'éléments pour travailler mécaniquement sur le rang tel que des doigts en caoutchouc (GECO, 2018) pourrait diminuer la présence des adventices sans augmenter l'IFT. Pour augmenter les effets d'étouffement des adventices, semer les céréales sous couvert (Wezel et al. 2014) ou associer la féverole à des céréales serait envisageable (Corre-Hellou *et al.*, 2011). Ajouter des plantes ayant un effet allélopathique sur la germination ou la croissance des adventices serait également assez innovant mais il y a peu de d'études concluantes à ce sujet et un certain nombre de contraintes techniques : le tournesol présente en effet des résultats encourageants (Leather 1983) mais son implantation est pour l'instant compliquée en Bretagne à cause du climat.

Les observations de terrains ont également mis en avant un risque d'érosion très important pour les parcelles en SdC Bio de par leur pente marquée (supérieure à 5%). La mise en place de techniques reposant sur l'agriculture de conservation (travail du sol réduit, couvert permanent ...) pourrait donc être particulièrement intéressant pour ces parcelles, bien que l'impossibilité d'utiliser un herbicide en AB augmente le risque de perte de contrôle de la flore adventice (Farooq M. et Siddique K.,2015).

5.4. Limites de la méthode

5.4.1. Limites des essais et des références :

Malgré la présence de tous les termes de la rotation dans l'assolement, l'absence de répétitions rend plus difficile l'interprétation des résultats. Cet effet, ajouté aux modifications des règles de décision, complexifie encore le processus et limite les interprétations réalisables à partir d'un résultat. De plus, le SdCi Crécom est éloigné géographiquement des deux autres systèmes ce qui fait que certains critères, tel que le rendement, ne sont pas comparables. Enfin, le fait que les systèmes n'aient pas été mis en place au même moment ni dans un objectif de comparaison ne facilite pas la conclusion. Ce problème est majoritairement présent pour le SdCi Bio qui n'est pas encore en fin de rotation (4 ans pris en compte dans cette étude sur les 6 cultures) et ne peut donc pas être analysé par parcelle et dont les résultats moyens semblent moins fiables que pour Kerg int qui est étudié sur 6 ans ou Crécom qui l'est sur 8 ans.

Concernant les systèmes de référence, leurs scores différents dans de nombreux critères questionnent sur leur représentativité. Il a par exemple été observé que BZH obtient un bon classement en termes de perte de fertilisants dans l'environnement alors qu'il s'agit d'une problématique prédominante en Bretagne, cette différence est sans doute due à une sous-estimation de la quantité de fertilisants réellement appliquée en Bretagne.

5.4.2. Limites de la méthode CRITER-MASC

L'utilisation de données qualitatives permet d'agréger un grand nombre de critères de natures différentes mais elle entraîne inmanquablement une modification de l'information : selon le seuil fixé, les conclusions peuvent être très différentes et toute notion de différence significative ou non est perdue, surtout pour les critères n'ayant que 3 classes différentes.

L'abondance des critères peut également être critiquable car elle entraîne une perte de sensibilité de l'agrégation et rend plus difficile l'obtention d'un score extrême (baisse de la capacité discriminante de l'outil). Dans le cas de MASC, il y a également la présence de critères fortement corrélés positivement (effet du travail du sol et régénération mécanique de la structure) ou négativement (maîtrise des adventices et abondance floristique), qui complexifient l'analyse et l'identification des pratiques à changer ou maintenir.

Cette analyse est compliquée par l'impossibilité d'incorporer des valeurs *a posteriori* de l'effet de certaines pratiques : les critères nommés « maîtrise », « effet » ou qui semble être une quantification (« abondance », « diversité »...) ne sont en réalité que des effets supposés de certaines pratiques dans un contexte initial. Cela conduit par exemple à considérer que la maîtrise des adventices est meilleure dans le SdCi Kerg int que dans le SdCi Crécom alors que ce n'est pas ce qui est observé. De plus ces conclusions pourraient être discutables car elles dépendent du contexte et de l'échelle de temps, comme c'est le cas pour l'effet du labour : il est considéré positif pour maîtriser l'état structural du sol alors que la littérature souligne les effets positifs du non labour et ceux négatif du labour, qui a tendance à compacter le sol (Bronick and Lal, 2005).

Enfin, pouvoir adapter MASC aux objectifs et aux contraintes spécifiques du SdC évalué est à la fois une force et une faiblesse : la conclusion « absolue » qui en est tirée répond mieux à une problématique mais les conclusions comparatives deviennent beaucoup plus complexes. L'utilité de cet outil dans un but de comparaison avec les différents SdC évalués dans le RMT SdC est donc questionnable.

6. Conclusion

L'objectif de cette étude était de déterminer à l'aide de l'outil MASC si les leviers agronomiques mis en place dans trois SdCi grande culture en Bretagne (deux intégrés et un en agriculture biologique) permettaient d'améliorer la contribution au développement durable par rapport à des systèmes de référence dans un contexte comparable. Elle avait également pour objectif de déterminer si l'évolution des règles de décisions et des changements environnementaux (parcelle et année) était source de variations dans l'analyse MASC.

Les résultats mettent en évidence des différences pour un même SdCi, que l'analyse soit réalisée par parcelle ou par année. Le SdCi bio s'améliore légèrement sur les dernières années. Le SdCi kerg int présente des variations majeures par parcelle et par année (changement de classe pour la contribution au développement durable) avec une tendance à l'amélioration. Le SdCi Crécom présente également des variations majeures par parcelle et par année mais la tendance à l'amélioration est trop faible pour permettre une conclusion.

L'étude des trois SdCi en comparaison d'un système de référence indique qu'il est possible d'améliorer la contribution au développement durable. La source de cette amélioration se trouve au niveau de la dimension environnementale pour le SdCi Bio, de celle sociale pour le SdCi Crécom et de celles économique et sociale pour le SdCi Kerg int. Etant donné les objectifs assignés à l'environnement lors de la conception de ces SdCi, cela signifie que les leviers agronomiques mis en place n'ont pas tout à fait atteints leurs objectifs et qu'il existe toujours des axes d'amélioration : certains leviers agronomiques pourraient encore être mobilisés (gestion différenciée des bords de parcelles par exemple) et ceux mis en place optimisés (incorporation des fertilisants organiques et augmentation de la diversité des familles utilisées en couvert).

Ces SdCi sont maintenant à la dernière phase de l'approche système : produire des références utilisables par les agriculteurs et leurs conseillers. Il se placeront en support d'échange et seront communiqués par de nombreux moyens tel que des articles, formations, journées techniques, actions bassin versants, etc...

Pour la suite du plan Ecophyto, d'autres SdCi sont en préparation : un SdC biologique (avec objectif de limiter le temps de travail et plus performant agronomiquement), un SdC agroécologique (objectif de diminution de l'IFT de -75%) et un SdC de « référence 2025 » (baisse de l'IFT de -50% en maintenant une rotation maïs-blé) (Angot, 2018). Ces SdC ne présenteront pas certaines des limites identifiées ici : ils seront tous situés à Kerguéhennec et débiteront en même temps, facilitant ainsi les prochaines évaluations.

7. Bibliographie

Articles, livres, rapports

- Agreste, 2011a. La demande alimentaire en 2050 : chiffres, incertitudes et marges de manœuvre. Dans : Les publications du service de la statistique et de la prospective. Analyse N°27. 4p
- Agreste, 2011b. Les indicateurs de fréquence de traitement (IFT) en 2011. Dans : Agreste Les Dossier. n°18. pp 5-9
- Agreste Bourgogne, 2013. Les traitements phytosanitaires sur grandes cultures en 2011 : la Bourgogne dans la moyenne. N°155, 6p
- Agreste Bretagne, DRAFF, 2016. Tableaux de l'agriculture Bretonne. Qualité de l'eau. pp38-49
- Angot J., 2018, Co-conception et évaluation ex ante de 3 systèmes de cultures agro écologiques, permettant une réduction forte des usages de produits phytosanitaires, en Bretagne. Chambre d'agriculture de Bretagne, communication interne.
- Arthur B. 1989. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *Econ J* 99(394): pp116–131. doi:10.2307/2234208.
- Bourigault A.L., 2014. Evaluation des résultats et performances de systèmes de culture économes en intrants en production porcine, en Bretagne. Agrocampus Ouest, 24p.
- Bouard, F., 2017. Evaluation des performances de trois systèmes de culture innovants conduits en Bretagne entre 2012 et 2016. Agrocampus Ouest, Rennes, 25p
- Carpani M., Bergez J.-E., et Monod H., 2012. Sensitivity analysis of a hierarchical qualitative model for sustainability assessment of cropping systems. Dans : *Environmental Modelling & Software*. 1 janvier 2012. Vol. 27-28, p. 15-22. Doi : 10.1016/j.envsoft.2011.10.002.
- Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto, 2017. Réseau DEPHY EXPE - Présentation des PROJETS et des SITES dans la filière Grandes cultures, Polyculture-élevage – Recueil de fiches descriptives, 291p.
- Cerf M., 1996. Approche cognitive des pratiques agricoles : intérêts et limites pour les agronomes, *Natures Sciences Sociétés* 4, 4, pp327-339.
Dans : Meynard, J.M. 2012. La reconception est en marche ! - Conclusion au Colloque « Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former ». *Innovations Agronomiques* (20). pp. 143-153.
- Chambre d'agriculture de Bretagne, Avril 2012. Concilier durabilité économique, sociale et environnementale. Concevoir des Systèmes de Culture économes en intrants (SdC). 3p
- Chambre d'agriculture de Bretagne, 2017. ABC : Agriculture et Agroalimentaire de Bretagne en Clair. pp7
- Cinelli, Marco, Stuart R. . Coles, et Kerry Kirwan. 2014. « Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment ». *Ecological Indicators* 46 (novembre): pp138-48. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.06.011.
- Commission mondiale sur l'environnement et le développement. 1987. Rapport Brundtland – Notre avenir à tous. pp 40.
- Corre-Hellou, G., Dibet, A., Hauggaard-Nielsen, H., Crozat, Y., Gooding, M., Ambus, P., Dahlmann, C., von Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., Jensen, E.S., 2011. The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N. pp264-272. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.04.004
- 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
- Cros-Cayot, S., 1996, Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant. Contexte Armoricaïn, thèse de doctorat, Sciences de l'environnement, Rennes, 223 p.
- Cuma Bourgogne Franche-Comté, 2017. Barème d'entraide 2017-2018. 48p

- Debaeke, Philippe, Nicolas Munier-Jolain, Michel Bertrand, Laurence Guichard, Jean-Marie Nolot, Vincent Faloya, et Patrick Saulas. 2009. « Iterative Design and Evaluation of Rule-Based Cropping Systems: Methodology and Case Studies - A Review ». In *Sustainable Agriculture*, 707-24. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8_43.
- DREAL Bretagne, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement BRETAGNE, 2015. Bilan annule 2015, L'eau en Bretagne. [en ligne] http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/eau_en_bretagne_2015_web.pdf (consulté le 07 mars 2018)
- Farooq M., Siddique K. (2015) Conservation Agriculture: Concepts, Brief History, and Impacts on Agricultural Systems. Dans: Farooq M., Siddique K. (eds) *Conservation Agriculture*. Springer, 665p. DOI: 10.1007/978-3-319-11620-4_1
- Emonet E., Rougier M., Pillet E., 2016. Réseau DEPHY EXPE : Synthèse des résultats à mi-parcours à l'échelle nationale - filière Grandes Cultures – Polyculture Elevage. Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto, 92p.
- Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.H., Meynard, J.M., Reau, R., Savini, I. 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cah. Agric.*26, 14002. 12p. DOI: 10.1051/cagri/2017004
- Guillossou E., 2013 Expérimentation et évaluation de systèmes de culture économes en intrants en production porcine en Bretagne. Agrocampus Ouest, Rennes, 27p
- 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. 119 p.
- Herpin, P., 2009. Evaluation multicritère de systèmes de culture innovants et durables, dans le contexte de l'agriculture bretonne, à l'aide de l'outil MASC. Clermont-Ferrand. 40p.
- Hirschy M., Ravier C., Lorin M. (2015). CRITER 5.4. Un outil de caractérisation des performances de systèmes de culture. Manuel d'utilisateur. 139p.
- Ikerd, John E. 1993. « The need for a system approach to sustainable agriculture ». *Agriculture, Ecosystems & Environment, Agriculture and the environment*, 46 (1): pp 147-60. DOI: 10.1016/0167-8809(93)90020-P.
- Lairez J., Feschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I., 2015. Guide pour l'évaluation multicritère. *Sciences en partage, Quae*. pp. 27-29. isbn : 978-2-7592-2439-5
- Le Bissonnais, Yves & Thorette, Jacques & Bardet, Cécile & Daroussin, Joël & , Sigmap. (2002). L'érosion hydrique des sols en France. p52.
- Le Botlan J., 2018. Evaluation des performances de trois systèmes de culture innovants en grande culture conduits en Bretagne de 2013 à 2017. Agrocampus Ouest, Rennes, 23p.
- Leather, Gerald R. 1983. Sunflowers (*Helianthus Annuus*) Are Allelopathic to Weeds. *Weed Science* 31 (1): pp37-42. DOI: 10.1017/S004317450006851X.
- Lesenne, Vincent. 2015. Evaluation de la durabilité d'un système de culture innovant en région d'élevage. LaSalle, Beauvais, 63p
- Lewis, W. J., J. C. van Lenteren, Sharad C. Phatak, et J. H. Tumlinson. 1997. A Total System Approach to Sustainable Pest Management ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94 (23): pp12243-48.
- Loaec, M.A., 2017. Evaluation de la robustesse de trios systems de culture innovants Bretons entre 2013 et 2016. Agrocampus Ouest. 27p.
- Lucas R., Le Goff M., Savelli E., Lemerrier B., Berthier L., Corson M., Cluzeau D, Langlais A., Coll T., Chahine F., Le Roux V., Vincent S., 2015. Sol en Bretagne. GIP Bretagne environnement, Dossier N°9
- Meynard, J.M. 2012. La reconception est en marche ! - Conclusion au Colloque « Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former ». *Innovations Agronomiques* (20). pp. 143-153.
- Observatoire national du suicide, Novembre 2014. Suicide, état des lieux des connaissances et perspectives de recherche. Fiche 7. pp162-166. ISBN : 978-2-11-138966-3

- Panaget, T., 2004 Direction Régional de l'Action Sanitaire et Sociale de Bretagne, Eaux et rivières de Bretagne Colloque régional, Quimperlé. pp15-2
- Pervanchon, F., Blouet, A., 2002. Lexique des qualificatifs de l'agriculture. Courriers de l'environnement de l'INRA, n°45, pp117-136
- Reau, R., Doré, T. 2008. Systèmes de culture innovants et durables - Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer? Transversales. Educagri. 175 p. ISBN: 978-2-84444-685-5.
- 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 Agronomiques20, pp5-33.
- Règlement (CE) n° 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n° 2092/91. 2007. OJ L. Vol. 189.
- RMT SdCi, 2014. Systèmes de culture et Agriculteurs Innovants en transition vers l'Agroécologie, Projet 2014-2018, 60p
- Salou V., 2015. Evaluation des performances et de la durabilité d'un système de culture innovant en agriculture biologique. Agrocampus Ouest, Rennes, 25p.
- Wezel, Alexander, Marion Casagrande, Florian Celette, Jean-François Vian, Aurélie Ferrer, et Joséphine Peigné. 2014. « Agroecological Practices for Sustainable Agriculture. A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 34 (1): pp1-20. DOI: 10.1007/s13593-013-0180-7.

Sites internet et autres

- Agreste Bretagne, DRAFF, 2014. Tableaux de l'agriculture Bretonne. Qualité de l'eau, pp42 [en ligne] <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R5315A07.pdf> (consulté le 10 avril 2018)
- APCA-Chambre d'agriculture France, 2017. Coûts prévisionnels indicatifs 2017 des matériels agricoles, Département de la Marne.. [en ligne] http://www.marne.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/047_Inst_Marne/RUB_Gestion/Bareme_entraide_2017_Marne.pdf (consulté le 12 mars 2018)
- Direction de l'information légale et administrative, 2018. Service-Public.fr, Durée du travail d'un salarié à temps plein. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F1911> (Consulté le 15 mai 2018)
- DREAL Bretagne, Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Bretagne, Novembre 2017. Dossier de concertation préalable. [en ligne] http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/6epadn_dossier_concertation_vd.pdf (Consulté le 07 mars 2018)
- GECO, 2018. Pratiques le désherbage mécanique sur le rang-bineuse à doigts ou moulinets. Ecophyto pic. [en ligne]. http://geco.ecophytopic.fr/concept/-/concept/voir/http%253A%252F%252Fwww%252Egeco%252Eecophytopic%252Efr%252Fgeco%252Fconcept%252FPratiquer_Le_Desherbage_Mecanique_-_Bineuse_Kress (Consulté le 2 juillet 2018)
- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2015. Fiches explicatives sur le verdissement de la PAC. alim'agri [en ligne] <http://agriculture.gouv.fr/fiches-explicatives-sur-le-verdissement-de-la-pac> (Consulté le 02 mars 2018, mis à jour le 12/05/2015)
- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2018. DEPHY EXPE. Alim'agri [en ligne] <http://agriculture.gouv.fr/dephy-expe> (consulté le 07 mars 2018, mis à jour le 06/03/2018)
- MSA, 27 février 2018. Population des non-salariés agricoles. Info Stat. Bobigny. [en ligne] <http://statistiques.msa.fr/wp-content/uploads/2018/02/Infostat-CE-2017.pdf> (consulté le 07 mars 2018)
- PLAGE, 2014. Aide au choix ERYTAGE. [en ligne] plage-evaluation.fr/erytage-aideauchoix/ (consulté le 07 mars 2018)

8. Annexes :

Annexe I : ITK synthétisé des différents SdC :

ITK synthétisé du SDC Crécom (Bouard, 2017) :

	Maïs grain (objectif de rendement : 79 q/ha)	Blé tendre d'hiver (objectif de rendement : 75 q/ha)	Coiza (objectif de rendement : 34 q/ha)	Triticale d'hiver (objectif de rendement : 74 q/ha)
Interculture	Déchaumage (déchaumeur pattes d'oie) : 2 ans/4 (mi-août) Semis combiné (avec rota-labour) : Avoine (120 kg/ha, 1 an/4), Phacélie (7 kg/ha, 2 ans/4), Mélange (20 kg/ha, 1 an/4) (fin août/mi-sept.) Déchaumage (déch. pattes d'oie) : 4 ans/4 (1-2 L, post-ferti.) Labour à 20 cm : 4 ans/4 (avril)	Déchaumage (déch. pattes d'oie) : 4 ans/4 (mi-août) Labour à 20 cm : 4 ans/4 (début/mi-nov.) Semis combiné (semoir maïs pneumatique + rota-labour) : variétés Barok + Azzerti (2 ans/4), Fluor + Rubisko + Barok + Malhéo (1 an/4), Fluor + Fructidor + Grapeli (1 an/4) (230 gr/m²) (même jour que labour) 1 ou 2 apport(s) Ammonitrate (33,5% N) : 60,5 uN (4 ans/4) (maïs-avril), 48 uN (3 ans/4) (20-1 mois après 2e ferti.) 1 apport Lisier de porc : 36,5 m3/ha, 4 ans/4 (20 post-1ère ferti.)	Déchaumage (déch. pattes d'oie) : 4 ans/4 (mi-août) Labour à 20 cm : 4 ans/4 (1 à 3 post-ferti.) Semis combiné (avec rota-labour) : variétés Hardi (95%) + ES Alicia (5%) (3 ans/4), Hourra (1 an/4) (1,9 kg/ha) (même jour/3 après labour) 1 apport Fumier de porc : 20,98 T/ha ; 4 ans/4 (fin août) 1 apport Ammonitrate (33,5% N) : 44 uN ; 3 ans/4 (maïs)	3 Faux-semis (1 an/4) (mi-août puis pas de temps de 1 mois, 15j), 1 Faux-semis (2 ans/4) (sept.-oct.) (déch. pattes d'oie) Semis combiné (avec rota-labour) : Moutarde blanche (8 kg/ha) ; 2 ans/4 (fin août) Labour à 20 cm : 4 ans/4 (fin oct./début nov.) Prépa. du sol (tillier avant) : 2 ans/4 (jour du semis combiné (avec rota-labour) : variétés Orval (220 gr/m²) (3 ans/4), Yuka (250 gr/m²) (1 an/4) (même jour que labour) 1 ou 2 apport(s) Ammonitrate (33,5% N) : 52 uN (3 ans/4) (début mars), 35 uN (2 ans/4) (1 mois après 2e fertilisation) 1 apport Lisier de porc : 35,2 m3/ha ; 4 ans/4 (20 post-1ère ferti.)
Préparation du sol et semis	Labour à 20 cm : 4 ans/4 (avril)	Labour à 20 cm : 4 ans/4 (début/mi-nov.)	Labour à 20 cm : 4 ans/4 (1 à 3 post-ferti.)	Labour à 20 cm : 4 ans/4 (fin oct./début nov.) Prépa. du sol (tillier avant) : 2 ans/4 (jour du semis combiné (avec rota-labour) : variétés Orval (220 gr/m²) (3 ans/4), Yuka (250 gr/m²) (1 an/4) (même jour que labour) 1 ou 2 apport(s) Ammonitrate (33,5% N) : 52 uN (3 ans/4) (début mars), 35 uN (2 ans/4) (1 mois après 2e fertilisation) 1 apport Lisier de porc : 35,2 m3/ha ; 4 ans/4 (20 post-1ère ferti.)
Fertilisation	1 apport Fumier de porc : 19,72 T/ha ; 4 ans/4 (mars)	1 apport Lisier de porc : 36,5 m3/ha, 4 ans/4 (20 post-1ère ferti.)	1 apport Fumier de porc : 20,98 T/ha ; 4 ans/4 (fin août) 1 apport Ammonitrate (33,5% N) : 44 uN ; 3 ans/4 (maïs)	1 ou 2 apport(s) Ammonitrate (33,5% N) : 52 uN (3 ans/4) (début mars), 35 uN (2 ans/4) (1 mois après 2e fertilisation) 1 apport Lisier de porc : 35,2 m3/ha ; 4 ans/4 (20 post-1ère ferti.)
Désherbage mécanique	Binage : 4 ans/4 (fin juin)	Hersage : 2 ans/4 (début mars)	Hersage : 2 ans/4 (maïs-avril)	Hersage : 1 an/4 (début mars)
Désherbage mixte	Callisto 0,16 L/ha + Nissshin Premium 6 OD 0,08 L/ha + Amzer 0,2 L/ha + Cantor (adj.) 0,04 L/ha : 2 ans/4 (fin mai/début juin) Callisto 0,2 L/ha + Nissshin Premium 6 OD 0,1 L/ha + Amzer 0,2 L/ha + Cantor (adj.) 0,1 L/ha : 2 ans/4 (fin mai/début juin)	Allié Express 31 g/ha : 1 an/4 (maïs-avril) Biscoto 0,7 L/ha + Cantor (adj.) 0,1 L/ha : 1 an/4 (maïs-avril) Aligator 15 g/ha + Biscoto 0,35 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (maïs-avril) Biscoto 0,75 L/ha : 1 an/4 (maïs-avril)	Novall 1,9 L/ha : 1 an/4 (sept.) Alabama 1,8 L/ha : 3 ans/4 (sept.) Ogive 0,35 L/ha : 1 an/4 (oct.) - <i>ratrappage folie avoine + repousses de blé</i> Foly R 0,5 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,18 L/ha : 2 ans/4 (oct.) - <i>ratrappage folie avoine</i>	Biscoto 0,75 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin janv.) Kalao D+ 0,9 L/ha + Aligator 15 g/ha : 1 an/4 (fin mars) - <i>véronique</i> Kalao D+ 0,9 L/ha + Aligator 20 g/ha + Alobes 60 g/ha : 1 an/4 (fin mars) - <i>véronique</i> Aligator 15 g/ha + Biscoto 0,35 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin mars) Starane gold 1 L/ha : 1 an/4 (fin avril) - <i>ratrappage (gailliet, rumex)</i> Aligator 20 g/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin avril)
Traitements phytosanitaires adventices	Abacus Sp 0,7 L/ha + Sportak Ew 0,4 L/ha : 1 an/4 (début mai) - <i>rouille jaune</i> Cherokee 0,8 L/ha : 1 an/4 (début mai) - <i>rouille brune</i> Etiage 0,6 L/ha : 1 an/4 (fin mai) Abacus Sp 0,6 L/ha : 1 an/4 (fin mai) - <i>rouille jaune</i> Aviator Xpro 0,5 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L : 1 an/4 (début juin) - <i>septoriose</i> Kestrel 0,4 L/ha : 2 ans/4 (début juin) - <i>septoriose</i>	Contans WG 2 kg/ha (fongicide de biocontrôle) : 1 an/4 (3 post-labour) Prosaro 0,55 L/ha : 1 an/4 (avril-mai) - <i>alternaria</i> Pictor pro 0,4 L/ha : 1 an/4 (avril-mai) Joso 0,44 L/ha : 2 ans/4 (avril-mai)	Starane gold 1 L/ha : 1 an/4 (fin avril) - <i>ratrappage (gailliet, rumex)</i> Aligator 20 g/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin avril) Korema 1 L/ha : 1 an/4 (fin avril) - <i>rouille</i> Etiage 0,56 L/ha + Cherokee 0,8 L/ha : 1 an/4 (fin avril) - <i>septoriose</i> Etiage 0,56 L/ha : 2 ans/4 (mai) - <i>rouille brune</i> Aviator Xpro 0,4 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin mai) - <i>septoriose</i> Kestrel 0,5 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin mai) - <i>oidium</i> Kestrel 0,3 L/ha : 1 an/4 (début juin) - <i>oidium, rouille</i>	Starane gold 1 L/ha : 1 an/4 (fin avril) - <i>ratrappage (gailliet, rumex)</i> Aligator 20 g/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin avril) Korema 1 L/ha : 1 an/4 (fin avril) - <i>rouille</i> Etiage 0,56 L/ha + Cherokee 0,8 L/ha : 1 an/4 (fin avril) - <i>septoriose</i> Etiage 0,56 L/ha : 2 ans/4 (mai) - <i>rouille brune</i> Aviator Xpro 0,4 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin mai) - <i>septoriose</i> Kestrel 0,5 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L/ha : 1 an/4 (fin mai) - <i>oidium</i> Kestrel 0,3 L/ha : 1 an/4 (début juin) - <i>oidium, rouille</i>
Traitements phytosanitaires maladies	Abacus Sp 0,7 L/ha + Sportak Ew 0,4 L/ha : 1 an/4 (début mai) - <i>rouille jaune</i> Cherokee 0,8 L/ha : 1 an/4 (début mai) - <i>rouille brune</i> Etiage 0,6 L/ha : 1 an/4 (fin mai) Abacus Sp 0,6 L/ha : 1 an/4 (fin mai) - <i>rouille jaune</i> Aviator Xpro 0,5 L/ha + Cantor (adjuvant) 0,1 L : 1 an/4 (début juin) - <i>septoriose</i> Kestrel 0,4 L/ha : 2 ans/4 (début juin) - <i>septoriose</i>	Décis Protech 0,3 L/ha : 1 an/4 (fin sept.) - <i>afises</i> Sluux 7 kg/ha (molluscicide de biocontrôle) : 1 an/4 (début oct.) Décis Protech 0,3 L/ha : 3 ans/4 (avril-mai) - <i>afises</i>	Décis Protech 0,3 L/ha : 1 an/4 (fin sept.) - <i>afises</i> Sluux 7 kg/ha (molluscicide de biocontrôle) : 1 an/4 (début oct.) Décis Protech 0,3 L/ha : 3 ans/4 (avril-mai) - <i>afises</i>	Décis Protech 0,3 L/ha : 1 an/4 (fin sept.) - <i>afises</i> Sluux 7 kg/ha (molluscicide de biocontrôle) : 1 an/4 (début oct.) Décis Protech 0,3 L/ha : 3 ans/4 (avril-mai) - <i>afises</i>
Traitements phytosanitaires ravageurs	Moissonneuse + round baller : 69,47 q/ha/an grains (normalisé) + 4,02 T/ha/an paille (exportée) ; 4 ans/4 (début août)	Moissonneuse + round baller : 69,47 q/ha/an grains (normalisé) + 4,02 T/ha/an paille (exportée) ; 4 ans/4 (début août)	Moissonneuse + round baller : 69,47 q/ha/an grains (normalisé) + 4,02 T/ha/an paille (exportée) ; 4 ans/4 (début août)	Moissonneuse + round baller : 69,47 q/ha/an grains (normalisé) + 4,02 T/ha/an paille (exportée) ; 4 ans/4 (début août)
Récolte	Moissonneuse : 81,29 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (nov.)	Moissonneuse : 33,97 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (fin juillet/début août)	Moissonneuse : 33,97 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (fin juillet/début août)	Moissonneuse : 33,97 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (fin juillet/début août)

ITK synthétisé du SdC Kerg int (Bouard, 2017) :

	Maïs grain (objectif de rendement : 83 q/ha) Déchaumage (canadien) : 4 ans/4 (août) Semis combiné (avec herse rotative HR) : Avoine-Phacélie-Radis ou Niger (60-5-2 kg/ha, 2 ans/4), 2 ans/4, Moutarde-Phacélie-Radis (5-5-3 kg/ha, 2 ans/4) (mi-août) Broyage (2 ans/4) ou Déchaumage (cover-crop, canadien) (2 ans/4) (fin mars) Déchaumage (canadien) : 4 ans/4 (jour de fert.) Labour à 20 cm : 2 ans/4 (début mai) Prépa. du sol (vibroculteur ou HR) : 2 ans/4 (0-2j, post-labour)	Blé tendre d'hiver 1 (obj. de rdmt : 68 q/ha) Déchaumage (canadien) : 2 ans/4 (mi-août) Semis combiné (avec HR) : Avoine-Phacélie-Radis ou Niger (60-5-2 kg/ha, 2 ans/4), Moutarde-Phacélie-Radis (5-5-3 kg/ha, 2 ans/4) (mi-août) Broyage (3 ans/4) ou Déchaumage (canadien) (2 ans/4) (mi-mars) Labour à 20 cm : 2 ans/4 (mi-mars) Prépa. du sol (vibroculteur ou HR) : 2 ans/4 (1j, post-labour) Semis (semoir monogr. ou combiné (avec HR)) (2 ans/4 de chq) : variétés Espresso (1 an/4), Fabelle (3 ans/4) (43 gr/m ²) (même jour que prépa. du sol ou labour)	Blé tendre d'hiver 2 (obj. de rdmt : 68 q/ha) Déchaumage (canadien) : 1 an/4 (début sept.) Semis combiné (avec HR) : Moutarde (7 kg/ha, 4 ans/4) (début sept.) Broyage (2 ans/4) ou Déchaumage (canadien) (2 ans/4) (début nov.) Prépa. du sol (canadien) : 2 ans/4 (début nov.) Semis (semoir monogr.) : variétés Kadore (95%) + ES Alicia (2 ans/4), DK Explicit + ES Alicia (1 an/4), DK Exception (1 an/4) (30 gr/m ²) (début sept.) 1 apport Fumier de volailles 4 T/ha, Compost de fumier de volailles 5 T/ha : 2 ans/4 chacun (fin août) 1 apport Ammonitrate (33,5% N) : 33,5 uN (1 an/4 (mi-mars)) Binage : 4 ans/4 (début oct.) + 1 an/4 (fin févr.)	Colza d'hiver (obj. de rdmt : 27 q/ha) Déchaumage (canadien) : 4 ans/4 (jour de 1ere fert.) Labour à 20 cm : 1 an/4 (fin août) Prépa. du sol (HR) : 4 ans/4 (début sept.) Semis (semoir monogr.) : variétés Kadore (95%) + ES Alicia (2 ans/4), DK Explicit + ES Alicia (1 an/4), DK Exception (1 an/4) (30 gr/m ²) (début sept.) 1 apport Fumier de volailles 4 T/ha, Compost de fumier de volailles 5 T/ha : 2 ans/4 chacun (fin août) 1 apport Ammonitrate (33,5% N) : 33,5 uN (1 an/4 (mi-mars)) Binage : 4 ans/4 (début oct.) + 1 an/4 (fin févr.)	Triticale d'hiver (obj. de rdmt : 68 q/ha) Prépa. du sol (déchaumage à disques indépendants) : 1 an/4 (2) post-contans) Semis combiné (avec HR) : Moutarde (6 kg/ha, 1 an/4) (1 semaine post-prépa.) Broyage : 1 an/4 (début nov.) Déchaumage (canadien) : 1 an/4 (début sept.) + 2 ans/4 (début nov.) Labour à 20 cm : 1 an/4 (début nov.)
Interculture					
Préparation du sol et semis					
Fertilisation					
Désherbage mécanique					
Désherbage mixte					
Traitements phytosanitaires : adventices					
Traitements phytosanitaires : maladies					
Récolte					

ITK synthétisé du SdC Bio
(Bouard, 2017) :

	Féverole de printemps (objectif de rendement : 25 q/ha)	Triticale d'hiver (obj. de rdmt : 35 q/ha)	Maïs grain (obj. de rdmt : 62.5 q/ha)	Blé tendre d'hiver - féverole d'hiver (obj. de rdmt : 35 q/ha)	Sarrasin (obj. de rdmt : 15 q/ha)	Triticale d'hiver + pois d'hiver (obj. de rdmt : 35 q/ha)
Interculture	Semis combiné (avec herse rotative HR) : Phacélie- Avoine-Moutarde (4-4-60 kg/ha, 4 ans/4) (début août) Broyage : 4 ans/4 (février-mars) Labour à 20 cm : 4 ans/4 (mi-mars)	Semis combiné (avec HR) : Moutarde (7 kg/ha, 1 an/3) (mi-sept.) Déchaumage (canadien) : 1 an/3 (mi-nov.) Labour à 20 cm : 3 ans/3 (mi-nov.)	Semis combiné (avec HR) : Phacélie- Avoine-Moutarde (4-4-60 kg/ha, 4 ans/4) (début août) Broyage : 4 ans/4 (fin février) Labour à 20 cm : 4 ans/4 (mi-mars/début avril) Reprise (vibroculteur) : 4 ans/4 (même jour que la fertilisation)	Semis combiné (avec HR) : variétés Atlass (blé) + Irena (féverole) (250 + 19 gr/m ²) (4 ans/4) (même jour que le labour)	Semis combiné (avec HR) : Phacélie- Avoine-Moutarde (4-4-60 kg/ha, 4 ans/4) (début août) Broyage : 4 ans/4 (fin février) Labour à 20 cm : 4 ans/4 (début avril) Reprise (vibroculteur) : 4 ans/4 (mi-avril)	Semis combiné (avec HR) : mélange de 3 variétés (triticale) + variété Assas (pois) (300 + 15 gr/m ²) (4 ans/4) (même jour que le labour)
Préparation du sol et semis	Semis combiné (avec HR) : variétés Divine (2 ans/4), Espresso (1 an/4), Fabelle (1 an/4) (55 gr/m ²) (mi-mars) Rappuyage (rouleau) : 3 ans/4 (1 semaine post-semis)	Semis combiné (avec HR) : mélange de 3 variétés (300 gr/m ²) (3 ans/3) (même jour que le labour)	Semis (semoir monograine) : variétés Latki (1 an/4), Borelli (2 ans/4), Buri (1 an/4) (110000 gr/ha) (fin mai) Rappuyage (rouleau) : 4 ans/4 (même jour que le semis) 1 apport Fientes humides de poules 8,1 T/ha : 4 ans/4 (fin avril)	Semis combiné (avec HR) : variétés La Harpe (4 ans/4) (45 kg/ha) (fin mai-début juin) Rappuyage (rouleau) : 4 ans/4 (même jour que le semis)	Semis combiné (avec HR) : mélange de 3 variétés (triticale) + variété Assas (pois) (300 + 15 gr/m ²) (4 ans/4) (même jour que le labour)	
Fertilisation						
Désherbage manuel			Arrachage rumex : 3 ans/4 (juin)		Arrachage rumex : 3 ans/4 (juin)	
Désherbage mécanique			3 Faux-semis (rouleau pour les 2 premiers, puis herse étrille HE ou vibroculteur 2 ans/4 chacun) : 4 ans/4 (fin mars puis 15) d'écart 3 Hersages : 4 ans/4 (fin mai puis 15) d'écart 2 Binages : 4 ans/4 (fin juin, début juillet)	3 Faux-semis (rouleau, rouleau ou vibro. 2 ans/4 chacun, HE 3 ans/4 ou vibro.) : 4 ans/4 (début avril puis 15) d'écart 2 Hersages : 4 ans/4 (mars, début avril, fin avril)	3 Faux-semis (rouleau, rouleau ou vibro. 2 ans/4 chacun, HE 3 ans/4 ou vibro.) : 4 ans/4 (début avril puis 15) d'écart 2 Hersages : 4 ans/4 (mars, début avril)	2 Hersages : 4 ans/4 (mars, début avril)
Récolte	Moissonneuse : 30,25 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (début sept.)	Moissonneuse : 38,33 q/ha (normalisé) ; 3 ans/3 (début août)	Moissonneuse : 61 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (mi-nov.) - broyage des cannes	Moissonneuse : 45,25 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (début août)	Moissonneuse : 11,9 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (début oct.) - broyage des chaumes (1 an/4)	Moissonneuse : 40,5 q/ha (normalisé) ; 4 ans/4 (début août)

ITK synthétisé du SdCBZH:

	Maïs grain (obj. de rdmt : 82 q/ha)	Blé tendre d'hiver (obj. de rdmt : 72 q/ha)
Interculture	semis (avec combiné herse rotative) : moutarde, 7kg/ha) (fin août/début septembre)	
	herbicide (1an/4) (début septembre)	
	Déchaumage (avec Canadien) (début mars)	
préparation du sol et semis	préparation du sol (herse rotative et/ou canadien) (avril)	préparation du sol (Canadien) : 1 an/4 (lorsque pas de labour) (jour du semis)
	labour à 25cm : 3 ans/4 (jour de ferti)	labour à 25cm : 3 ans/4 (lorsque pas de Canadien) (jour du semis)
	semis (avec semoir monograine) : variété Millesim (100 000 gr/m ²) (fin avril)	semis (avec semoir combiné herse rotative) : variété Cellule (200 gr/m ²) (début/mi novembre)
fertilisation	1 apport lisier de porc : 30 m ² /ha (fin avril)	3 apports Ammonitrates (33.5%N) : 90 kg/ha (fin février/début mars) + 215 kg/ha (fin mars/avril) + 90 kg/ha (avril)
régulateur de croissance		C5 : 2 l/ha (2an/4) (mars)
traitements phytosanitaires: adventice	produits variables (entre fin avril/début juin)	produits variables (mars)
traitement phytosanitaires: maladie		produits fongicides variables ; mi avril (4ans/4)+ mai (4ans/4) + début juin(2 ans/4)
traitements phytosanitaires: insecte		Karate Zeon 0.06L/ha ; 1an/4 (mi-juin)
récolte	Moissonneuse : 88 q/ha (début/mi-novembre)	Moissonneuse + round baller : 74 q/ha (début août)

ITK synthétisé du SdC Conventionnel :

	Maïs grain (obj. de rdmt : 80 q/ha)	Blé tendre d'hiver (obj. de rdmt : 83 q/ha)
Interculture	semis (avec combiné herse rotative) : avoine-phacélie-niger : 60-5-3kg/ha (1an/4) ; moutarde 7 kg/ha (3 an/4) (fin août/début septembre)	
	Déchaumage 1 an/2 (avec Canadien ou déchaumeur à disque indépendant) ; broyage 1 an/2 (avec gyrobroyeur) (mars/avril)	
	herbicide (1an/4) (début septembre)	
préparation du sol et semis	préparation du sol (herse rotative et/ou canadien) (avril-mai)	préparation du sol (Canadien) : 1 an/4 (lorsque pas de labour) (jour du semis)
fertilisation	labour à 25cm (jour de ferti)	labour à 25cm : 3 ans/4 (lorsque pas de Canadien) (jour du semis)
	semis (avec semoir monograine) : variété Millesim (95 000 gr/m ²) (début mai)	semis (avec semoir combiné herse rotative) : variété Rubisko (285 000 gr/m ²) (mi novembre)
	1 apport fumier de volaille : 11.3 t/ha (avril)	3 apports Ammonitrates (33.5%N) : 127 kg/ha (début mars) + 300 kg/ha (fin mars/début avril) + 131 kg/ha (mai)
régulateur de croissance	1 apports Ammonitrates (18-46) : 100 kg/ha (1an/2) (avril/mai)	
		Moddus: 0.3 l/ha (1an/4), C5: 2l/ha (2ans/4), Sonis 0.5 l/ha (1an/4) (avril)
traitements phytosanitaires: adventice	Amzer 0.3 l/ha : (3ans/4) ; Auxo : 0.5 l/ha (1an/4) ; Banvel 4S : 0.25 l/ha (1an/4) ; Callisto : 0.3 l/ha (4ans/4) ; Camix 2.5 l/ha (2ans/4) ; Milagro : 0.3 l/ha (4ans/4) ; Peak : 0.006 kg/ha (1an/4) ; Starane gold : 0.3 l/ha (1 an/4) (fin mai/début juillet)	produits variables (mars/avril)
traitements phytosanitaires: maladie		Adexar 0.6 l/ha : 2ans/4 ; Opus : 0.4 l/ha 1an/4 ; Osiris win : 1.2 l/ha 2an/4 ; Prosaro : 0.6 l/ha 3ans/4 ; Sportak ew 0.7 l/ha 1ans/4 (mai/juillet)
traitements phytosanitaires: insecte	-	-
récolte	Moissonneuse : 91 q/ha (fin octobre/début novembre)	Moissonneuse + round baller : 85 q/ha (fin juillet/début août)

Annexe II : Schémas décisionnels des SdCi (Bouard, 2017)

Schémas décisionnels du SdC Bio :

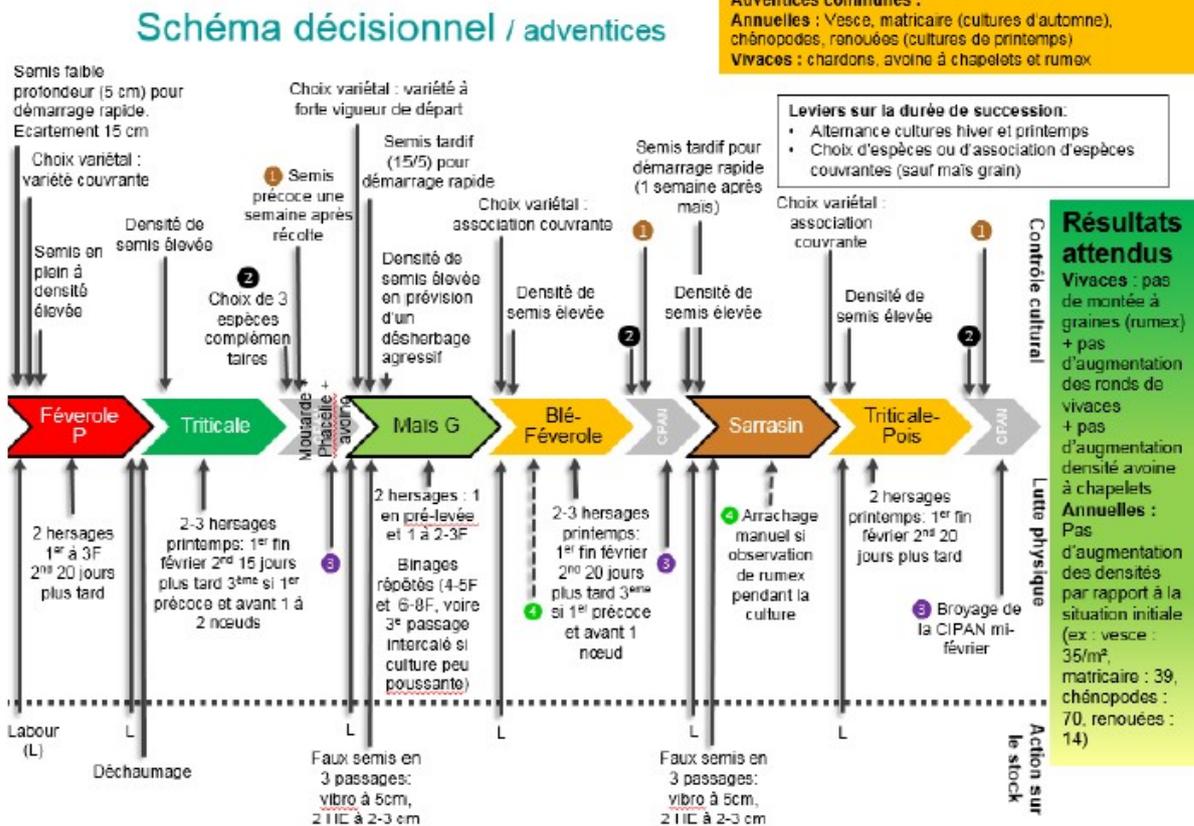


Schéma décisionnel / maladies et ravageurs

- Maladies :**
- Céréales : septoriose, rouille
 - Féverole : rouille, anthracnose, botrytis
- Ravageurs :**
- Limaces,
 - Pucerons, etc.

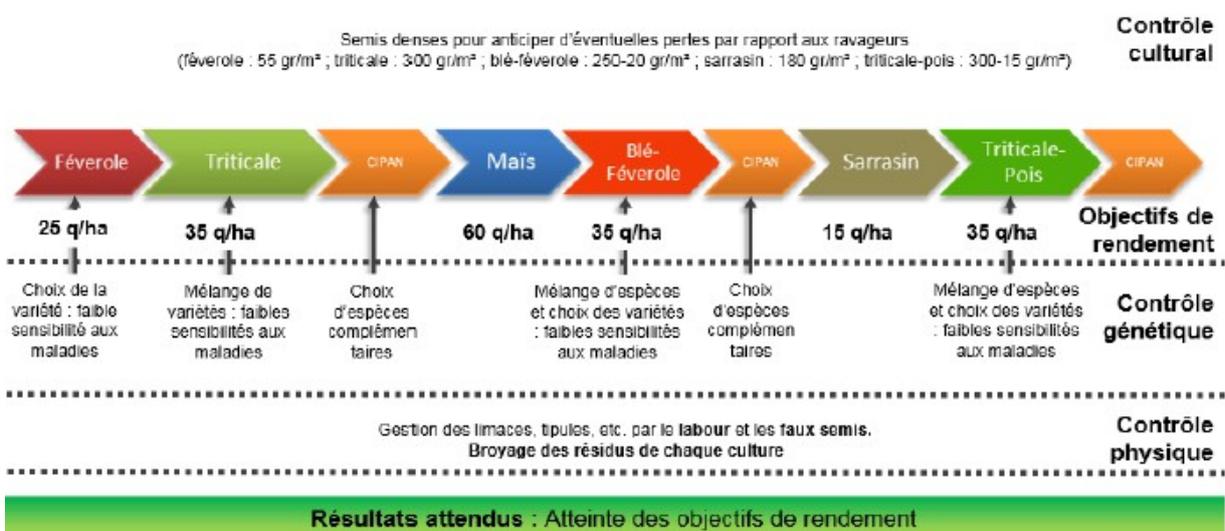
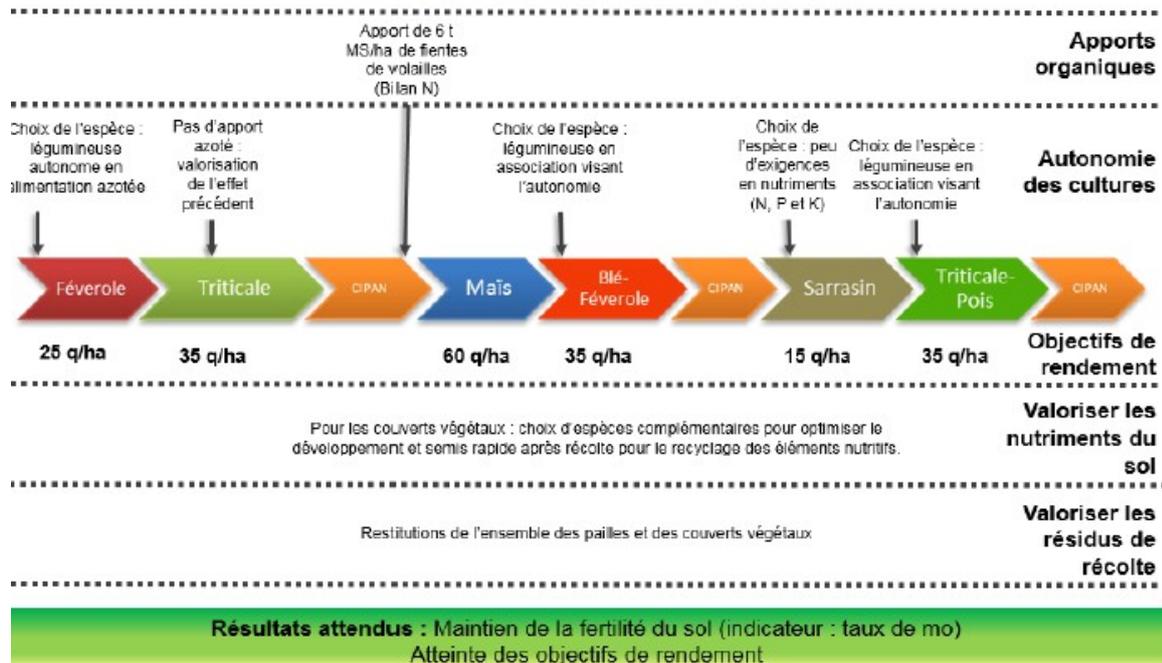


Schéma décisionnel / fertilisation



Schémas décisionnels du SdC Kerg int :

Schéma décisionnel / adventices

Adventices rencontrées :
 Vivaces : Rumex, Chardon, Laiteron, Liseron
 Annuelles : Gaïlet, Véronique, Folle avoine, Pensée,...

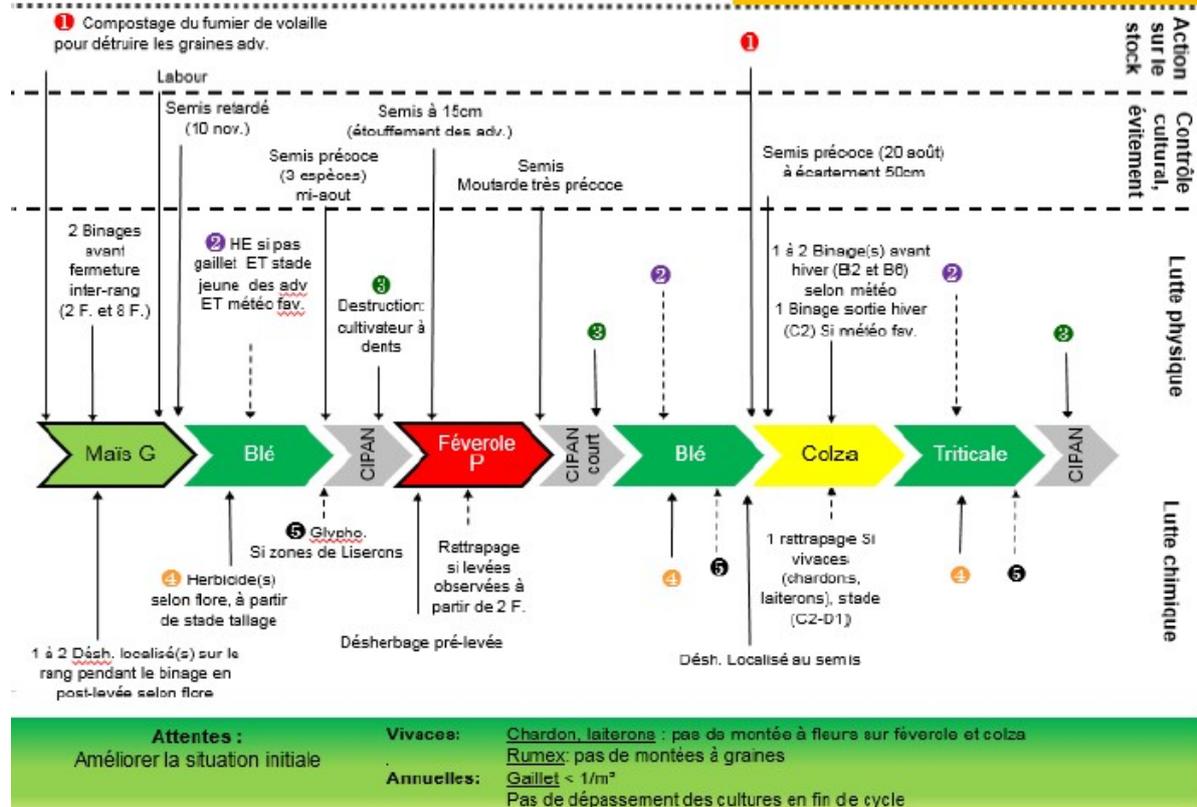
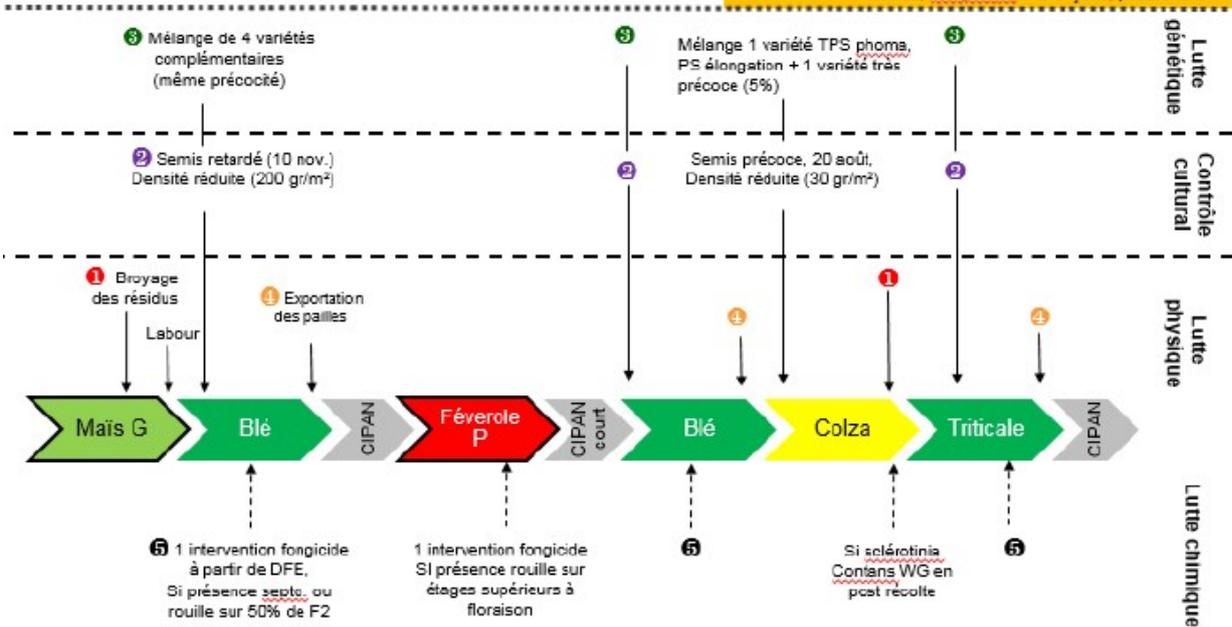


Schéma décisionnel / maladies, ravageurs

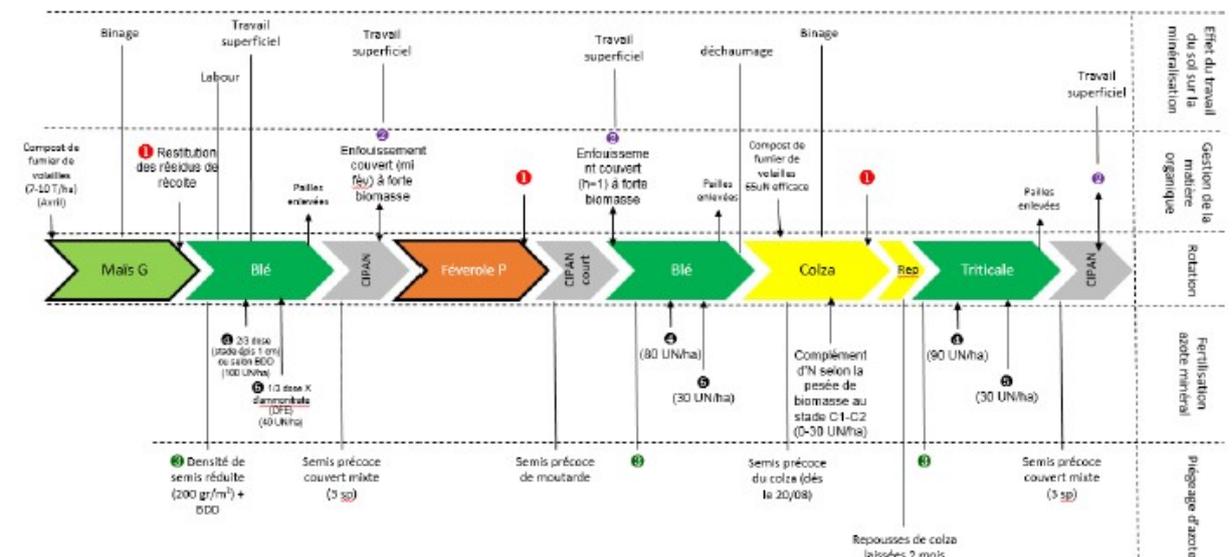
Maladies: - Céréales: septoriose, rouille...
 - Féverole: rouille, anthracose
 - Colza: phoma, sclérotinia
 - Limaces
 Ravageurs: - Altises, méliogèthes, charançons, pucerons...



Attentes :

- Contrôle ravageurs par régulation biologique
- Diminuer usage fongicides (- 50%)
- Supprimer insecticides et anti-limaces
- Dégâts toisés
- Perte de rendements limité (10 %)
- Féverole: grains bruchés accepté (alimentation animale)

Schéma décisionnel / pertes de nitrates



Schémas décisionnels du SdC Crécom :

Schéma décisionnel / adventices

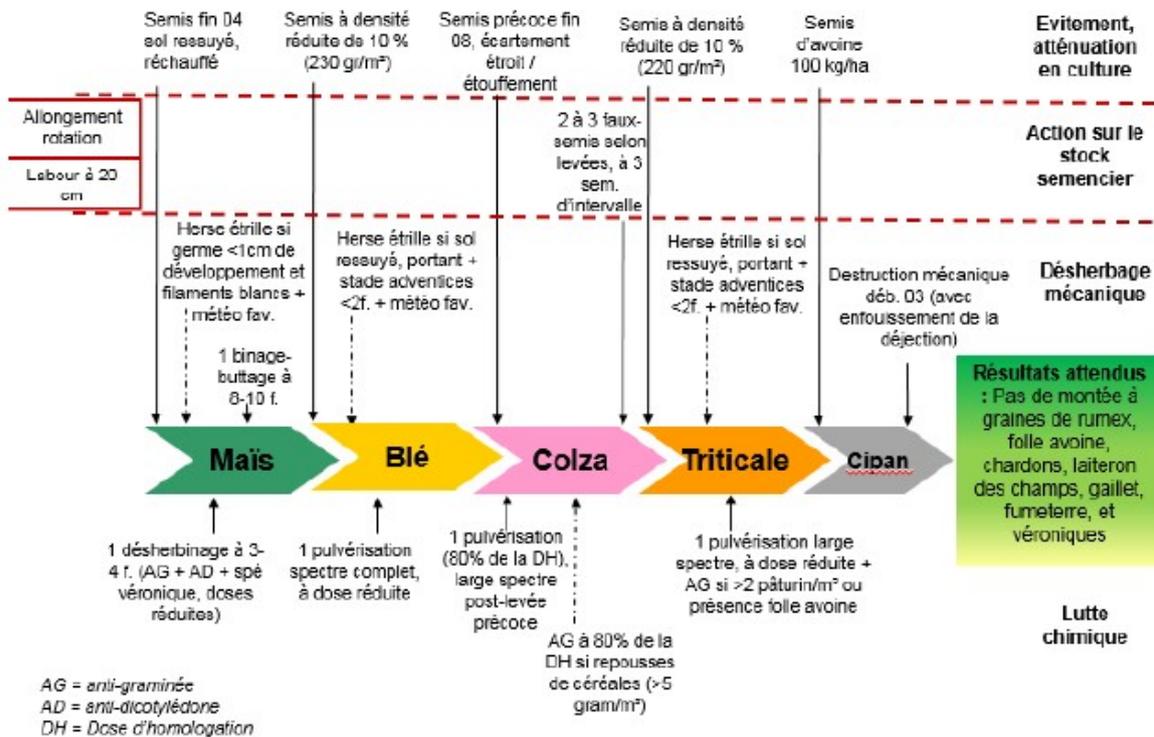


Schéma décisionnel / maladies

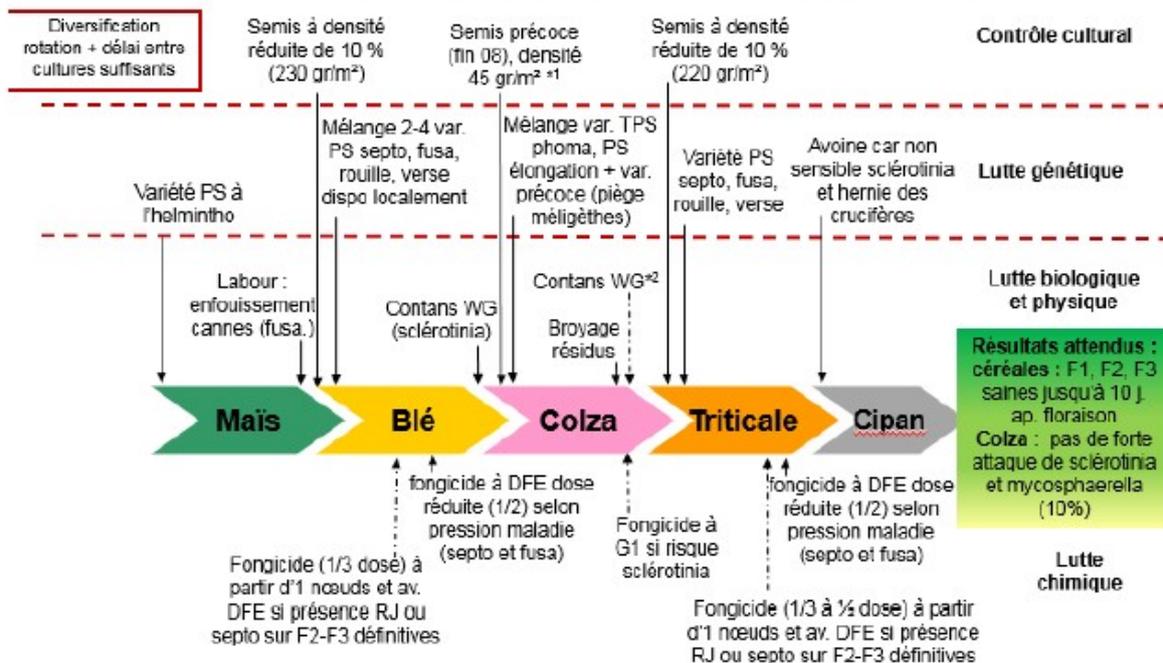


Schéma décisionnel / ravageurs

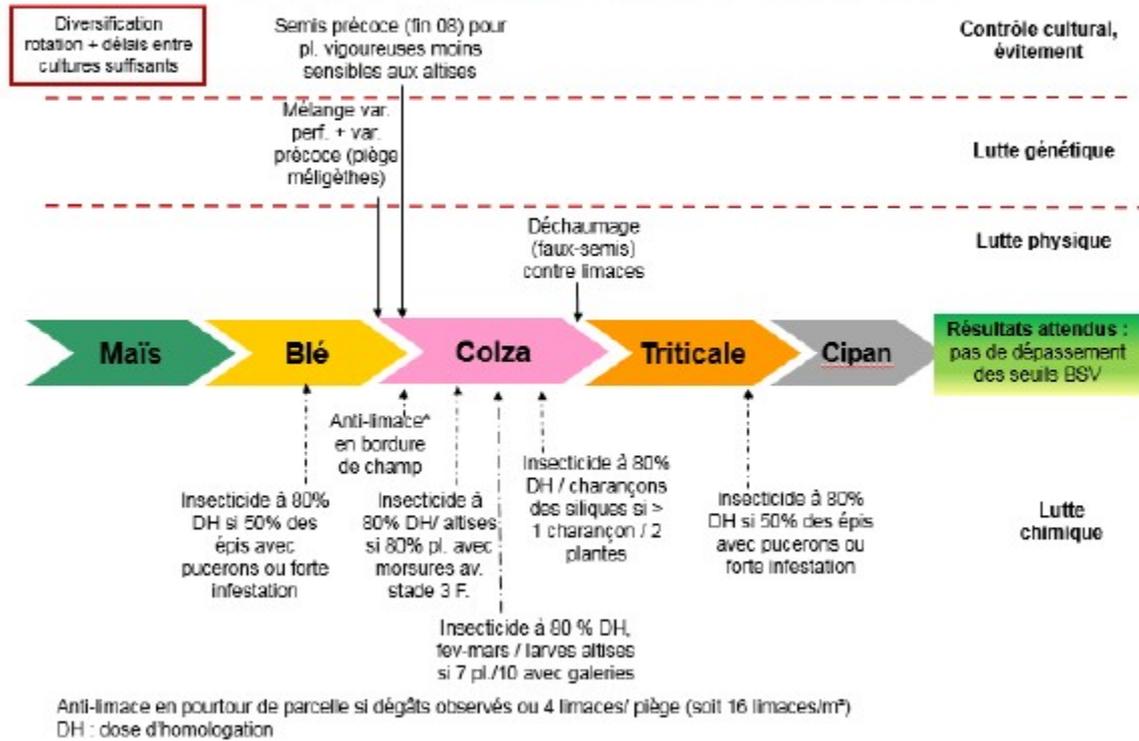
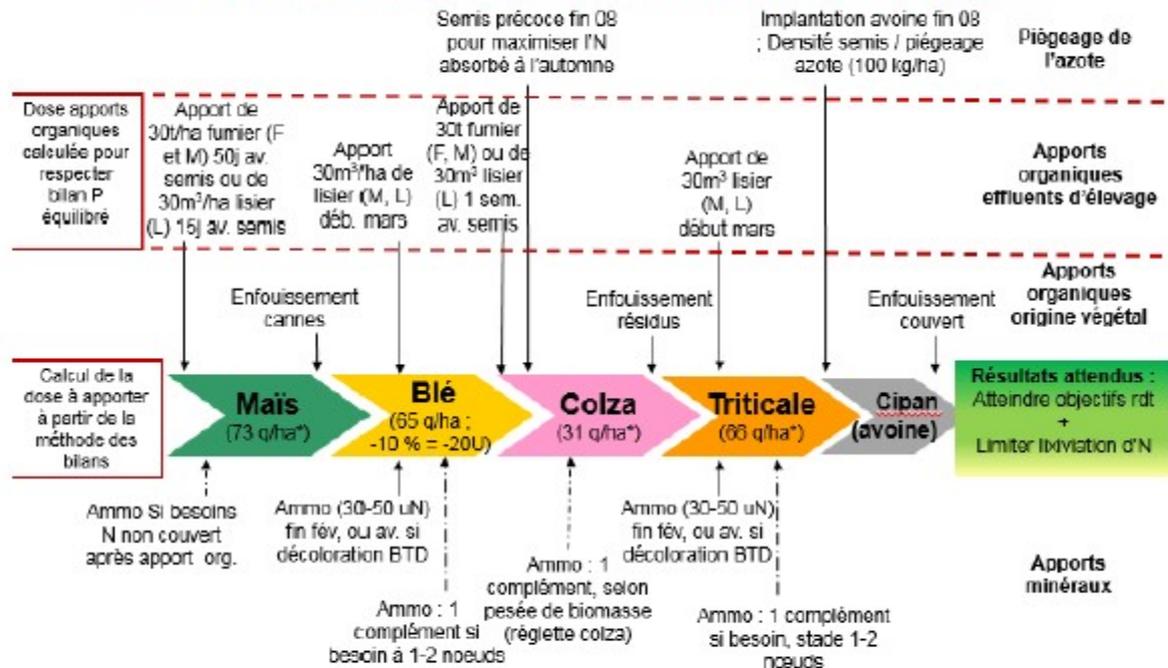


Schéma décisionnel / fertilisation N et P



Fumier : 9,7 kg N_{tot}/t ; 9,66 kg P_{tot}/t
 Lisier (SdC L) : 2,43 kg N_{tot}/m³ ; 1,37 kg P_{tot}/m³
 Lisier (SdC M) : 2,27 kg N_{tot}/m³ ; 1,10 kg P_{tot}/m³

Objectif de rendement = moyenne rdt 5 dernières années en raisonnée - année mini et maxi → moyenne des 3 années médianes

Annexe III : les critères nécessaires à MASC calculés par le logiciel CRITER

Critères de la dimension économique	Critères de la dimension sociale	Critères de la dimension environnementale
Rentabilité	Toxicité phytosanitaire	Consommation énergétique
Indépendance économique	Contribution à l'emploi	Efficienc e énergétique
Efficienc e économique	Fourniture en matière première	Maîtrise du statut organique
Qualité sanitaire	Contribution à l'emploi	Maîtrise des émissions de pesticide dans l'air
	Temps de veille technico-économique	Maitrise des pertes de pesticides dans les eaux profondes
	Complexité des interventions culturales	Maitrise des pertes de pesticides dans les eaux superficielles
		Quantité d'azote lessivée sous forme NO ₃ ⁻
		Quantité d'azote émise sous forme N ₂ O
		Quantité d'azote volatilisé e sous forme NH ₃
		Consommation d'eau en période critique
		Pression phosphore

Critères nécessaire aux calculs des arbres satellites
Effet des pratiques acidifiantes
Effet des amendements basiques
Bilan annuel de P
Bilan annuel de K
Recyclage de P par les résidus de culture
Recyclage de K par les résidus de culture
Diversité des familles cultivées
Quantité de phosphore apportée
Indice de fréquence de traitement (total, herbicide, ravageur)

Annexe IV : Les critères basiques de MASC et les variables qui y sont intégrées. Pour tous les tableaux : n= durée de la rotation en année et NC = nombre total de culture dans la rotation.

Critères de la dimension économique			
Nom du critère	Variables	formule	
Rentabilité	Produit brut (quantité récolté*prix de vente) aides (A), charges opérationnelles (CO), charges mécanisation (CM),	$MSN = [\sum_i ((PB)_i + A_i - CO_i - CM_i)] / n$	
Indépendance économique :	Aides (A) Marge semi-nette=rentabilité	$IND = [\sum_i [1 - (SA_i / MSN_i)] \times 100] / n$	
Efficiace économique	Produit Brut (PB), Charges opérationnelles (CO), charges mécanisation (CM),	$EFF = [\sum_i [PB_i / (CO_i + CM_i) \times 100] / n$	
Surcoût en matériel	A dire d'expert		
Maîtrise de l'état structural du sol	Proportion de culture récoltée en mauvaise condition, équipement limitant le tassement, aptitude du sol à la fissuration, Profondeur de travail du sol.		Arbre satellite
Maîtrise de l'état acido-basique du sol	pH du sol, CEC du sol, utilisation d'engrais acidifiants, balance azotée proportion de légumineuse dans la rotation, exportation des cultures, amendements basiques		Arbre satellite
Maîtrise de la fertilité P-K	Fertilité initiale, Apport, rendement de la culture et teneur dans les exports, recyclage par les résidus de culture, Pouvoir tampon du sol=texture		Arbre satellite
Maîtrise des adventices	Diversité de période d'implantation, fréquence de labour, méthodes de lutte		Arbre satellite
Maîtrise des maladies et ravageurs	Diversité des familles cultivées, travail du sol, méthodes de luttés		Arbre satellite
Qualité sanitaire	Indice de risque de contamination par les mycotoxines (IS)	$QSP = (\sum_i IS_i) / NC$	
Qualité technologique et esthétique	Liée à l'alimentation animale= risque faible		
Contribution à l'émergence de nouvelles filières	Filière, type de culture	1point par culture et/ou par filière en développement/NC	

Critères de la dimension sociale		
Nom du critère	Variables	formule
Complexité des interventions culturelles	Facilité de maîtrise de la culture (voir CRITER)	$CIC = [\sum i (Ki)] / n$
Temps de veille technico-économique	Nombre de cultures différentes dans la rotation	$TVTE = \sum i (NCi)$
Surcharge de travail	Nombre d'heures de travail (HT)	$ST = (\sum i(HTi)/décade)/n$
Difficulté physique	Nombre de contraintes physiques (DIFF)	$DIFF = \sum i DIFFi / n$
Risque pour la santé de l'applicateur	nombre de passages avec un pulvérisateur contenant au moins un produit classé Xn, T ou t+ (PPi)	$TOX = (\sum i PPI) / n$
Contribution à l'emploi	Nombre d'heures de travail/h a (NH _i)	$EMP = [\sum i NHi] / n$
Fourniture de matière première	rendement obtenu (IRA), rendement permis en conduite intensive (IRI)	$FMP = [\sum i (IRA i / IRI i) * 100] / n$

Critères de la dimension environnementale			
Nom du critère	Variables	formule	
Maîtrise des pertes de NO₃	INO ₃ : (type et quantité de fertilisant apporté, sol, travail du sol, culture, date de semis, objectif de rendement, climat, irrigation)	$MPNO_3 = [\sum i INO_3 i] / n$	INDIGO
Maîtrise des pertes de P	P apporté, méthode d'incorporation des amendements P, voir « Maîtrise de l'érosion », fertilité initiale de P.		Arbre satellite
Maîtrise pertes pesticides eaux profondes	I-PHYSA Eaux profondes (GUS, dose journalière acceptable (DJA), potentiel de lessivage (pH et pourcentage de matière organique du sol), incorporé ou non, dose et fréquence d'application, % surface traitée, culture, couverture du sol, date de semis et de récolte)	$MPEP = (\sum i I-PHYSA Eaux profondes i) / n$	INDIGO
Maîtrise pertes pesticides eaux superficielles	I-PHYSA Eaux superficielles (Demi vie (DT 50), dose journalière acceptable (DJA), Aquatox, distance à un cours d'eau, surface traitée, potentiel de ruissellement (pente, présence d'une bande enherbée, texture du sol et caractère hydromorphe/battant), incorporé ou non, dose et fréquence d'application, % surface traitée, culture, couverture du sol, date de semis et de récolte)	$MPES = (\sum i I-PHYSA Eaux superficielles i) / n$	INDIGO
Maîtrise émissions NH₃	INH ₃ (Type, quantité, date et modalité (enfouir ou non) d'apport du fertilisant)	$MNH_3 = [\sum i INH_3 i] / n$	INDIGO
Maîtrise émissions N₂O	IN ₂ O (Type, quantité et modalité d'apport des fertilisants, sol hydromorphe ou non, travail du sol, irrigation, Culture, objectif de rendement)	$MN_2O = [\sum i IN_2O i] / n$	INDIGO
Maîtrise émission pesticide dans l'air	I-PHYSA air (Demi-vie (DT 50), constante de Henry (Kh), dose journalière acceptable (DJA), incorporé ou non, dose et fréquence d'application, % surface traitée, culture, couverture du sol, date de semis et de récolte)	$MPA = (\sum i I-PHYSA air i) / n$	INDIGO
Maîtrise du statut	IMO (Rendement, culture, gestion des résidus, type de travail du sol, irrigation, fertilisation)	$MSO = \sum i (IMO i) / n$	NDIGO

organique			
Maîtrise de l'érosion	Sol, climat, défaut de couverture du sol en période à risque, travail du sol, voir « Maîtrise de l'état structural du sol »		Arbre satellite
Maîtrise accumulation éléments toxiques	Nombre apports de fertilisant organique (AF)	$AccTOX = \sum_i (AF_i) / n$	
Consommation d'eau en période critique	Quantité d'eau apportée par irrigation en période critique (Ipc)	$IRRC = (\sum_i Ipci) / n$	
Dépendance de la ressource en eau	Besoin en eau des cultures (ETP et coefficient cultural spécifique), eau apportée		Arbre satellite
Consommation énergie	IEN (Outils, Variables globales, rendement, humidité, types et doses de Pesticides, produit de Lutte biologique, Fertilisants)	$CEN = (\sum_i IEN_i) / n$	InDIGO
Efficacité énergétique	Energie produite (EP), énergie consommée (ET),	$EEN = [\sum_i (Epi / ETi)] / n$	
Pression phosphore	Apport de P2O5 non renouvelable (AP)	$PSPH = [\sum_i (Api)] / n$	
Conservation macrofaune du sol	Travail du sol, apports de matières organiques, IFT insecticide		Arbre satellite
Conservation des insectes volants	Diversité des familles cultivées, IFT insecticide		Arbre satellite
Diversité floristique	Diversité périodes d'implantations, IFT herbicide à spectre large, gestion des bords de champs		Arbre satellite
Abondance floristique	Maîtrise des adventices	$AF = 1/\text{maîtrise des adventices}$	
Conservation des micro-organismes	Apports de matière organique, IFT total diversité des familles cultivées		Arbre satellite

Annexe v: Structure des arbres satellites de MASC.

Maitrise de l etat structural du sol

- **Degradation de la structure du sol**
 - Proportion de cultures recoltees en mauvaises conditions
 - Effet des equipements limitant le tassement
- **Regeneration de la structure du sol**
 - Aptitude du sol a la fissuration
 - Regeneration mecanique de la structure

Maitrise du statut acido-basique

- Statut acido-basique initial
- CEC (pouvoir tampon)
- **Effet du systeme de culture**
 - Effet des pratiques acidifiantes
 - Effet des amendement basiques

Maitrise de la fertilité phosphopotassique

- **Maitrise de la fertilité phosphorique**
 - Etat de fertilité initiale P
 - **Bilan et recyclage de P**
 - Bilan annuel moyen de P
 - Recyclage du P par les residus de culture
 - Pouvoir tampon du sol P
- **Maitrise de la fertilité potassique**
 - Etat de la fertilité initiale de K
 - **Bilan et recyclage de K**
 - Bilan annuel moyen de K
 - Recyclage du K par les residus de culture
 - Pouvoir tampon du sol K

Maitrise des adventices

- Effet de la diversite des periodes d implantation
- Effet du labour
- Effet des methodes de lutte

Maitrise des maladies et ravageurs

- Effet de la diversite des familles cultivees
- Effet du travail du sol (Gestion des residus)
- Effet des methodes de lutte

Maitrise des perte de P

- Maitrise de l erosion
- Teneur en P du sol
- **Gestion des amendements**
 - Quantite de P apportee en moyenne
 - Methode d incorporaton des amendements

Maitrise de l erosion

- Sensibilite du milieu
- **Effet du systeme de culture**
 - Defaults de couverture du sol en periodes a risque
 - Effet du travail du sol
 - Maitrise de l etat structural du sol

Dependance vis a vis de la ressource en eau

- Demande en eau des cultures
- Autonomie de la ressource

Conservation des insectes volants

- Effet de la diversite des familles cultivees
- IFT Insecticides

Conservation de la macrofaune du sol

- Effet du travail du sol
- Effet des apports de matieres organiques
- IFT Insecticides

Conservation des micro-organismes du sol

- Effet des apports de matieres organiques
- Effet des pesticides
- Effet de la diversite des familles cultivees

Diversite Floristique

- Effet de la diversite des dates de semis
- Utilisation d herbicides a spectre large
- Gestion des bords de champs

Annexe VI : Caractéristiques du sol représentatif breton. Les valeurs/catégories sont des données trouvées telles quelles dans la littérature (source correspondante dans la colonne adjacente). Les suppositions/déductions se basent sur cette même littérature ou sur la supposition que les paramètres ont la valeur la plus courante. Ces données ont été validées par Blandine Lemerrier (INRA).

paramètre	valeur/ catégorie	source	supposition /déduction
Texture	limoneux	Lucas R, <i>et al</i> , 2015	
Densité apparente (kg/m³)			1.3
Battance	moyenne	http://www.sols-de-bretagne.fr/?id=174:la-texture	3 sur une échelle de 1 (très peu battant) à 5 (très battant)
Drainage			non
Hydromorphe			non
Profondeur (cm)	moyenne	(Lucas R, <i>et al</i> , 2015)	50 cm
RU mm	bonne	(Lucas R, <i>et al</i> , 2015)	180 mm
% Calcaire	0	http://webapps.gissol.fr/geosol/	
% Matière organique	3.096	http://webapps.gissol.fr/geosol/	
% Argile	16.1	http://webapps.gissol.fr/geosol/	
% Cailloux			7.5
pH	6.3	Lucas R, <i>et al</i> , 2015	
phosphore	400 mg de P ₂₀₅ assimilable/kg de sol	http://www.eau-et-rivieres.asso.fr/index.php?41/143	
période sèche			non
distance au cours d'eau			>12m
largeur bande enherbée			0-6m
érodibilité	faible	http://www.bretagne-environnement.org/Media/Chiffres-cles/L-erosion-des-sols	
pente			moyenne (2-5%)

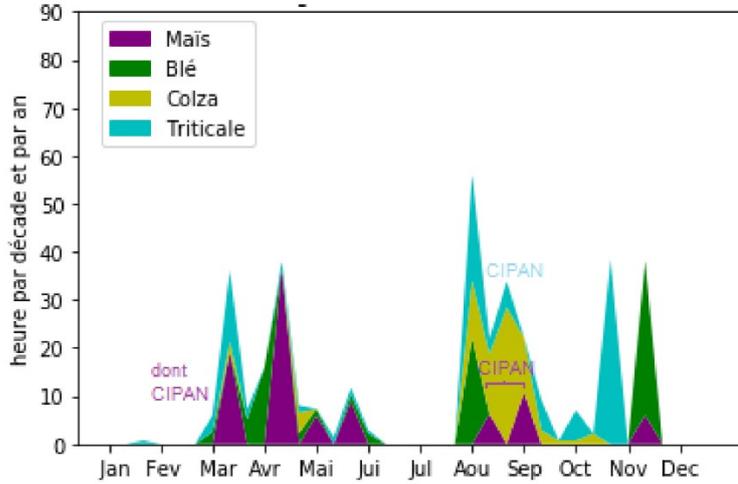
Annexe VII : Formule de l'indice de Rivière.

<p>Indice de Rivière : $R = \frac{(2*Lf+Lg)}{A+10*MO}$ avec : Lf=limons fins ; Lg=limons grossiers ; A=argile ; MO=matière organique</p>

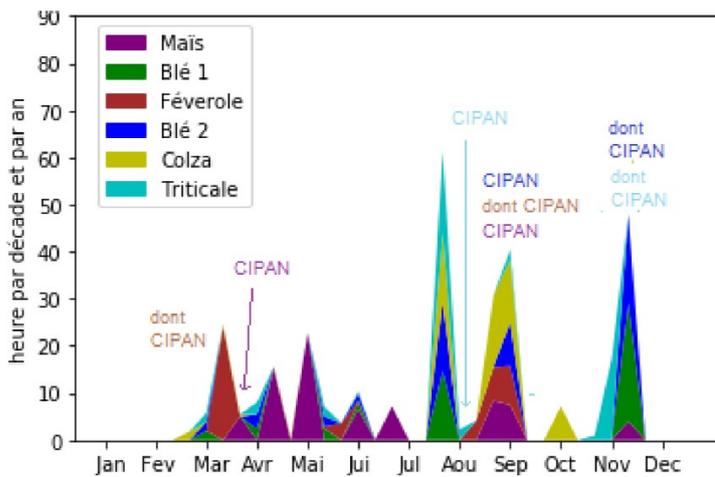
Indice de rivière (cité par Cros-Cayot, 1996)

Annexe VIII : Répartition moyenne du temps de travail (h/décade/an) pour les cinq SdC pour une exploitation de 60ha.

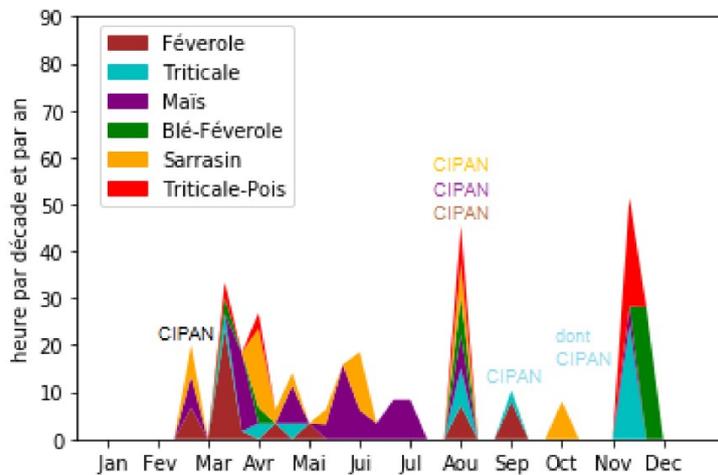
Répartition moyenne du temps de travail (h/décade/an) du SdC Crécom (Bouard, 2017) :



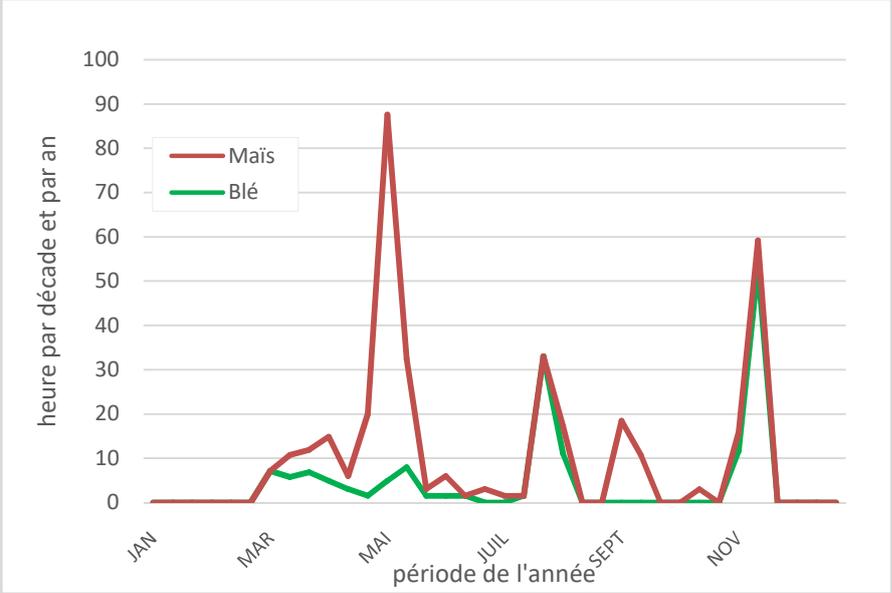
Répartition moyenne du temps de travail (h/décade/an) du SdC Kerg int (Bouard, 2017) :



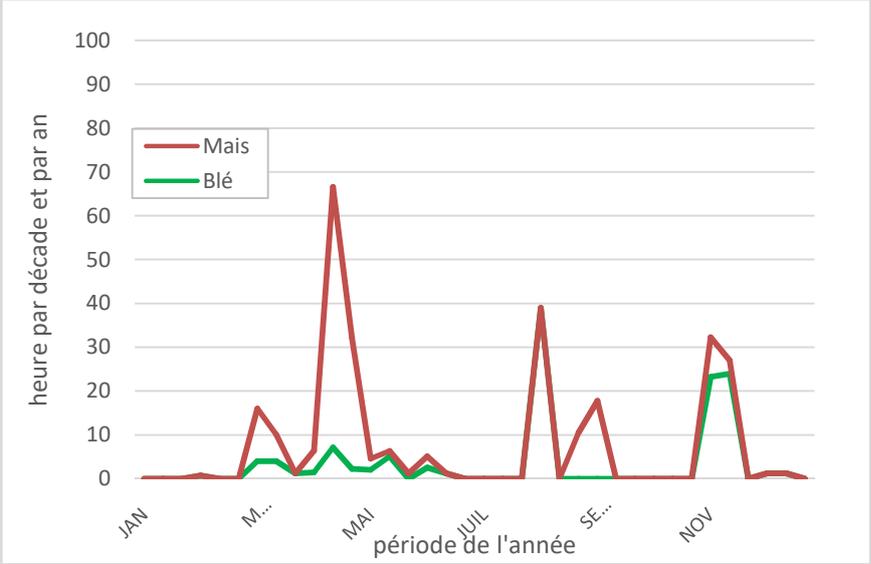
Répartition moyenne du temps de travail (h/décade/an) du SdC Bio (Bouard, 2017) :



Répartition moyenne du temps de travail (h/décade/an) du SdC Conv :



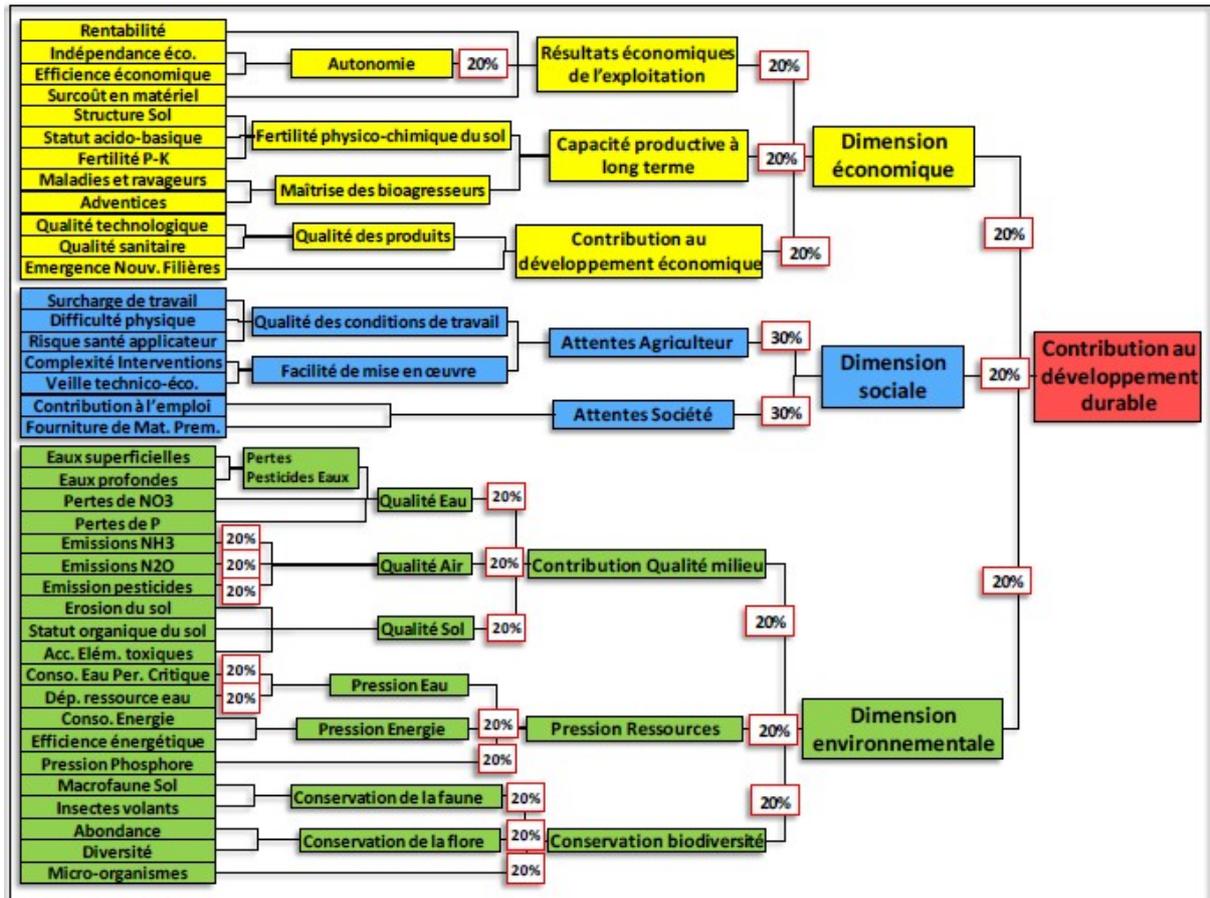
Répartition moyenne du temps de travail (h/décade/an) du SdC BZH :



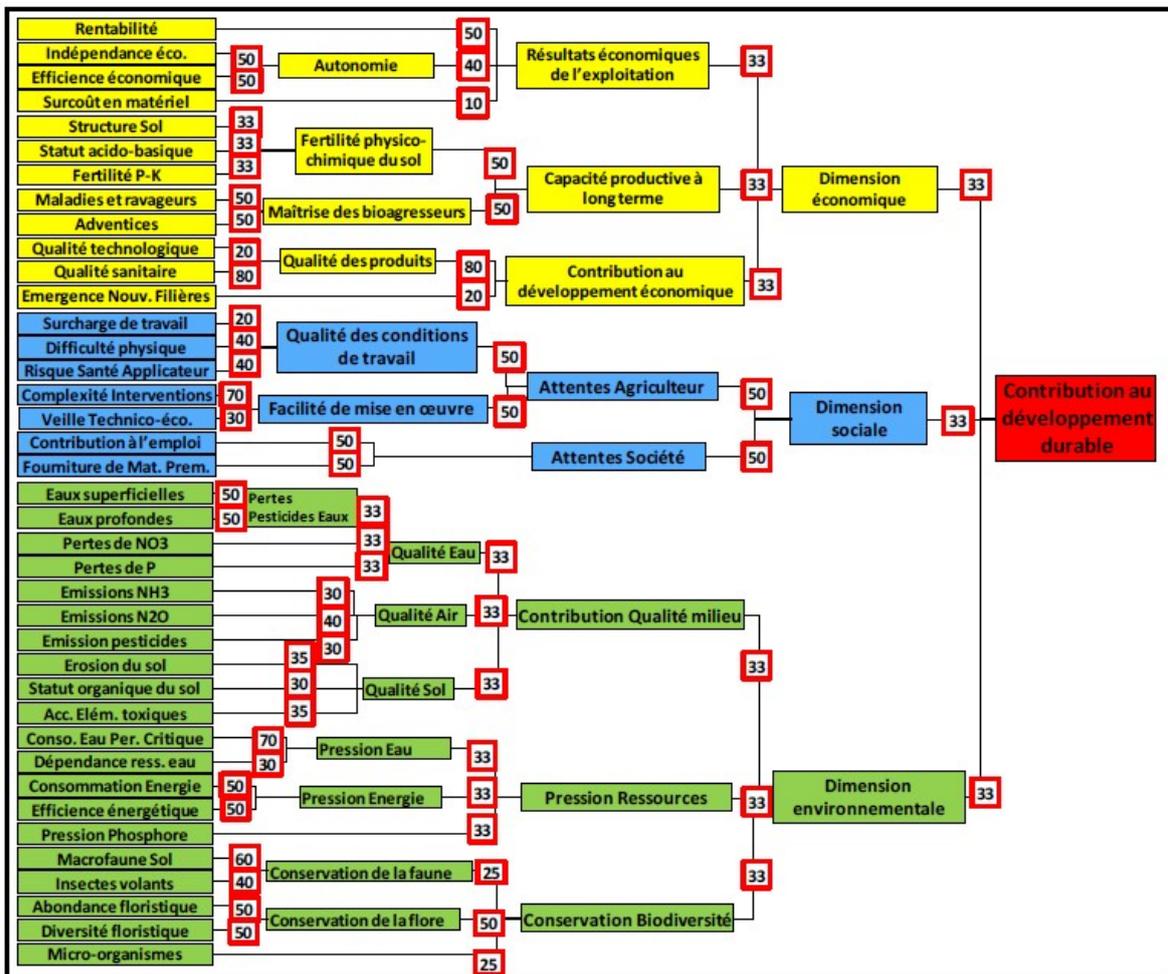
Annexe IX : Modifications apportées aux valeurs seuils des classes des critères de MASC.

critère	anciennes valeurs seuils	valeurs seuils retenues	justification
Marge semi-nette (MSN)	-	<800: très faible ; [800-950 : faible à moyen; 950-1100]: moyen à fort >1100: très forte	basé sur la MSN de BZH, le dire d'expert et la communication interne sur les références Bretagne . (Lionel Quere)
Efficiences économiques	-	<100 : très faible ; [100;150] : moyen à faible ;]150;200] : moyen à élevé >200 très élevé	basé sur la MSN de BZH, le dire d'expert et la communication interne sur les références Bretagne . (Lionel Quere)
contribution à l'emploi (h/ha/an)	≤2: très faible;]2;4] : faible à moyenne;]4;6]: moyenne à élevée; >6: très élevée	≤4: très faible;]4;5] : faible à moyenne;]5;6]: moyenne à élevée; >6: très élevée	Les valeurs seuils étaient trop étendues pour être discriminantes surtout pour comparer entre eux des systèmes en grande culture.
Complexité des interventions culturales	<1.5 : très faible ;]1.5;2[: faible à moyenne ;]2;2.5[: moyenne à élevée ; ≥ 2.5 : élevée	≤1.5 : très faible ;]1.5;2[: faible à moyenne ;]2;2.5[: moyenne à élevée ; ≥ 2.5 : élevée	L'intégration du 1.5 dans la classe "très faible" permet une meilleure différenciation des SdC.
Temps de veille technico-économique	≤3 : faible ;]3;6] : moyen ; >6 : élevée	≤3 : faible ;]3;6[: moyen ; ≥6 : élevée	L'intégration du 6 dans la classe "élevé" permet une meilleure différenciation des SdC.
risque pour la santé de l'applicateur	<1:faible;]1 ;2[: moyenne; ≥2:élevée	≤1:faible;]1;2[:moyenne; ≥2:élevée	L'intégration du 1 dans la classe "faible" permet une meilleure différenciation des SdC.

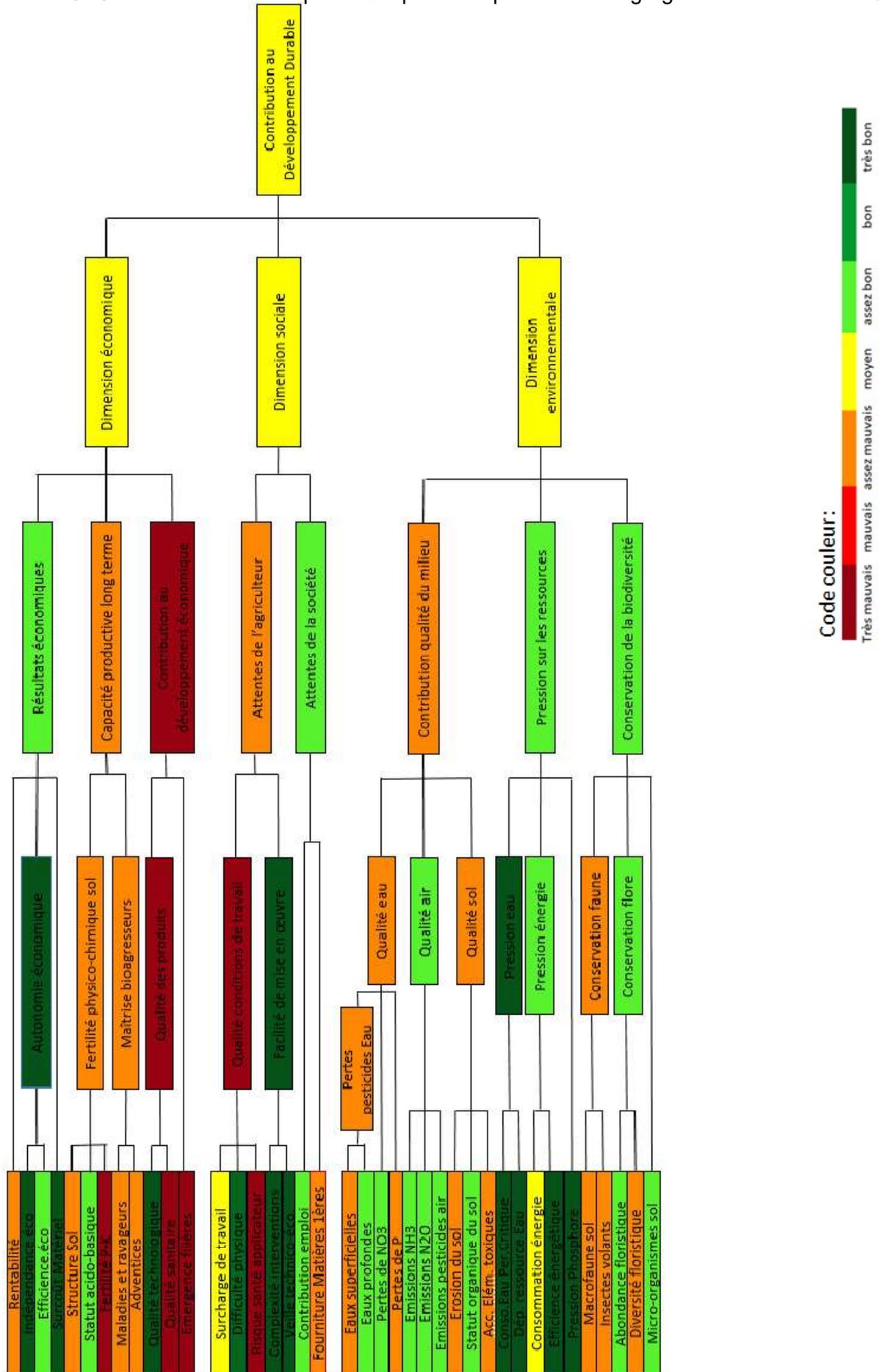
Annexe X : Pondérations minimales affectées agrégation de MASC 2.0 (Craheix *et al*, 2011)



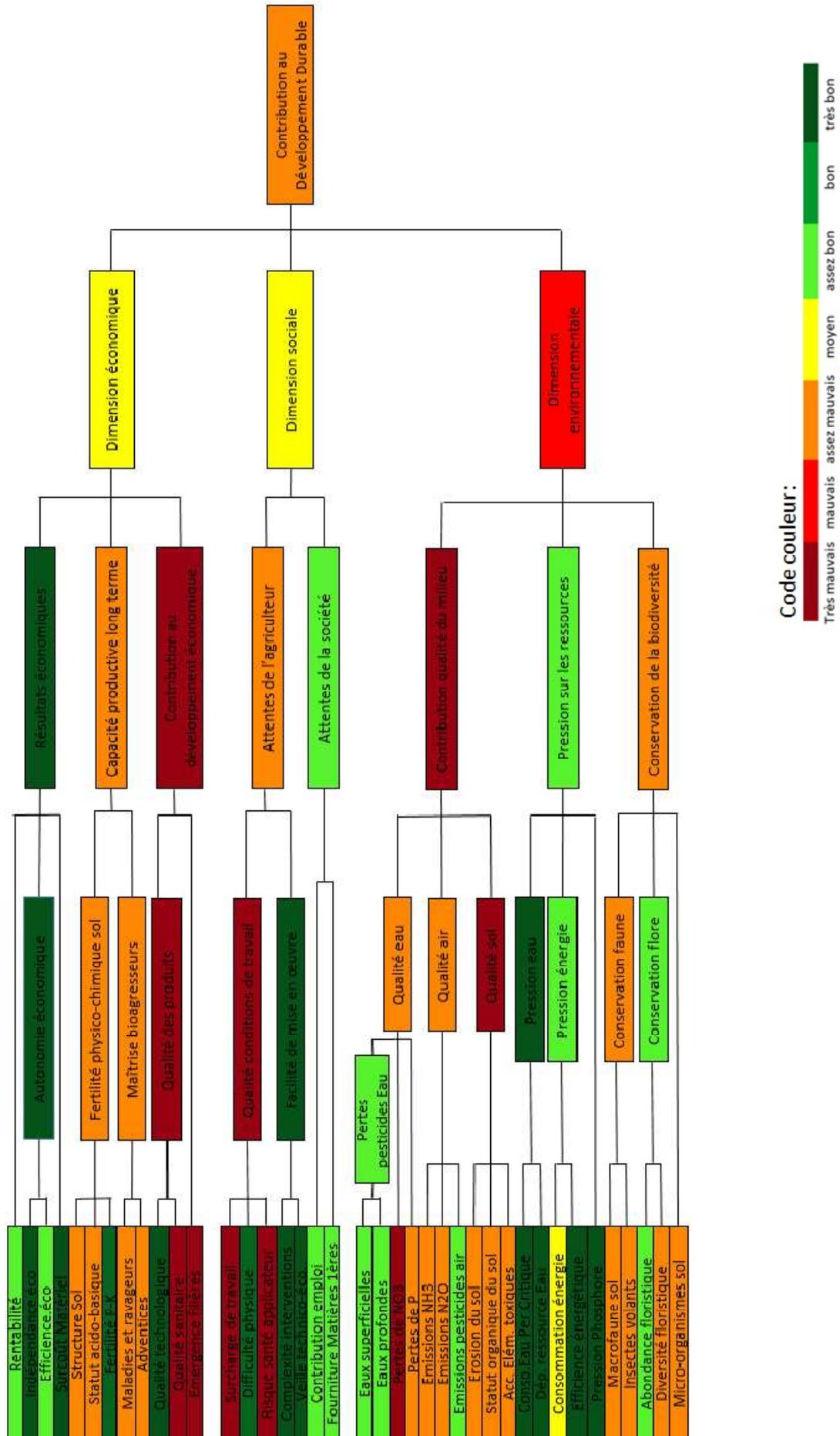
Annexe XI: Pondérations livrées par défaut dans MASC 2 .0 (Craheix *et al*, 2011)



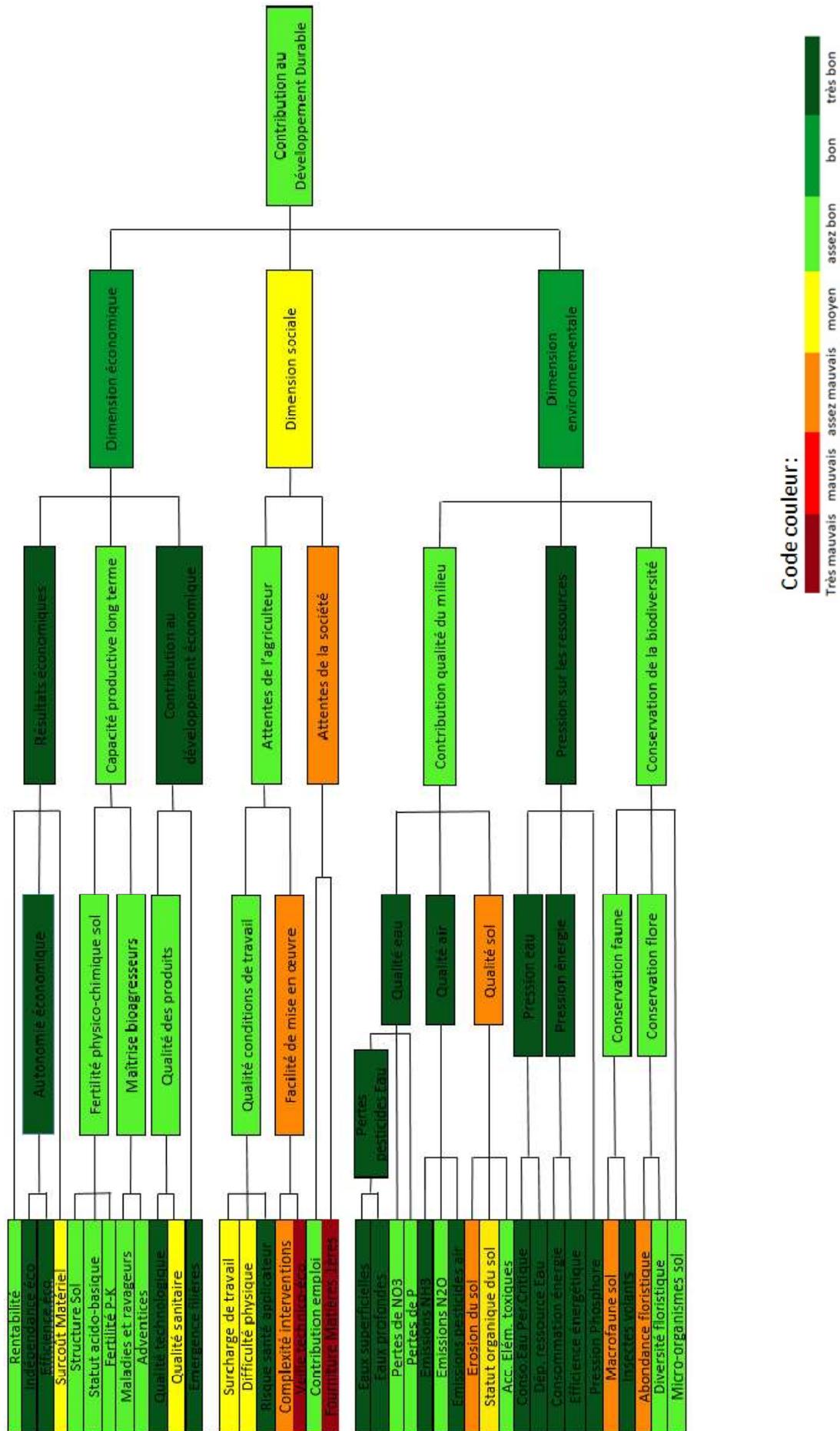
Annexe XII : Score obtenu pour BZH pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.



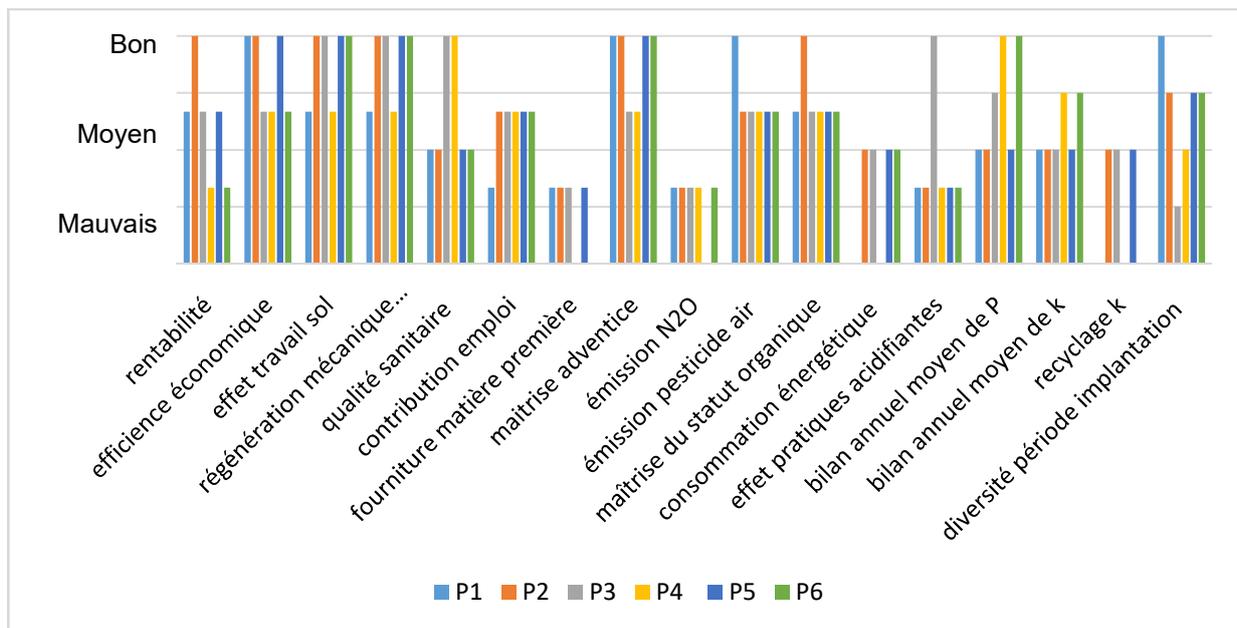
Annexe XIII : Score obtenu pour Conv pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.



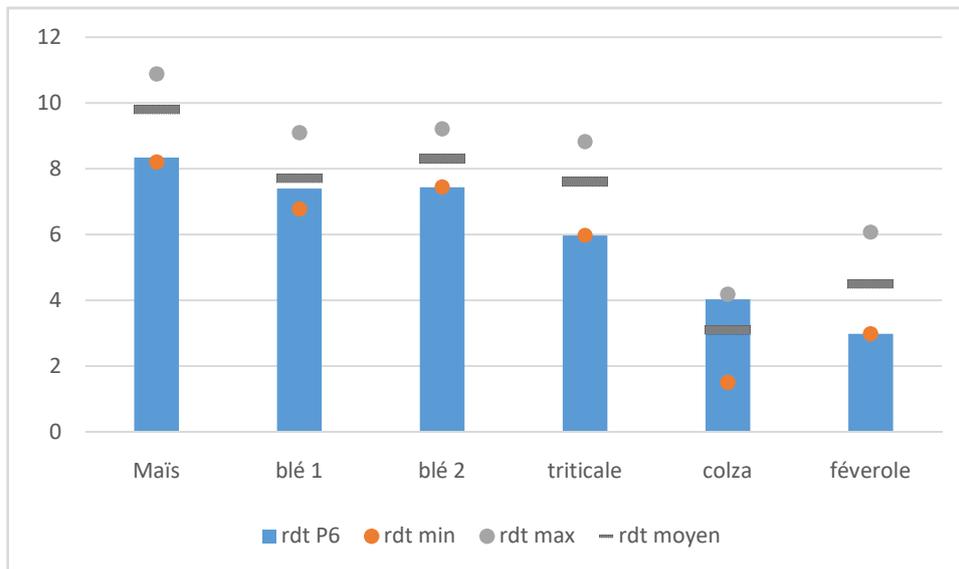
Annexe XIV : Score obtenu pour Bio pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.



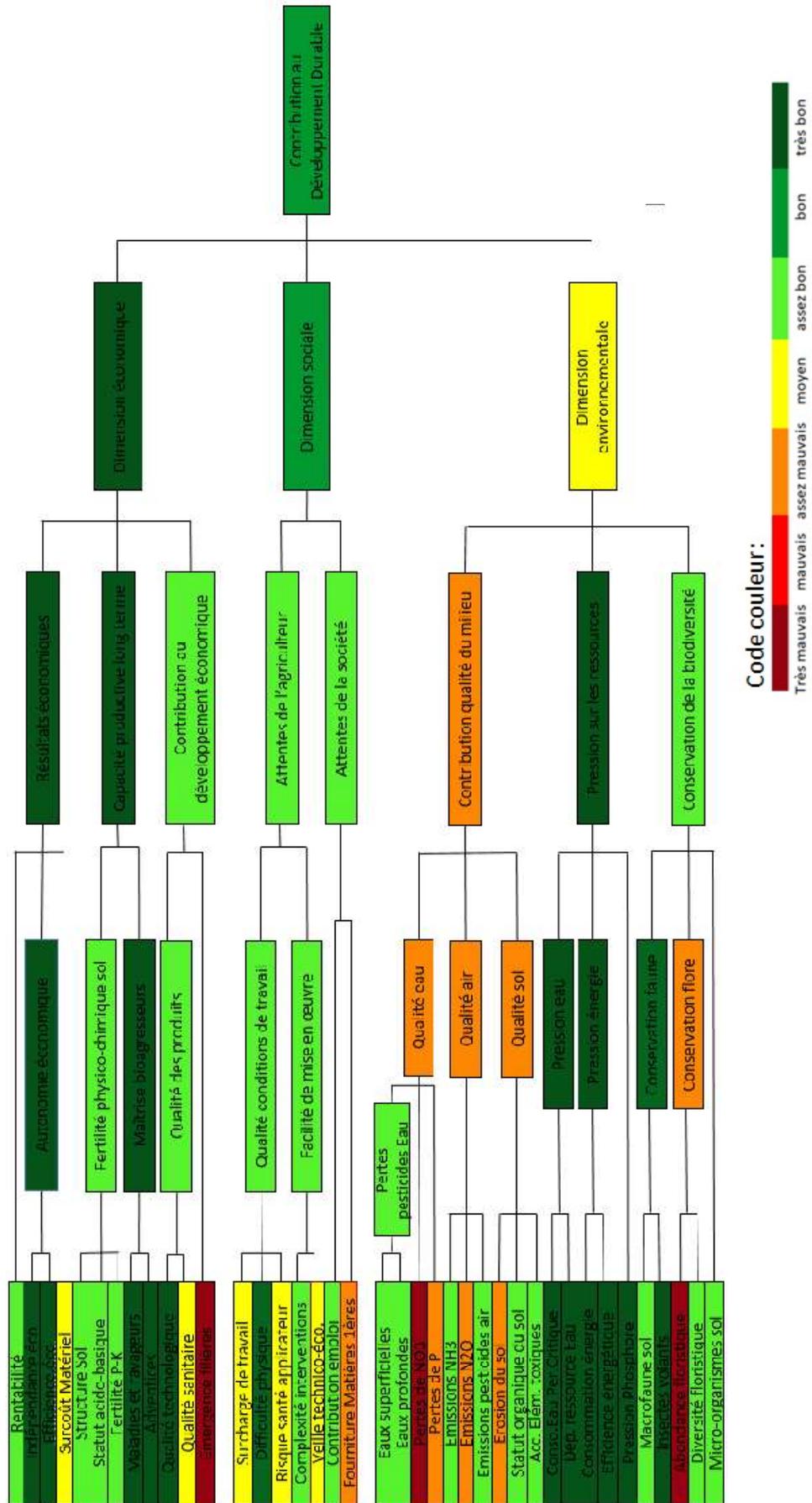
Annexe XV : Classement des critères variant par parcelle pour Kerg int.



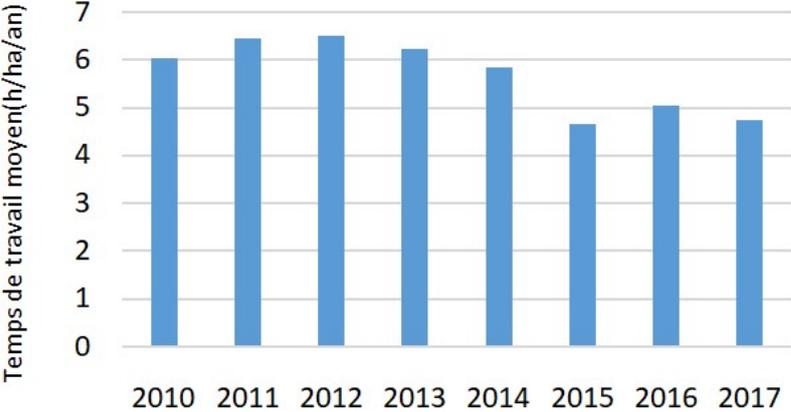
Annexe XVI : Rendement des cultures sur la parcelle P6 comparé aux rendements minimums, maximums et moyens de toutes les parcelles.



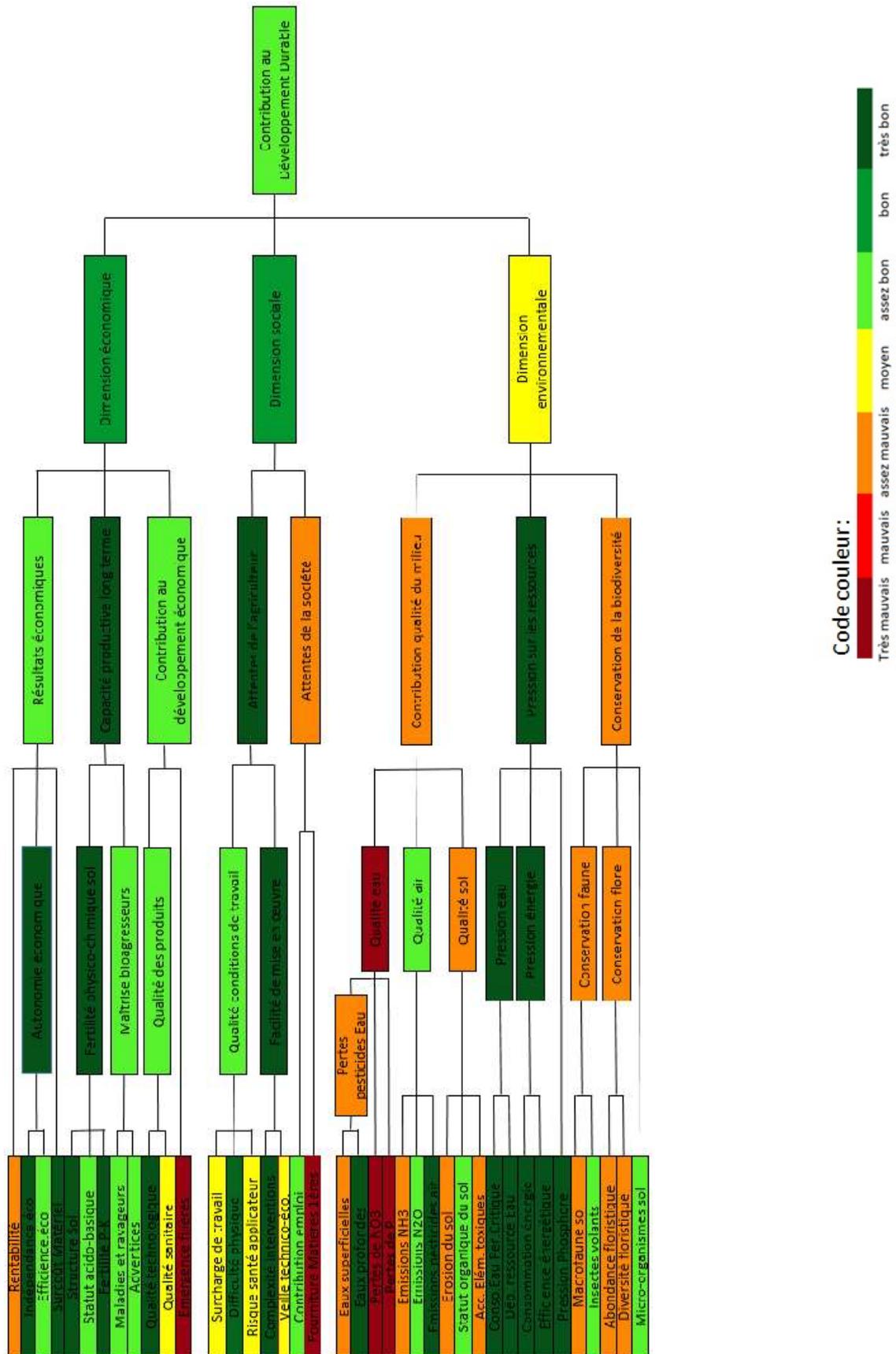
Annexe XVII : Score obtenu pour Kerg int pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.



Annexe XVIII : Evolution du temps de travail (h/ha/an) pour Crécom.



Annexe XIX : Score obtenu pour Crécom pour chaque critère et agrégation de l'arbre MASC.



9. Short report

Introduction

Agricultural productivist logic was encouraged to provide enough food after post war shortage. This led to a degradation of the environment, especially air, soil and water quality. France has created the “plan Ecophyto” in order to decrease the use of pesticides by farmers which led to the experimentation of innovative crop system (CS) in the “Chambre Régionale d’Agriculture de Bretagne” (CRAB). This report will study three of them: one in organic production and two in integrated production.

The main issue of this report is: is the integrated and organic production in field crop leading to a better contribution to sustainability, and more specifically to an improvement of the environmental dimension without penalizing economic and social dimensions compared to a standard CS of Brittany?

To answer this issue, the multicriteria analysis tool MASC will be used. First, variations of the same CS replicated under several plots will be studied, then the analysis will be about the evolution over the years and finally each CS will be compared to the standard CS and to each others.

Context and issues

Brittany production system and issues

The European Union has a common agricultural policy called “PAC”. Since several years, the PAC encourages farmers to use respectful practices for the environment. France has decided to go further by the creation of the plan “ECOPHYTO”, which is supposed to decrease by 50% the use of pesticide in 2018 (deferred to 2015). To reach this goal, some innovative CS are tested and evaluated in all the countries and in diversified agricultural sectors, including field crop.

CS studied in this report is integrated to a region classified in the first place in French animal production: Brittany. The region production is composed at 66% (by value) of animal production. This lead to pressure on the environment and especially water nitrate pollution, even if there was an improvement during the past ten years 10 years (fig 4). Furthermore, this means of production do not lead to good living conditions for farmers (economic and social difficulties).

System approach

The system approach is based on the test of CS. In contrast to analytic approach, it’s not about the study of the impact of independent parameters, but about the comparison of CS that are sometimes very different. The three types of CS studied in this report are: **Conventional**: the most common in Brittany, it uses pesticide and synthetic fertilizer

proportionally to the needs.

Integrated: try to reduce the use of synthetic input by the use of practices that enhanced natural processes.

Organic farming: no use of synthetic input.

The evaluation of a systemic approach has to be based on several criteria, if possible with an aggregating system: the multi-criteria analysis.

This evaluation method is well adapted when there is a sustainability aim. Indeed, the sustainability is based on three dimensions (economic, social and environmental) that can have competing purpose (like the difficulty to maintain enough productivity for the economic and social dimension while trying to have a minimum impact on the environment).

Purpose of the study

Main objectives at the creation of CS studied in this report were to:

- use less pesticides
- preserve environment quality mainly concerning pollution (nitrate, phosphorus, pesticides) and soil quality
- preserve or improve the profitability of CS
- keep or improve the work efficiency of the farmer in the field.

Now that CS are at the end of their rotation, the purpose is to go further this specific objectives and study if they improve the contribution to sustainability and if there is variations between “replication” of a CS.

Three hypothesis have been made:

- At qualitative MASC scale, differences between plots of a same CS are negligible ;
- For each CS, there is an improvement over the cropping years (because of permanent crop management adjustment) ;
- The three CS tested are more sustainable than Brittany standards CS.

Material and method

Experimental site

The CS are conducted in two sites: Kerguéhennec (56, Morbihan) and Crécom (22, Côtes d'Armor). They have both loamy soil and a mild and humid climate. Kerguéhennec is in the early agro-climatic zone of Brittany while Crécom is in the very late one (fig 9).

Experimental device

For each CS, there are as many plots as there are years planned for the rotation. This way, all crops of the rotation are grown each year, which provide a kind of “replication”.

Innovative CS:

Crécom: This integrated CS's goal is to decrease the use of pesticide. The rotation is composed by four crops: Corn – wheat – canola- triticale.

Kerg int: This integrated CS's goal at Kerguéhennec is to decrease the use of pesticide, fertilization and tillage. The six years rotation is composed of five crops: corn – wheat – faba bean – wheat – rapeseed – triticale.

Bio: this organic CS doesn't use chemical input and intended to decrease the use of fertilizer and to improve the social and economical aspect. The 6 years rotation is composed of seven crops, including two intercropping: Faba bean – triticale – corn – wheat/faba bean – buckwheat – triticale/pea.

Conventional CS:

Conv: this CS at Kerguéhennec was created to represent conventional CS in Brittany. It has two crops in the rotation: corn – wheat.

BZH: this CS is theoretical : it is based on representative practices and medium parameters and productivity in Brittany. Here there are two crops in the rotation: corn – wheat. It's close to the CS Conv but without the influence of a specific climate and soil condition so it will be use for the comparison with innovative CS.

Tools

CRITER: it's a tool developed to help to calculate criteria needed for MASC. Some parameters are already in the program and have just been updating. For CS specific parameters, in order to have results that are not too specific to a context, then we do not always use real data:

- When it is linked to different practices between CS: real data is used (yield, amount of fertilizers...)
- When it is linked to environmental variation : medium data is used (price, climatic year ...)

MASC: it is based on the software DEXI. It is composed of 36 basic criteria and 26 aggregated criteria. Criteria are qualitative, based on threshold values to classify them. Then, they are aggregated by decisions rules "if ... then..." (IF one criteria is good AND another is bad THEN the aggregation is medium). Some threshold values and aggregations rules have been modified to be closer to local conditions and issues (fig 11 and Tab 5).

Results and interpretation

BZH and Conv

There are some differences between those CS even if they were created to to be quite

similar. BZH has a better classification (“medium” compare with “fairly low”) mostly because of a lower pollution by fertilizers. This mean that it will be harder to improve CS environmental dimension compared to BZH than compared to Conv.

The CS Bio

Evolution by years: the contribution to sustainability of Bio is “fairly high”. The main variations are about an improvement of the fertilization and of the profitability because of an increase of the yield.

Comparison with BZH: Bio is better that BZH for the sustainability (“fairly high” compare with “medium”) because of an improvement of the economic and environmental dimension (fig.16). This is linked to a high sell price and a very low level of pollution by pesticide and fertilizer. However, the Bio CS is more complex and provides less food than BZH.

The CS Kerg int

Evolution by years: there is evolution for the sustainability and two of the three dimensions (economic and social). The study of the mean grade for criteria varying annually shows an upward trend for the period 2015-2017 compared to the period 2012-2014 (fig 24), partly due to an active work to improve the CS.

Variations between plots: grades obtained for the sustainability are variables between plots (fig.25), in the three dimensions. This can be linked to change in decision rules, in environment or to characteristic of each plot.

Comparison with BZH: Sustainability of Kerg int is better by two grade compare to BZH (“high” compare to “medium”) thanks to the improvement of social and economic dimensions (fig. 27). This is linked to good yields, diversity of pest and weed control method and low use of pesticide and fuel. However, this CS is quite hard to manage and there is a relatively high pollution of the environment because of fertilizers

The CS Crécom

Evolution by years: the sustainability is relatively stable, with an improvement of the environmental dimension the last three years (fig.31). This is linked to an increase of family diversity in intermediate crop and a decrease of pesticide use.

Variation between plots: three of the four plots have a “fairly high” grade for the sustainability, the last one has a “fairly low” one (fig.33). This isn’t linked to identifiable specificities.

Comparison with BZH: the grade of sustainability for Crécom is “fairly high” so it’s improved compared to the “medium” grade of BZH. This is thanks to an improvement of the social and

economic dimension (fig. 34). Indeed, this CS is easy to manage and maintain a good capacity production but it doesn't protect the soil and air quality nor biodiversity (pesticides and fertilizers).

Comparison between the three CS

All the innovative CS are more sustainable than BZH and Conv. Kerg int is the best one, followed by Crécom and Bio equally (fig.35). However, bio is the only CS that improves the environment.

Each CS has strength and weakness. Some of them can be directly linked to practices (tab.5). For the CS Kerg int, its strength is the diversity of pest and weed control method and for the CS Bio benefits of the crop diversity and its organic label. The CS Crécom uses a lot of fertilizers and is the closest to BZH but it is at the same time its strength (good long term productive capacity and easy to manage) and its weakness (pollutions).

Discussion and perspectives

Conclusions to hypothesis

- On a qualitative MASC scale, differences between plots of a same CS are negligible. Invalidate: there is notable differences between plots of a CS.

- For each CS, there is an improvement over the cropping years.

Non conclusive: Bio and Kerg int seem to have an improvement but it is just a tendency. For Crécom, it seems that there is an improvement too but only in the environmental dimension without a clear impact on the sustainability.

- The three CS tested are more sustainable than Brittany standards CS.

Validate: All CS has a better contribution to sustainability than BZH and Conv. However, Bio is the only CS that improves the environmental dimension.

Confrontation with previous evaluations

The three sustainability studies done at half-way of the rotation give comparable results: structures are the same, Kerg int has a better score in social and economic dimension than in the environment, like the CS Crécom. Bio is better for environment and for its economic aspects than for its social dimension.

Practices and areas of improvement

Some practices linked to bad effect could be changed, like the recycling of crop residues for Crécom to avoid pollution by too much fertilization. For this example, add landfill after organic fertilization could also decrease loss in the environment .

For all CS studied in this report, there are some practices that could be integrated like the

sowing of multi-species in field edge.

Based on field observation, it is also important to decrease the weed pressure at kerg int, possibly by the use of mechanical control able to work only on the line, or intercropping for the faba bean (with wheat for example).

Also based on field observation, Bio plots have a huge slope (>5%), so the integration of conservatives practices like no tillage could be interesting, even if it would be important to take care of the risk of weed proliferation because of the lack of chemical solutions.

Limits

Limits of the experiment: the comparison between CS is quite hazardous because they were not created to be compared: they do not have the same goals, they are not in the same place and they have not begun in the same time. For this reason, conclusion can only be global. The reference system BZH is also arguable because of its disparity with Conv, whereas they were created to be both representative.

Limit of the tool: There is an important loss of information by the use of qualitative criteria. Furthermore, some criteria are negatively linked so it is impossible to improve all criteria at the same time; there is a need to trade-off.

It is also important to notice that criteria named like “effect of ...”, “control of ...” are in fact only evaluations of practices and not of effects. This explains why Kerg int has a good “control of weed” criterion but a lot of difficulties with weeds in the field.

Conclusion

The three innovative CS conducted in Brittany have a better sustainability than references. Surprisingly, even if these CS have been designed to answer to environmental issues, the improvement comes more from social and economic dimensions. Only the Bio one improves the environment. However, grades of a CS vary depending of the plot and the year, that shows the importance to conduct several time the same CS to allow a conclusion.

The last step for those CS is the dissemination of those results as a dialogue support between farmers and advisors. Indeed, this study shows that contrary to the common belief, agroecological practices can lead to a better social and economical aspect.

Next innovative CS (in preparation in the project “SYNO’PHYT”) have to be more implicated in the environmental dimension than the CS studied in this report. It is also planned that they will begin at the same time and the same place, facilitating comparison and avoiding some of the limits pointed in this report.



Diplôme: Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, horticoles et du Paysage

Spécialité : Ingénieur Agronome

Spécialisation : Agroecology

Enseignant référent : Matthieu Carof

Auteur : Ludivine Paugam

Organisme d'accueil : Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne

Date de naissance : 12/03/2018

Adresse : Station de Kerguéhennec, 56 500 BIGNAN

Nb pages : 26

Annexes : 19

Année de soutenance : 2018

Maître de stage : Patrice Cotinet

Titre français : « Evaluation de la durabilité de trois systèmes de culture innovants en grande culture dans un contexte breton »

Titre anglais : « Evaluation of the sustainability of three innovative cropping system in crop field in Brittany context »

Résumé : Les enjeux de l'agronomie moderne sont pluriels : préserver l'environnement sans dégrader l'économie des exploitations ni les conditions de travail des agriculteurs. La Bretagne, première région agricole française, est particulièrement sensible à la problématique environnementale. Des programmes de reconquête de la qualité de l'eau ont déjà permis des évolutions des pratiques. Cette étude, inscrite dans le plan Ecophyto, porte sur l'évaluation de la durabilité de trois systèmes de culture (SdC) innovants (agriculture biologique et intégrée), en comparaison avec un SdC représentatif de l'agriculture bretonne conventionnelle. L'étude est réalisée à l'aide d'un outil d'analyse multicritère (MASC) et porte sur les variabilités inter-parcellaire et interannuelle de la contribution au développement durable (DD) de chaque SdC, ainsi que sur leur capacité à être plus durable que le SdC de référence. Les résultats montrent que chaque SdC présente des variabilités de notes liées aux changements de règles de décision et à l'environnement, signalant l'importance de conduire les études sur le long terme. Aucune amélioration interannuelle de la contribution des SdC au DD n'est nettement observable sur les années d'expérimentation, au contraire de ce qu'il était supposé. Enfin, les trois SdC étudiés contribuent plus au DD que le SdC de référence. Cependant, les deux SdC intégrés n'améliorent pas notablement la dimension environnementale. D'autres pratiques agronomiques doivent donc être envisagées dans l'objectif d'une amélioration de l'impact de l'agriculture sur l'environnement.

Abstract: The issues of modern agriculture are varied: protect the environment without degrading farm's economy or farmer's work conditions. Brittany, the first French agricultural region, is very sensible of the environmental issues. Some programs to improve the water quality have lead to an enhancement thanks to the spread of practices more respectful. This study, part of the program "Ecophyto", evaluate the sustainability of three innovative crop systems (CS) (organic and integrated), compared with a standard CS of conventional agriculture in Brittany. The study is based on the multicriteria analysis tool MASC and is about the inter-plot and inter-annual variability of the contribution to sustainability of each CS, and about their capacity to be more sustainable than the reference. Results show grades variations between each repetition of a CS, indicating the importance to have long term study. No clear inter-annual improvement has been observed, contrary to what was supposed. Finally, the three CS studied contribute more to sustainability than the reference CS. However, the two integrated CS don't improve notably the environmental dimension. Other agricultural practices have to be planned in the purpose to improve the impact of the agriculture on the environment.

Mots-clés : analyse multicritère, agroécologie, durabilité, Ecophyto, évaluation, expérimentation, MASC, système de culture innovant.

Key words: agroecology, assessment, Ecophyto, multicriteria analysis, MASC, innovative cropping system, sustainability.