

Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE BORDEAUX AQUITAINE

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 - 33175 GRADIGNAN cedex

MEMOIRE de fin d'études

pour l'obtention du titre

d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro

EVALUATION DES PROPRIETES DE LA DURABILITE DES
EXPLOITATIONS AGRICOLES A L'AIDE DE LA METHODE
IDEA VERSION 4.

LES APPORTS DE LA LOGIQUE FLOUE.

ROZEC, PAULINE

Spécialisation : Agroécologie et Gestion des Ressources

Etude réalisée à : UMR Laboratoire Agronomie et Environnement, INRAE Grand Est, 28 rue de Herrlisheim, 68000 Colmar

- 2020 -

Remerciements

La première personne à remercier est sans aucun doute Christian Bockstaller puisque s'il ne m'avait pas prise en stage, vous ne seriez pas là aujourd'hui à lire ce mémoire. Il a été un maître de stage très formateur pour moi, je le remercie de m'avoir toujours fait confiance, même quand je l'ai effrayé avec ma capacité de travail, nous forçant alors à repousser les limites du sujet qu'il avait dessiné. Je le remercie également pour sa contribution à la rédaction de ce mémoire depuis sa construction jusqu'à son achèvement.

Le contexte particulier de crise sanitaire dans lequel s'est déroulé mon stage ne m'aura pas empêché de nouer de véritables liens d'amitié avec certains de mes collègues. Je retiendrais l'inimitable Christophe Schneider et surtout son humour aussi cynique que décapant.

Je voudrais remercier mes amis et colocataires Emma Soulé et Christian Guyvarch pour toute la bienveillance dont ils ont fait preuve pendant cette dure épreuve que fût le confinement. Leur soutien a dépassé le cadre de ce stage et je ne pourrais nier le rôle décisif qu'ils ont joué dans la réussite de ce travail.

Je remercie mon amie Laura tant pour le soutien qu'elle m'a témoigné en Alsace durant la crise sanitaire qu'au moment de la relecture de ce mémoire.

Après cette longue liste d'Alsaciens pure souche ou d'adoption, il était impensable que Frédéric Zahm, Sydney Girard et David Carayon n'aient pas une place ici. Je les remercie pour leur suivi tout au long de mon stage, pour leurs remarques constructives ayant permis d'orienter mon travail mais aussi pour leur relecture de ce mémoire.

Ce mémoire marque pour moi la fin de trois années passées entre les murs de Bordeaux Sciences Agro, ainsi je tenais à adresser un mot spécial à Iris Sakout qui m'a accompagnée trois années durant dans cette belle aventure. Sans ses multiples talents, cette expérience aurait été bien plus fade.

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

ACTION : Accompagnement au Changement vers la Transition agro-écologique

AGIR : AGroécologie, Innovation et teRritoires

CASDAR : Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural

CONTRA : CONstruction TRansparente d'Arbre de décision

ETBX : environnement, acteurs et dynamiques territoriales

FESLM : Framework for Evaluating Sustainable Land Management

FISPRO : Fuzzy Inference System PROfessional

IDEA : Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

IPA : Indice de Performance de l'Agroécosystème

LAE : Laboratoire Agronomie et Environnement

LF : limite favorable

LD : limite défavorable

MESMIS : Marco para la Evaluacion de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporado
Indicadores de Sustentabilidad

OTEX : Orientation Technico-Economique des eXploitations agricoles

RDD : règles de décision

RSE : Responsabilité Sociétale des Entreprises

SIRIS : Système d'Intégration des Risques par Intégration des Notes

UMR : Unité Mixte de Recherche

VA : valeur d'appartenance

Glossaire

Agrégation : constitution d'un agrégat mathématique

Branche : ensemble d'indicateurs agrégés

Classe : fait référence aux classes qualitatives ordinales sous lesquelles sont regroupées plusieurs notes d'un indicateur conduisant à sensiblement la même appréciation de celui-ci

Concepteurs de la méthode IDEA : comité scientifique rassemblant divers experts ayant conduit à l'élaboration et l'évolution de la méthode d'évaluation IDEA

Indicateur : outil d'évaluation et d'aide à la décision

Plafonnement : valeur maximale admise pour un indicateur ou une composante

Pondération : attribution de poids aux différents indicateurs et branches lors de l'agrégation

Table des matières

1.	Introduction.....	1
2.	Etat de l'art.....	4
2.1.	Les différentes méthodes d'évaluation dynamique de la durabilité et leurs propriétés.....	4
2.2.	Définitions des cinq propriétés évaluées par IDEA4	5
2.2.1.	Robustesse.....	5
2.2.2.	Capacité productive et reproductive de biens et de services	7
2.2.3.	Autonomie.....	8
2.2.4.	Responsabilité globale.....	10
2.2.5.	Ancrage territorial	11
3.	Matériel et méthodes.....	12
3.1.	La méthode IDEA	12
3.1.1.	Deux approches : par dimensions et par propriétés	12
3.1.2.	Evaluation des propriétés grâce à la méthode d'agrégation DEXi	13
3.2.	CONTRA	13
3.2.1.	Aspects théoriques : la logique floue	14
3.2.2.	Paramétrage des fonctions d'appartenance avec l'appui des concepteurs de la méthode IDEA.....	16
3.3.	Analyse de sensibilité de Monte-Carlo.....	19
3.3.1.	Principe de l'analyse de sensibilité de Monte-Carlo	20
3.3.2.	Calibrage des calculateurs CONTRA	20
3.4.	Jeu de données d'exploitations agricoles françaises	22
3.4.1.	Constitution de la base de données par divers organismes.....	22
3.4.2.	Caractérisation du groupe d'exploitations agricoles.....	23
3.4.3.	Comparaison des résultats obtenus par les exploitations du jeu de données lors de l'agrégation par DEXi et CONTRA	24
4.	Résultats et interprétations.....	25
4.1.	Etude de la sensibilité de l'évaluation par DEXi	25
4.2.	Utilisation de la méthode CONTRA pour améliorer la sensibilité	25
4.2.1.	Implémentation de fonctions d'appartenance dans l'outil CONTRA	25
4.2.2.	Analyse de sensibilité : méthode de Monte-Carlo	27
4.3.	Comparaison de l'évaluation des propriétés par les outils DEXi et CONTRA.....	32
4.4.	Corrélations entre les différentes propriétés.....	38
4.4.1.	Analyse en composantes principales (ACP).....	39

4.4.2. Matrice des corrélations.....	40
5. Discussion	41
5.1. Mise en œuvre des méthodes.....	41
5.2. Discussion des résultats	42
6. Conclusion	45
Bibliographie.....	46
Annexes	53

Table des figures

Figure 1 : Les deux approches de l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles par la méthode IDEA4	2
Figure 2 : Etapes de construction d'un arbre de décision reposant sur la logique floue (adapté de Bockstaller <i>et al.</i> , 2017).....	15
Figure 3 : Fonctions d'appartenance de l'outil CONTRA appliquées aux indicateurs IDEA (C3 : fonction linéaire, C1 : fonction sinusoïdale, B3 : fonction tangente hyperbolique, B8 : fonction tangente hyperbolique avec une forte pente, A7 : fonction linéaire – tangente hyperbolique).....	18
Figure 4 : Arborescence des fichiers CONTRA pour réaliser l'évaluation de la propriété ancrage territorial	19
Figure 5 : Origine des enquêtes d'exploitations composant le jeu de données	22
Figure 6 : Localisation des exploitations du jeu de données.....	23
Figure 7 : Orientation Technico-Economique des Exploitations (OTEX) composant le jeu de données (autres viticulture : viticulture hors appellation, autres herbivores : élevages caprins et ovins, autres associations : associations culture et élevage hors OTEX 71, 72 et 81)	24
Figure 8 : Analyse de sensibilité des arbres de décision DEXi avec la méthode de Monte-Carlo à 5000 répétitions (A : robustesse avec une distribution en cloche, B : capacité productive avec une distribution décroissante)	25
Figure 9 : Différences entre les fonctions tangente hyperbolique standard et à forte pente	27

Figure 10 : Analyse de sensibilité des arbres CONTRA des propriétés autonomie et responsabilité globale avec les règles de décision préétablies dans l'outil CONTRA. La propriété autonomie est alors très bien évaluée (distribution centrée, gaussienne et étalée) tandis que la propriété responsabilité globale est mal évaluée (répartition très regroupée). Pour l'analyse de sensibilités des arbres des trois autres propriétés voir Annexe 8.....	27
Figure 11 : Analyse de sensibilité de l'évaluation de la branche Aléas de la propriété robustesse avant éventuelle application d'un terme de correction des règles de décision préétablies dans CONTRA...	29
Figure 12 : Amélioration de la sensibilité de l'évaluation de la branche Sensibilité de la propriété robustesse par le choix d'un terme de correction des règles de décision préétablies dans CONTRA..	30
Figure 13 : Amélioration de la sensibilité de l'évaluation de la branche Adaptation de la propriété robustesse par le choix d'un terme de correction des règles de décision préétablies dans CONTRA..	30
Figure 14 : Amélioration de la sensibilité de l'évaluation de la robustesse par le choix d'un terme de correction des règles de décision préétablies par CONTRA.....	31
Figure 15 : Répartition des exploitations du jeu de données dans les classes DEXi des cinq propriétés	32
Figure 16 : Répartition des notes CONTRA obtenues par les 120 exploitations du jeu de données pour chaque classe DEXi pour les cinq propriétés (A : robustesse, B : capacité productive, C : autonomie, D : responsabilité globale, E : ancrage territorial).....	33
Figure 17 : Arbre éclairé de la propriété robustesse agrégée par DEXi pour l'exploitation 94 du jeu de données.....	35
Figure 18 : Arbres éclairés de la propriété robustesse agrégée par CONTRA pour l'exploitation 94 du jeu de données (les valeurs situées sous les branches et à gauche des indicateurs sont leurs valeurs d'appartenance à la classe favorable).....	36
Figure 19 : Analyse de sensibilité des arbres CONTRA de propriété robustesse avec les règles de décision extrêmes prises en compte dans CONTRAV1 et avec le renseignement des règles de décision intermédiaires en plus dans CONTRAV2.....	37
Figure 20 : Répartition des notes CONTRA obtenues par les 120 exploitations du jeu données pour chaque classe DEXi pour la propriété robustesse évaluée par CONTRAV2.....	37
Figure 21 : Qualité de représentation des variables par les différentes dimensions	39
Figure 22 : Qualité de la représentation des variables	39
Figure 23 : Analyse en Composantes Principales des cinq propriétés	39
Figure 24 : Matrice des corrélations entre les cinq propriétés de la durabilité (seules les corrélations significatives sont représentées).....	40

Table des tableaux

Tableau 1 : Prise en charge des propriétés de la durabilité évaluées par des méthodes de la littérature par les propriétés définies dans la méthode IDEA4	4
Tableau 2 : Exemple de mise en classe dans DEXi et correspondance dans CONTRA	14
Tableau 3 : Répartition des notes des indicateurs IDEA dans les classes DEXi (les cases grisées ne comportent pas de notes pour cet indicateur)	16
Tableau 4 : Cas types d'attribution des fonctions d'appartenance pour les indicateurs en fonction du nombre de notes par classe qualitative (- : peu de notes dans la classe, + : quelques notes, ++ : beaucoup de notes, +++ : une large majorité des notes).....	17
Tableau 5 : Règles de décision de trois variables d'entrée équipondérées	20
Tableau 6 : Exemple d'agrégation conduisant à une synergie extrême positive par DEXi	21
Tableau 7 : Exemple d'agrégation conduisant à une synergie extrême positive par CONTRA.....	21
Tableau 8 : Mise en classe des notes de l'indicateur A7 dans l'outil DEXi	26
Tableau 9 : Mise en classe des notes de l'indicateur B8 dans l'outil DEXi	26
Tableau 10 : Principe de l'effet synergique lors de l'agrégation de trois variables équipondérées	28
Tableau 11 : Renseignement d'un terme de correction dans l'outil CONTRA	29
Tableau 12 : Tables de contingence des cinq propriétés (A : robustesse, B : capacité productive, C : autonomie, D : responsabilité globale, E : ancrage territorial)	34
Tableau 13 : Table de contingence de la propriété robustesse avec la prise en charge des synergies extrêmes et intermédiaires dans CONTRAv2.....	38
Tableau 14 : Nombre d'indicateurs en commun entre les différentes propriétés	41

1. Introduction

La notion de développement durable est apparue pour la première fois en 1987 dans le rapport Bruntland faisant référence au fait de produire aujourd'hui sans porter atteinte aux capacités de production des générations futures. Les dimensions environnementale, sociale et économique sont les trois composantes de la notion du développement durable. Bansal a dit en 2002 : "Sans un environnement sain, la vie humaine sera menacée. Sans équité sociale, les plus démunis exploiteront les ressources naturelles pour atteindre un niveau de vie acceptable. Sans développement économique, nous ne pourrons pas assurer le bien-être de nos propres générations et de celles à venir." Au sein des exploitations agricoles, la prise en compte du développement durable vise à promouvoir les systèmes économes et autonomes (Poly, 1978), à les rendre viables, vivables, reproductibles et transmissibles (Landais, 1998) tout en maintenant un échange entre la société et l'agriculteur (Féret et Douguet, 2001 ; Lauriol, 2004) afin de définir des valeurs communes (Commission Européenne, 2011 ; Zahm *et al.*, 2015). A l'après-guerre, la course à la productivité qu'a connue le monde agricole a conduit à des externalités négatives sur l'environnement (Pretty et Hine, 2002 ; Pretty, 2003). La recherche de davantage de durabilité au sein des exploitations va à l'encontre de ce processus.

Pour favoriser les démarches et actions en faveur de la durabilité, il est très utile de passer par une étape d'évaluation. Celle-ci permettra de pouvoir comparer les systèmes entre eux, identifier des voies d'amélioration, s'assurer du respect de normes ou encore suivre une transition sur le long terme (Bockstaller *et al.*, 2015). Elle peut se faire à différentes échelles (Mouchet, 1998 ; Walker *et al.*, 2014) :

- nationale pour suivre des projets d'envergure ;
- territoriale par exemple pour accompagner une démarche de coopération entre les différents acteurs locaux ;
- de l'exploitation pour se situer par rapport à d'autres exploitations de la filière ou du territoire ;
- de la parcelle pour identifier les leviers d'amélioration du système de culture.

Durant de nombreuses années, l'évaluation a été perçue comme négative dû aux sanctions qui en découlaient (Mouchet, 1998). Sa perception par le monde agricole change peu à peu et cette discipline apparaît aujourd'hui comme un outil d'amélioration des systèmes à la portée des agriculteurs (Zahm *et al.*, 2020).

La méthode IDEA (Indicateurs de la Durabilité des Exploitations Agricoles) a été créée en 2000 (Vilain, 2008) et permet une évaluation globale de la durabilité à l'échelle de l'exploitation. Il s'agit de l'une des quatre méthodes les plus utilisées en Europe pour évaluer la durabilité des exploitations agricoles (De Olde *et al.*, 2016).

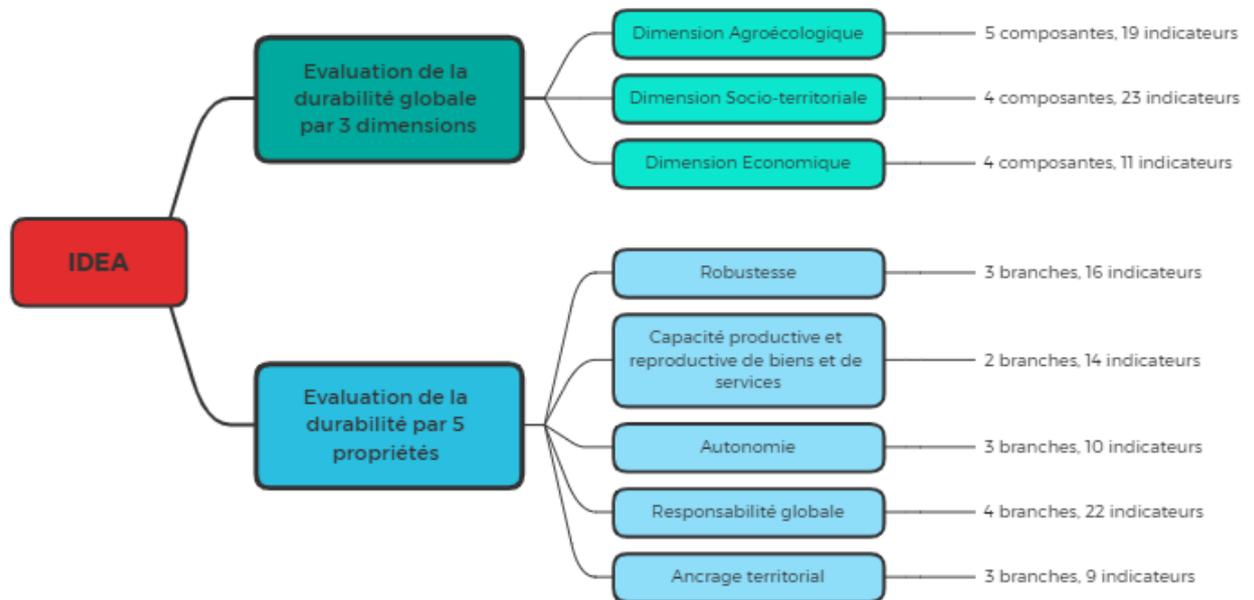


Figure 1 : Les deux approches de l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles par la méthode IDEA4

La méthode IDEA dans sa version 3 reposait sur l'évaluation de 53 indicateurs dont les notes sont plafonnées, pondérées et agrégées par somme de notes en trois dimensions de la durabilité (agroécologique, socio-territoriale et économique). La dernière révision de la méthode, encore en cours, doit aboutir à la version 4 (Zahm *et al.*, 2020). Cette dernière propose une approche complémentaire d'évaluation de la durabilité (Figure 1), transversale, basée sur l'évaluation de cinq propriétés de la durabilité en plus de l'évaluation par les trois dimensions de la durabilité (Zahm *et al.*, 2015 ; Zahm *et al.*, 2019).

Pour l'évaluation des propriétés, les indicateurs sont agrégés grâce à l'outil DEXi (Bohanec et Rajkovič, 1999) qui repose sur une logique booléenne : à partir d'une ou plusieurs conditions (si), il élabore une conclusion (alors). Pour construire les arbres de décision (Annexe 1) des propriétés dans l'outil DEXi, les notes de chacun des 53 indicateurs de la méthode ont dû être réparties en trois classes générales (favorable, intermédiaire, défavorable). Une classe (très défavorable) alertant sur un facteur très préjudiciable pour la durabilité de l'exploitation est utilisée pour certains indicateurs. Cet outil d'agrégation a l'avantage de reposer sur des règles linguistiques simples et d'éviter la compensation entre les variables. Cependant, il présente des inconvénients : la mise en classe qualitative conduit à des effets de seuils et une explosion combinatoire avec des tableaux très lourds

pour traiter l'ensemble des cas de figure (Lairez *et al.*, 2015). Les effets de seuils sont des ruptures de continuité dans l'évaluation, c'est-à-dire le passage à la classe qualitative supérieure dès que l'indicateur dépasse la limite de classe. La discrimination des exploitations agricoles proches est alors difficile puisqu'une différence minimale mal placée peut impacter significativement leur évaluation, alors que si cette différence était considérée seule, elle ne constituerait pas une différence majeure pour la durabilité de l'exploitation.

Ainsi, pour se soustraire à ces effets négatifs et permettre de discriminer des exploitations aux caractéristiques proches (Craheix *et al.*, 2015), nous avons cherché à adapter un nouvel outil d'agrégation à l'approche par propriétés de la méthode IDEA afin d'en améliorer la sensibilité et de nuancer les conclusions. Nous avons sélectionné un outil d'agrégation reposant sur la logique floue. Cette logique attribue à chaque note des indicateurs une valeur d'appartenance à la classe favorable contrairement à la logique booléenne qui peut attribuer la même classe à plusieurs notes. Des travaux encore en cours tendent à montrer que l'utilisation de la logique floue pour l'agrégation d'indicateurs dans le cadre de l'évaluation des exploitations ou des pratiques agricoles reste marginale (Bockstaller *et al.*, 2020). Nous avons donc utilisé l'outil d'agrégation CONTRA reposant sur la logique floue (Bockstaller *et al.*, 2017) pour l'évaluation des propriétés de la durabilité des exploitations définies dans la méthode IDEA4. Après avoir construit les arbres de décision des propriétés à l'aide de l'outil d'agrégation CONTRA, nous avons procédé à une analyse de sensibilité des résultats obtenus par les deux types d'arbres de décision. L'analyse de sensibilité va nous permettre d'établir si l'utilisation de l'outil CONTRA permet de produire une évaluation plus discriminante des exploitations agricoles (Bockstaller *et al.*, 2008).

Les travaux effectués au cours de ce stage s'articulent autour de la problématique suivante :
Comment lever les effets de seuils dans le processus d'agrégation des indicateurs de la méthode IDEA pour l'évaluation des propriétés de la durabilité des exploitations agricoles ?

Ce travail s'inscrit dans le CASDAR (Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural) ACTION (Accompagnement au Changement vers la TransitiON agro-écologique pour une performance globale des exploitations agricoles) qui est financé de septembre 2017 à juin 2021. Ce projet a pour objectif de rendre opérationnelle la version 4 de la méthode IDEA afin d'accompagner les exploitations agricoles dans leur transition agroécologique (Méthode-idea.org). L'unité de recherche dans laquelle j'ai effectué mon stage a été chargée de fournir un appui scientifique sur l'agrégation qualitative des indicateurs en propriétés de la durabilité. Ainsi au cours de mon stage, sous la supervision de Christian Bockstaller, j'ai travaillé sur l'agrégation des propriétés de la durabilité définies par la méthode IDEA.

2. Etat de l'art

Richard *et al.* (2018) ont opposé deux types de durabilité :

1. l'approche statique qui évalue généralement l'atteinte des objectifs de la durabilité,
2. l'approche dynamique de la durabilité procédant à une évaluation par propriétés.

L'approche dynamique de la durabilité permet de procéder à une évaluation plus transversale en ne séparant pas nécessairement les trois piliers du développement durable.

Alors que l'évaluation de la durabilité poursuit bien souvent des objectifs fixés par des experts, par les attentes sociétales ou par la législation (Mouchet, 1998), il existe également quelques méthodes détaillées dans la littérature évaluant des systèmes par la voie des propriétés, en ayant donc une approche dynamique de la durabilité (Dalsgaard *et al.*, 1995 ; Lefroy *et al.*, 2000 ; López-Ridaura *et al.*, 2002 ; Bonny *et al.*, 2010).

2.1. Les différentes méthodes d'évaluation dynamique de la durabilité et leurs propriétés

Plusieurs auteurs ont proposé des méthodes basées sur les propriétés (Tableau 1) à la suite de Dalsgaard *et al.* (1995). Ces méthodes comprennent quatre à cinq propriétés. Les propriétés les plus citées sont : la stabilité, la productivité et l'équité. Certaines variantes de la méthode MESMIS ont défini des propriétés originales comme la préservation des ressources naturelles et la capacité de changement (Arnés *et al.*, 2013).

Tableau 1 : Prise en charge des propriétés de la durabilité évaluées par des méthodes de la littérature par les propriétés définies dans la méthode IDEA4

IDEA4 (Zahm <i>et al.</i> , 2015)	MESMIS (López-Ridaura <i>et al.</i> , 2002)	API (Bonny <i>et al.</i> , 2010)	FESLM (Lefroy <i>et al.</i> , 2000)	Dalsgaard <i>et al.</i> , 1995
Robustesse	Adaptabilité Stabilité / résilience / fiabilité	Stabilité Diversité	Acceptabilité	Stabilité Diversité
Capacité productive et reproductive de biens et de services	Productivité	Productivité Rentabilité Dotation en capital humain	Productivité Sécurité Viabilité	Capacité
Autonomie	Autonomie	Efficacité du groupe		
Responsabilité globale	Equité	Equité	Protection	Bouclage des cycles
Ancrage territorial				

La version 4 de la méthode IDEA reprend des propriétés existantes dans la littérature (Tableau 1) et en ajoute une : l'ancrage territorial qui n'était pas prise en compte par de précédentes méthodes.

2.2. Définitions des cinq propriétés évaluées par IDEA4

2.2.1. Robustesse

Définition

La robustesse est définie comme suit dans la méthode IDEA4 : « la capacité à faire face à des variations (internes ou externes) de différentes intensités (fluctuations, perturbations, chocs) et de différentes natures (environnementales, sociales, économiques) et à conserver ou retrouver un état d'équilibre » (Zahm *et al.*, 2019).

Ce concept est très souvent appelé résilience dans la littérature mais ce terme apparaissait comme très théorique et peu parlant pour des acteurs tels que les agriculteurs enquêtés. Les concepteurs de la méthode IDEA ont alors fait le choix de nommer ce concept robustesse.

Nous étudierons donc dans la littérature les concepts de robustesse et de résilience mais aussi celui de vulnérabilité, l'inverse de ces deux concepts.

Différences entre les concepts de robustesse et de résilience

Certains auteurs, contrairement aux concepteurs de la méthode IDEA4 font état de différences conceptuelles entre la robustesse et la résilience. Urruty *et al.* (2016) voient le concept de résilience comme une notion plus dynamique que la robustesse en y incluant un aspect temporel. Nous observons que les indicateurs permettant d'évaluer la robustesse des exploitations agricoles avec la méthode IDEA sont basés sur des données temporelles et atemporelles. Ainsi la robustesse de IDEA4 est un concept hybride entre la résilience et la robustesse définies par Urruty *et al.* (2016) en intégrant une dimension passive de résistance et active de reconfiguration du système suite à une perturbation.

Propriétés associées à un système robuste

La robustesse d'un agrosystème peut être caractérisée par :

- Sa persistance, faculté du système à maintenir ses fonctions malgré les perturbations (Jen, 2003 ; Folke *et al.*, 2010 ; Unay-Gailhard *et al.*, 2018),
- Sa flexibilité qui est la capacité du système à admettre une palette de fluctuations tout en parvenant à revenir à son état d'équilibre (Bardey *et al.*, 2002 ; Chia et Marchesnay, 2010 ; Dedieu et Ingrand, 2010 ; Nozières-Petit, 2014 ; Oliveira *et al.*, 2015 ; Olson *et al.*, 2015 ; Urruty *et al.*, 2017),
- Son adaptabilité lui permettant d'atteindre de nouveaux états stables suite à l'occurrence de la perturbation sans s'éloigner de son actuelle trajectoire (López-Ridaura *et al.*, 2005 ; Dedieu

et Ingrand, 2010 ; Folke *et al.*, 2010 ; Cabell et Oelofse, 2012 ; Walker, 2014 ; Charreyron-Perchet, 2015 ; Oliveira *et al.*, 2015 ; Unay-Gailhard *et al.*, 2018 ; Meuwissen *et al.*, 2019),

- Sa capacité de transformation qui fait de lui un système en mesure de se réorganiser en profondeur, notamment en modifiant sa structure et ses mécanismes de rétroaction, lorsque les conditions environnementales, sociales et/ou économiques ne lui permettent plus de maintenir ses fonctions telles qu'elles (Folke *et al.*, 2010 ; Walker *et al.*, 2014 ; Unay-Gailhard *et al.*, 2018 ; Meuwissen *et al.*, 2019),

Différents leviers ont été identifiés pour gagner en robustesse, la diversité (Dedieu et Ingrand, 2010) et l'hétérogénéité (Urruty *et al.*, 2017) en sont deux.

De Goede *et al.* (2013) introduisent deux mesures de la robustesse : son élasticité comme indicateur du temps que le système met à revenir à la normale et son amplitude comme l'ampleur maximale des perturbations que le système peut absorber avant de rompre ou de s'effondrer.

Branches de l'arbre de décision permettant l'évaluation de la propriété robustesse

Dans IDEA4, l'évaluation de la propriété Robustesse repose sur trois branches équipondérées :

- « Limiter l'exposition aux aléas » en contrôlant les interactions entre le système et son environnement,
- « Réduire la sensibilité » du système soit les menaces pesant sur lui et pouvant affecter sa productivité,
- « Augmenter la capacité d'adaptation » afin que le système puisse évoluer suite à une perturbation de grande intensité.

Ces mêmes branches étaient considérées par de Goede *et al.* (2013) comme différents états de robustesse. Comme Urruty *et al.* (2016), ils définissent la vulnérabilité comme le revers de la robustesse. D'autres auteurs (Adger, 2006 ; Bouttes *et al.*, 2018) définissent de la même manière la vulnérabilité comme la conjugaison de l'exposition (nature et degré auquel le système subit un stress), de la sensibilité (degré de modification du système subissant la perturbation) et de la capacité d'adaptation du système (capacité du système à évoluer tout en s'adaptant à son environnement).

Ten Napel *et al.* (2006) proposent deux stratégies distinctes d'amélioration de la robustesse des systèmes : l'élimination des perturbations (modèle de contrôle) et l'adaptation du système afin de réduire les conséquences des perturbations (modèle d'adaptation). La robustesse de IDEA combine les deux stratégies d'amélioration de la robustesse proposées par Ten Napel *et al.* (2006).

Ces branches agrègent des indicateurs relevant à la fois de facteurs écologiques et de production ce qui rapproche la propriété robustesse évaluée par IDEA4 de la robustesse dite agroécologique définie par Sabatier et Mouysset (2018). L'évaluation de la robustesse aurait également pu se faire uniquement du point de vue productif (robustesse agronomique) ou écologique (robustesse écologique).

2.2.2. Capacité productive et reproductive de biens et de services

Définition

La durabilité des exploitations agricoles repose sur « sa capacité à produire et à reproduire dans le temps long, de manière efficiente, des biens et services, en dégagant suffisamment de revenu pour maintenir l'activité, sans dégrader sa base de ressources naturelles et sociales » (Zahm *et al.*, 2019).

Cette définition fait directement référence à la non substituabilité du capital naturel de l'exploitation agricole par les autres capitaux qu'il s'agisse du capital foncier, financier, ou humain (Grolleau *et al.*, 2014 ; Zahm *et al.*, 2015). La méthode IDEA4 se place donc dans la dimension forte de la durabilité telle qu'elle est définie par le courant de l'économie écologique.

Par soucis de simplification, toute référence qui sera faite à la propriété capacité productive et reproductive de biens et de services dans le mémoire sera réduite à l'appellation capacité productive.

Selon López-Ridaura *et al.* (2002), la productivité d'une entreprise se découpe en deux volets :

- la rentabilité de la production, donc un aspect économique de l'activité permettant d'assurer un revenu suffisant à l'exploitant agricole,
- l'efficacité productive qui mesure à la fois le rendement et la qualité des productions. Ce deuxième aspect est essentiel dans un monde où la croissance démographique menace la sécurité alimentaire (Pretty et Hine, 2002). Dans une vision de durabilité forte, le maintien d'une productivité élevée ne doit pas se faire au moyen d'un appauvrissement des ressources naturelles (Ripoll-Bosch *et al.*, 2012). Cependant Pretty (2003) avançait le fait que la productivité pouvait augmenter par le gain de capital naturel, social et humain. Ainsi la productivité et la durabilité, bien qu'étant des concepts qui semblent opposés, nécessitent que les agriculteurs les considèrent conjointement pour imaginer leur transition agroécologique.

Branches de l'arbre de décision permettant l'évaluation de la propriété capacité productive

Dans IDEA4, l'évaluation de la propriété capacité productive repose sur deux branches équipondérées :

- « Capacité à produire dans le temps des biens et services rémunérés » qui repose en grande partie sur la préservation des ressources naturelles et sociales nécessaire au processus de production,
- « Capacité à dégager un revenu dans le temps » assurant ainsi la vivabilité de l'activité agricole pour l'exploitant.

Gafsi (2006) a défini la durabilité autocentrée de l'exploitation agricole comme le maintien de la capacité à produire d'une exploitation par la préservation des moyens naturels et humains de production. Cette définition est largement couverte par la première branche de la propriété capacité productive de la méthode IDEA.

2.2.3. Autonomie

Définition

La propriété autonomie est définie dans la méthode IDEA4 comme suit : « la capacité à produire des biens et des services à partir de ressources propres ou collectives locales (humaines, naturelles, physiques, cognitives, etc.), à permettre à l'exploitant agricole de disposer de sa liberté de décision et de développer des modes d'action permettant de limiter sa dépendance aux dispositifs de régulation publique (aides, quotas, droits à produire, ...) et aux acteurs de l'amont et de l'aval » (Zahm *et al.*, 2019).

L'autonomie ainsi définie n'est cependant pas la recherche de l'autarcie (Grolleau *et al.*, 2014 ; Lucas et Gasselín, 2020) puisque l'agriculture est par définition en lien avec son environnement pour la commercialisation de ses produits.

Branches de l'arbre de décision permettant l'évaluation de la propriété autonomie

Dans IDEA4, l'évaluation de la propriété autonomie repose sur trois branches équipondérées :

- « Disposer d'une liberté de décision dans ses choix de gouvernance et de production »,
- « Disposer d'une autonomie financière », soit s'assurer que l'existence de l'exploitation ne repose pas de manière trop importante sur les emprunts bancaires ou les aides de l'Europe,
- « Autonomie dans le processus productif », soit la limitation du recours aux intrants extérieurs à l'exploitation afin de maîtriser leur approvisionnement et les coûts de production afin d'assurer la rentabilité de l'activité.

Le maintien de l'identité de l'exploitation agricole n'est possible que si l'exploitant a réussi à conserver sa liberté de décision. Celle-ci apparaît comme un indicateur de l'autonomie de l'exploitation vis-à-vis des acteurs situés en amont et en aval de la production (López-Ridaura *et al.*, 2002 ; Speelman *et al.*, 2007 ; Hellec et Blouet, 2012 ; Lucas et Gasselin, 2020). La diversification des relations contractuelles permet à l'exploitant de ne pas être dépendant d'un nombre trop restreint de clients potentiels (Ploeg, 2014 ; Sautereau et Petitgenet, 2014). La coopération locale (Ploeg, 2014) par le biais des réseaux d'agriculteurs, des CUMA (Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole) ou encore du travail collectif permet aux exploitants d'atteindre une certaine liberté organisationnelle.

Le levier le plus fréquemment mis en avant dans la littérature (Féret et Douguet, 2001, ; López-Ridaura *et al.*, 2002 ; Pretty et Hine, 2002 ; Pretty, 2003 ; Hellec et Blouet, 2012 ; Ripoll-Bosch *et al.*, 2012 ; Arnés *et al.*, 2013 ; Coquil, 2014 ; Grolleau *et al.*, 2014) pour le gain d'autonomie des exploitations agricoles est la réduction du recours aux intrants extérieurs (engrais, fourrages, concentrés, énergie, matériel, semences). En effet, en limitant le recours aux intrants que l'exploitation ne sait produire par elle-même, elle diminue sa vulnérabilité et sa dépendance à la disponibilité des intrants et aux fluctuations des prix du marché. Pour augmenter son autosuffisance et plus généralement sa durabilité, l'exploitation doit également limiter son utilisation d'énergies fossiles dont le prix est fluctuant et les réserves limitées (Risoud, 1999 ; Pretty, 2003).

Cependant, la méthode IDEA4 ne prend pas en compte le fait que le gain d'autonomie par la diminution du recours aux intrants issus de l'extérieur entraîne un déplacement de la dépendance vers des processus naturels tels que la régulation des ravageurs par leurs ennemis naturels ou encore la fixation d'azote dans le sol par les légumineuses (Sautereau et Petitgenet, 2014). Ce déplacement de la dépendance oblige une connaissance très précise l'agroécosystème par l'agriculteur afin d'en tirer les meilleurs bénéfices pour son activité (Poly, 1978 ; Ploeg, 2014 ; Lucas et Gasselin, 2020).

Recoupement des concepts d'autonomie et de robustesse

Force est de constater que plusieurs notions de la durabilité se recoupent, notamment l'autonomie et la résilience (pris en compte par la propriété robustesse dans IDEA4). Certains leviers cités dans la littérature comme permettant d'atteindre une meilleure autonomie de l'exploitation agricole, ne sont pas pris en compte dans l'évaluation de la propriété autonomie mais dans celle de la propriété robustesse :

- la formation (López-Ridaura *et al.*, 2002) pouvant notamment conduire à l'amélioration de l'efficacité technique du processus de production (Ploeg, 2014),
- la diversification des productions (Ploeg, 2014),

- la diversité des activités (Ploeg, 2014).

Relative opposition de l'autonomie et de la productivité

Un système autonome peut se révéler peu productif (Grolleau *et al.*, 2014), il ne sera alors ni durable ni reproductible. Cette constatation renforce l'idée qu'il est nécessaire de considérer les cinq propriétés de IDEA dans leur ensemble afin de mener une évaluation transversale et exhaustive de la durabilité des exploitations agricoles.

2.2.4. Responsabilité globale

Définition

La méthode IDEA4 au travers de la propriété responsabilité globale questionne de nombreux sujets liés à la responsabilité sociétale de l'entreprise (RSE). La responsabilité globale est définie ainsi dans la méthode : « degré d'engagement de l'exploitant agricole dans une démarche globale qui prend en compte les impacts environnementaux, sociaux et économiques dans ses choix de pratiques et d'activités. Cet engagement se structure autour de valeurs renvoyant à l'éthique et à l'équité » (Zahm *et al.*, 2019).

Ce changement de dimension s'explique par le fait que l'entreprise seule ne peut assumer la charge de la durabilité de son activité. En effet, de par ses interactions avec diverses parties prenantes, elle s'insère dans un processus plus global (Berthouin Antal et Sobczak, 2004 ; Gafsi, 2006).

Branches de l'arbre de décision permettant l'évaluation de la propriété responsabilité globale

Dans IDEA4, l'évaluation de la propriété responsabilité globale repose sur quatre branches équipondérées :

- « Implications et engagements sociaux »,
- « Partager équitablement les ressources »,
- « Contribuer à la qualité de vie sur l'exploitation »,
- « Réduire ses impacts sur la santé et les écosystèmes. »

La première branche « Implication et engagements sociaux » fait en partie référence à une démarche de transparence de la part de l'agriculteur vis-à-vis de la société (Gond et Mullenbach-Servayre, 2003). Les exploitations agricoles assurent la sécurité alimentaire de par leur production (Bansal, 2002 ; Gond et Mullenbach-Servayre, 2003) ce qui constitue un engagement auprès de la société.

Les ressources nécessaires à l'exploitation agricole doivent être utilisées raisonnablement afin d'assurer leur disponibilité sur le long terme, pour les générations futures (Bansal, 2002 ; Ministère de l'Agriculture, 2014).

La prise en compte de l'équité sociale revêt une volonté de considération des personnes travaillant sur l'exploitation indépendamment de présupposés initiaux (Bansal, 2002 ; Gond et Mullenbach-Servayre, 2003). Cela passe par le maintien d'un environnement de travail sain et de conditions de travail acceptables (Bansal, 2002 ; Gond et Mullenbach-Servayre, 2003). La considération du monde animal fait également partie de la durabilité de l'exploitation qu'il s'agisse d'animaux d'élevage ou plus largement de la biodiversité.

La dernière branche « Réduire ses impacts sur la santé et les écosystèmes » s'attèle à l'évaluation de la dimension environnementale du développement durable. La préservation de l'environnement est nécessaire afin d'assurer une qualité de vie décente aux générations futures (Bansal, 2002 ; Pretty, 2003 ; Gond et Mullenbach-Servayre, 2003 ; Zahm *et al.*, 2015).

Recoupement des concepts d'autonomie et d'ancrage territorial

La RSE fait également référence à l'implication locale de l'entreprise (Gond et Mullenbach-Servayre, 2003). Or dans IDEA, cette composante constitue une propriété à part entière : c'est l'ancrage territorial. Si la responsabilité globale de IDEA considère l'impact de l'exploitation agricole sur les ressources en eau, sur l'air et la biodiversité, Gafsi (2006) a considéré ces aspects comme faisant pleinement partie de l'ancrage territorial des exploitations. Ainsi, les définitions des concepts de RSE et d'ancrage territorial ne sont pas unanimes dans la littérature.

2.2.5. Ancrage territorial

Définition

La propriété ancrage territorial est définie ainsi dans la méthode IDEA4 : « la capacité à contribuer à un processus de co-production et de valorisation de ressources territoriales. Il caractérise également la nature et l'intensité des liens marchands et non marchands que l'exploitation agricole construit avec son territoire, ses habitants, ses acteurs, son groupe social de vie » (Zahm *et al.*, 2019).

Branches de l'arbre de décision permettant l'évaluation de la propriété ancrage territorial

Dans IDEA4, l'évaluation de la propriété Ancrage territorial repose sur trois branches équipondérées :

- « Valoriser la qualité territoriale »,
- « Contribuer à des démarches d'économie circulaire »,
- « S'inscrire dans des démarches de territoire. »

Gafsi (2006) met en avant le fait que la durabilité de l'exploitation agricole se mesurait également par l'apport de celle-ci à la durabilité du territoire sur lequel elle est implantée. La valorisation du terroir peut se faire via la diffusion de produits sous Appellations d'Origine

Contrôlée (AOC) ou Indication Géographique Protégée (IGP) permettant au consommateur d'avoir une traçabilité du produit (Chazoule et Lambert, 2011). Ce type de produits apparaît aux yeux du consommateur comme de meilleure qualité, moins industriel, plus authentique et possédant une identité culturelle à laquelle ils associent des savoirs faire spécifiques (Gafsi, 2006 ; Chazoule et Lambert, 2011). De par son existence souvent ancienne et donc du bâti qui y est présent, l'exploitation agricole contribue aussi à maintenir la richesse architecturale du territoire (Gafsi, 2006).

Gafsi (2006) avance que les exploitations agricoles ne cherchant pas à exploiter sans limite les ressources naturelles locales mais cherchant à les valoriser localement notamment via la vente directe ou via des circuits-courts présentaient un bon ancrage territorial. La valorisation des produits est également meilleure via les circuits-courts puisqu'il y a alors une meilleure transmission des spécificités de production entre le producteur et le consommateur (Pretty et Hine, 2002 ; Chazoule et Lambert, 2011). L'économie circulaire renforce les réseaux d'acteurs à échelle locale ce qui augmente la durabilité du territoire par l'activité agricole (Gafsi, 2006). Par sa contribution à l'emploi notamment, l'activité agricole contribue également au développement territorial (Gafsi, 2006).

3. Matériel et méthodes

3.1. La méthode IDEA

3.1.1. Deux approches : par dimensions et par propriétés

La version 4 de la méthode IDEA propose deux approches complémentaires de la durabilité : une approche classique par les trois dimensions de la durabilité et une approche par cinq propriétés (Figure 1).

L'évaluation des trois dimensions de la durabilité se fait grâce à 53 indicateurs : 19 pour la dimension agroécologique, 23 pour la dimension socio-territoriale et 11 pour la dimension économique. Le résultat alloué à chaque dimension prend la forme d'une note sur 100 résultant de la somme des notes plafonnées obtenues à chacune de ses composantes dont les notes sont elles-mêmes issue de la somme plafonnée des indicateurs qu'elles comportent. Aucun indicateur n'est présent dans plusieurs dimensions et la compensation entre les indicateurs d'une même composante est exclue. Ainsi l'évaluation de chaque dimension est indépendante des autres. L'évaluation de la durabilité globale de l'exploitation agricole se fait selon le principe de la durabilité forte (Zahm *et al.*, 2015) : la perte d'un capital ne peut être compensée par un autre, par exemple, une diminution de la qualité du sol ne peut être compensée par de meilleurs résultats économiques. La note finalement

attribuée à la durabilité globale de l'exploitation est la note minimale obtenue entre les trois dimensions.

L'évaluation des cinq propriétés de la durabilité se fait grâce à des arbres de décisions (Annexe 2 à 6) plus ou moins équilibrés, présentant deux à quatre branches primaires. Les indicateurs utilisés pour l'évaluation des propriétés, sont les mêmes que ceux mobilisés dans l'approche par les dimensions. Ils peuvent être redondants entre les propriétés : par exemple, l'indicateur B15 à propos du travail collectif est utilisé dans l'évaluation de quatre des cinq propriétés. Parmi les 53 indicateurs de la méthode, 12 sont utilisés dans l'évaluation d'au moins deux propriétés.

3.1.2. Evaluation des propriétés grâce à la méthode d'agrégation DEXi

DEXi est un outil d'agrégation largement utilisé permettant la construction d'arbre de décision (Lairez *et al.*, 2015). L'ensemble des feuilles de ces arbres (Annexe 1), correspondant dans notre cas aux indicateurs IDEA, se voit attribuer une classe qualitative en fonction de la note obtenue. Dans le cas des propriétés de IDEA, les indicateurs sont généralement évalués sur une échelle de trois classes qualitatives ordinales (Défavorable, Intermédiaire, Favorable) à laquelle peut venir s'ajouter la classe Très défavorable ayant pour but de mettre en lumière une caractéristique alarmante de l'exploitation agricole évaluée. Il existe deux autres cas spéciaux : l'indicateur A7 comprend la classe Non-concernée (NC) pour les exploitations sans élevage et l'indicateur C7 ne possède pas de classe Défavorable. L'ensemble des branches des arbres ainsi que l'arbre lui-même (correspondant ici à la propriété), sont évalués sur une échelle de quatre classes (Très défavorable, Défavorable, Favorable, Très favorable). Dans l'outil DEXi, l'utilisateur définit une fonction d'utilité qui correspond aux règles de décision (Craheix *et al.*, 2015). Cette fonction d'utilité peut être définie automatiquement ou alors manuellement comme l'ont fait les concepteurs de la méthode IDEA lors de leur travail sur l'agrégation des indicateurs en propriétés, leur but étant de faire émerger des synergies positives et négatives entre les variables agrégées. L'absence de classe Intermédiaire pour les branches révèle une volonté des concepteurs de la méthode de trancher sur la durabilité des exploitations et d'éviter de retrouver une majorité d'exploitations agricoles classées avec une durabilité moyenne. Cette méthode d'évaluation est un outil d'aide à la décision, ainsi il apparaissait nécessaire aux concepteurs d'identifier les propriétés de la durabilité sur lesquelles l'exploitant agricole doit concentrer ses efforts pour améliorer la durabilité de son activité.

3.2. CONTRA

CONTRA (CONstruction Transparente d'Arbres de décision) est un outil d'agrégation développé par Bockstaller *et al.* (2017) combinant les avantages de différents outils, la flexibilité de

des arbres de décision comme dans DEXi (Bohanec *et al.*, 2008), la logique floue de FISPRO (Guillaume et Charnomordic, 2011, 2012) et la faible subjectivité de SIRIS (Vaillant *et al.*, 1995 ; Guerbet et Jouany, 2002). L'outil FISPRO repose sur la logique floue cependant tout comme DEXi il présente un manque de transparence et des règles de décision subjectives. L'outil SIRIS quant à lui cherche à réduire la subjectivité mais il manque de flexibilité et n'utilise pas la logique floue.

3.2.1. Aspects théoriques : la logique floue

L'outil de construction d'arbre de décision CONTRA repose sur la logique floue (Bockstaller *et al.*, 2017), c'est-à-dire que les variables d'entrée (ici nos indicateurs et branches) n'appartiennent plus à des classes successives séparées par une limite de classe ou seuil, comme dans DEXi, mais appartiennent soit à l'une des deux classes extrêmes (Défavorable et Favorable) soit à une classe floue située entre ces deux ci (Tableau 2).

Tableau 2 : Exemple de mise en classe dans DEXi et correspondance dans CONTRA

L'outil CONTRA permet de passer d'une variable d'entrée quantitative discrète (ici les notes attribuées aux indicateurs) à une variable de sortie quantitative continue (ici la note entre 0 et 10 attribuée aux propriétés).

Classes DEXi	Très défavorable	Défavorable	Favorable	Très favorable
Notes de l'indicateur	0 ; 1 ; 2	3 ; 4 ; 5	6 ; 7 ; 8	9 ; 10
Classes CONTRA	Défavorable	Classe floue		Favorable
Notes de l'indicateur	0	1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9		10

La Figure 2 illustre les quatre étapes de construction d'un arbre de décision associant la logique floue, ceci dans ce cas simple avec deux intervalles (favorable et défavorable) :

- L'étape 1 porte sur la définition des règles de décision (RDD) de l'arbre et est commune à la démarche de construction dans l'outil DEXi.

Dans l'outil CONTRA, les valeurs de conclusion des règles de décision peuvent être modifiées par l'utilisateur en appliquant un terme de correction, par exemple pour limiter la compensation des variables (Tableau 5).

- Les étapes 2, 3 et 4 portant sur la définition des intervalles flous (fuzzification) et des fonctions d'appartenance, le calcul de valeur d'appartenance ainsi que sur le calcul de la valeur de conclusion (défuzzification) sont spécifiques à la logique floue.

Etape 2 : Deux valeurs extrêmes doivent être renseignées et correspondent aux limites favorables (LF) et défavorables (LD). Tout indicateur ayant une note supérieure à la LF appartient à la classe Favorable et inversement pour toute note inférieure à la LD. Les notes comprises entre ces deux

limites appartiennent quant à elles à une classe floue. Le choix de la forme de la courbe de la fonction d'appartenance est déterminé par l'utilisateur selon sa connaissance de l'indicateur ou de la branche en question. L'ensemble des fonctions d'appartenance sera donné par la suite à la Figure 3.

Etape 3 : Une valeur d'appartenance est calculée par règle de décision à partir des valeurs d'appartenance de chaque variable d'entrée au sous-ensemble « Favorable » ou « Défavorable ». Deux opérateurs sont couramment utilisés : le minimum ou le produit.

Etape 4 : Les valeurs de conclusion de chaque RDD sont ensuite agrégées en une moyenne pondérée par les valeurs d'appartenance des variables d'entrée à chacune de ces RDD. Ainsi, deux valeurs proches qui pourraient souffrir d'un effet de seuil et se retrouver dans deux classes qualitatives différentes dans DEXi, ne sont pas autant différenciées dans CONTRA, puisqu'elles se voient attribuer des VA proches à la classe Favorable puis aux différentes RDD.

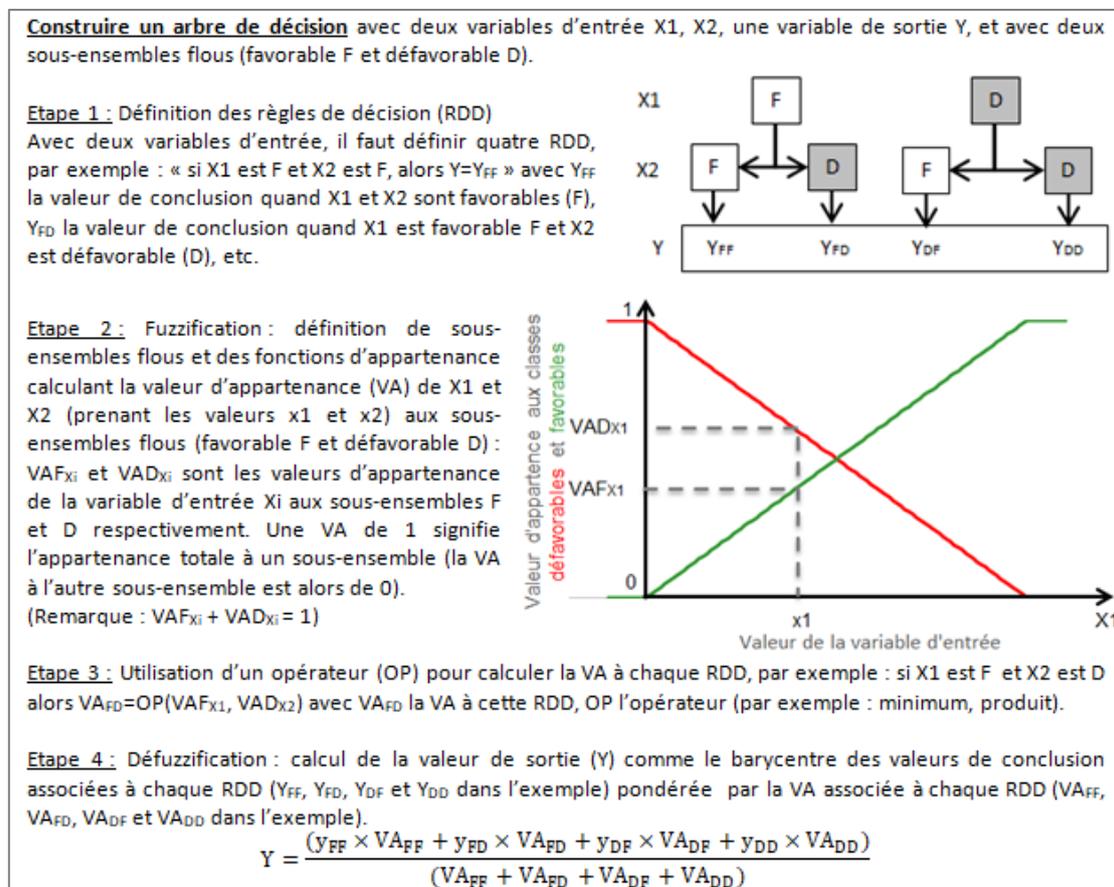


Figure 2 : Etapes de construction d'un arbre de décision reposant sur la logique floue (adapté de Bockstaller et al., 2017)

Il est possible de généraliser la méthode à plus d'intervalles et même de passer de valeurs de conclusion numériques à des sous-ensembles flous mais cela dépasse l'outil CONTRA et est disponible dans l'outil FISPRO.

3.2.2. Paramétrage des fonctions d'appartenance avec l'appui des concepteurs de la méthode IDEA

Détermination des limites favorables et défavorables

Pour la majorité des indicateurs IDEA, ce sont les notes extrêmes de chaque indicateur qui ont été utilisées comme limites défavorable et favorable (respectivement 0 et 5 pour l'indicateur B17 par exemple, voir Tableau 3). Cependant, pour certains indicateurs des adaptations ont été nécessaires afin que le paramétrage des variables d'entrées reflète au mieux la réalité du terrain. Ces choix ont été faits sur la base des experts d'IDEA4 : Frédéric Zahm, Sydney Girard et David Carayon de l'UR ETBX de INRAE. Afin d'illustrer ce travail, nous allons exposer le travail réalisé sur trois indicateurs (Tableau 3).

Tableau 3 : Répartition des notes des indicateurs IDEA dans les classes DEXi (les cases grisées ne comportent pas de notes pour cet indicateur)

Indicateur IDEA	Très défavorable	Défavorable	Intermédiaire	Favorable
B17		0	1 ; 2	3 ; 4 ; 5
C7			0	4
B19		-2 ; -1 ; 0 ; 1	2	3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10
B16	-7 ; -6 ; -5 ; -4 ; -3 ; -2 ; -1	0 ; 1 ; 2 ; 3	4 ; 5 ; 6 ; 7	8 ; 9 ; 10

Changement total des limites

Pour l'indicateur C7, les classes Très défavorable et Défavorable ne sont pas représentées (Tableau 3). Cet indicateur fait référence à la contribution d'un revenu extérieur à l'indépendance de l'exploitation agricole. Les concepteurs de la méthode IDEA ont tranché sur le fait que l'absence de ce revenu extérieur (sanctionné d'une note 0/4 pour cet indicateur) ne doit pas être pénalisante pour l'évaluation de l'exploitation. Pour tenir compte de ce fait, nous avons au moyen d'une fonction linéaire adéquate attribué une valeur d'appartenance de 0,5/1 au cas « absence de revenu extérieur » et de 1/1 au cas « revenu supplémentaire ».

Changement d'une limite pour recentrer la courbe

Pour l'indicateur B19, la note intermédiaire est de 2 (Tableau 3). Afin que 2 soit la note centrale, nous choisissons 6 comme limite favorable dans CONTRA, ainsi il y a bien 4 notes au-dessus et en-dessous de 2 ce qui recentre cette valeur sur la courbe de la fonction d'appartenance CONTRA. Suite à cette modification, dès que l'exploitation évaluée atteint la note de 6 à cet indicateur, elle est déjà placée à

100% dans la classe favorable de CONTRA. Ainsi l'obtention de notes supérieures, pouvant aller jusqu'à 10, n'améliorera pas son évaluation.

Modification de la limite défavorable pour des valeurs alarmantes

Pour l'indicateur B16, la classe DEXi Très défavorable est représentée (Tableau 3). Cette classe rassemble des notes négatives qui ont pour but d'alerter sur une situation problématique. Dans le cas de l'indicateur B16 Intensité et qualité du travail, une note négative signifie que l'exploitant estime avoir besoin de congés sans être en mesure d'en prendre et avoir un travail très pénible. Pour marquer le fait que les valeurs négatives sont alarmantes, la limite défavorable est fixée à 0. Ainsi, toutes les valeurs négatives se verront attribuer une appartenance de 0% à la classe Favorable par CONTRA (ou à 100% à la classe Défavorable).

Choix de la fonction d'appartenance adéquate

Pour réaliser l'évaluation des propriétés de la durabilité grâce à l'outil CONTRA, il a d'abord été nécessaire d'attribuer une fonction d'appartenance à l'ensemble des indicateurs et branches des arbres de décision. L'enjeu était de comprendre comment se répartissaient les différentes notes de chaque indicateur dans les classes de DEXi. Nous avons identifié des cas types de répartitions des notes des indicateurs dans les classes DEXi (Tableau 4).

Tableau 4 : Cas types d'attribution des fonctions d'appartenance pour les indicateurs en fonction du nombre de notes par classe qualitative (- : peu de notes dans la classe, + : quelques notes, ++ : beaucoup de notes, +++ : une large majorité des notes)

Nombre de notes par classe			Fonction d'appartenance dans CONTRA	Explication choix de la fonction
Défavorable	Intermédiaire	Favorable		
+	-	+	Sinusoïdale	Autant de notes dans la classe Défavorable que Favorable, peu de notes dans la classe Intermédiaire
+	+	+	Linéaire	Autant de notes dans chaque classe
-	+	++	Tangente hyperbolique	De plus en plus de notes dans les classes
-	+	+++	Tangente hyperbolique forte pente	De plus en plus de notes dans les classes, avec ¾ des notes dans la classe Favorable
++	+	-	Linéaire – Tangente hyperbolique	De moins en moins de notes dans les classes

Ainsi ces répartitions types des notes dans les classes DEXi ont donné lieu à l'attribution de l'une des cinq fonctions d'appartenance CONTRA que nous avons utilisées (Figure 3).

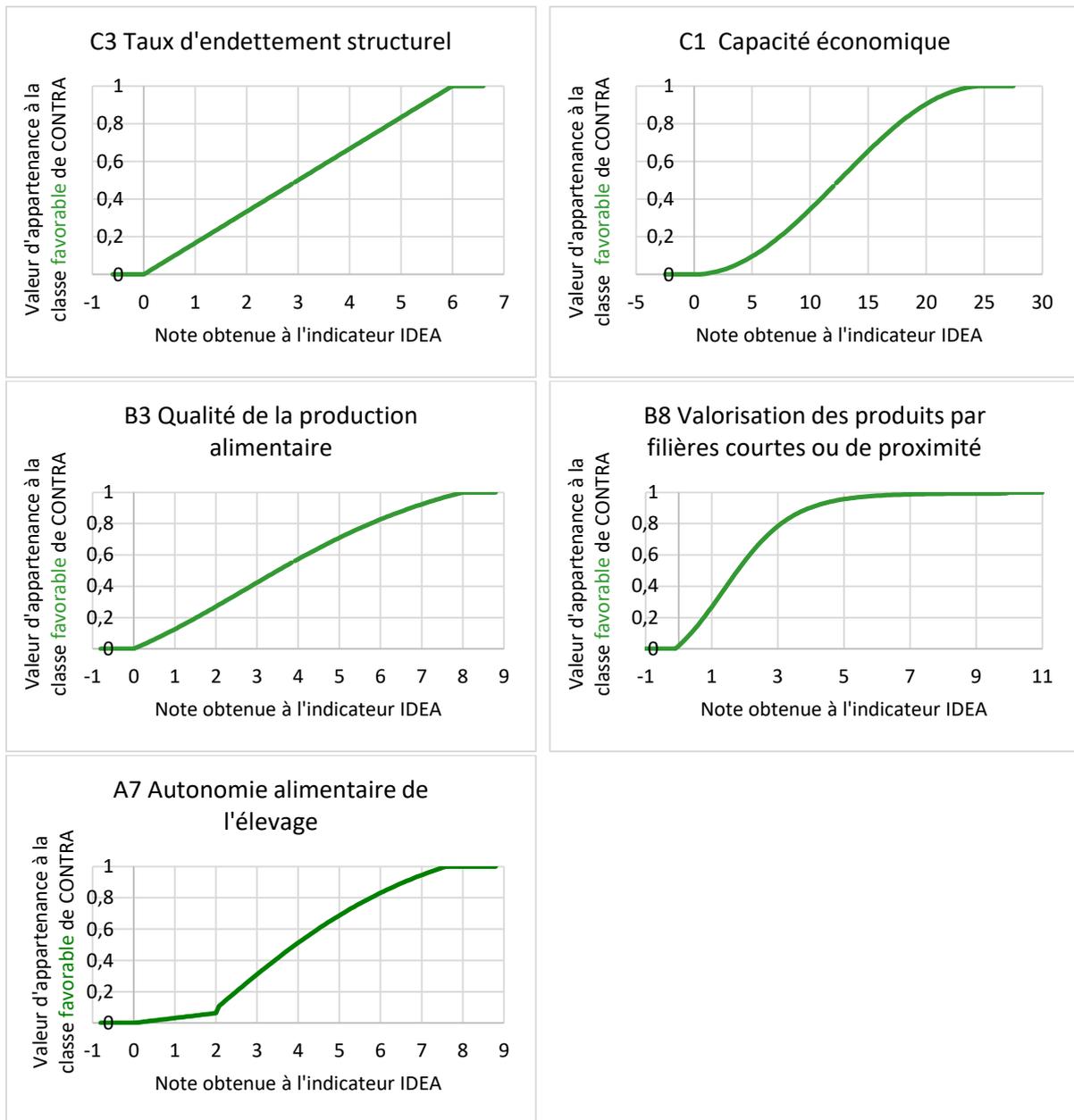


Figure 3 : Fonctions d'appartenance de l'outil CONTRA appliquées aux indicateurs IDEA (C3 : fonction linéaire, C1 : fonction sinusoïdale, B3 : fonction tangente hyperbolique, B8 : fonction tangente hyperbolique avec une forte pente, A7 : fonction linéaire – tangente hyperbolique)

S'agissant des variables agrégées (ou branches), nous leur avons attribué par défaut la fonction linéaire avec pour limites favorables et défavorables respectivement les valeurs 0 et 10.

Création d'une arborescence

Afin de créer de véritables arbres de décision avec l'outil CONTRA, il nous a fallu mettre en relation de nombreux fichiers Excel permettant chacun de réaliser une agrégation de variables. Pour illustrer le travail qui a été réalisé, la figure 4 reprend l'exemple de la propriété ancrage territorial.

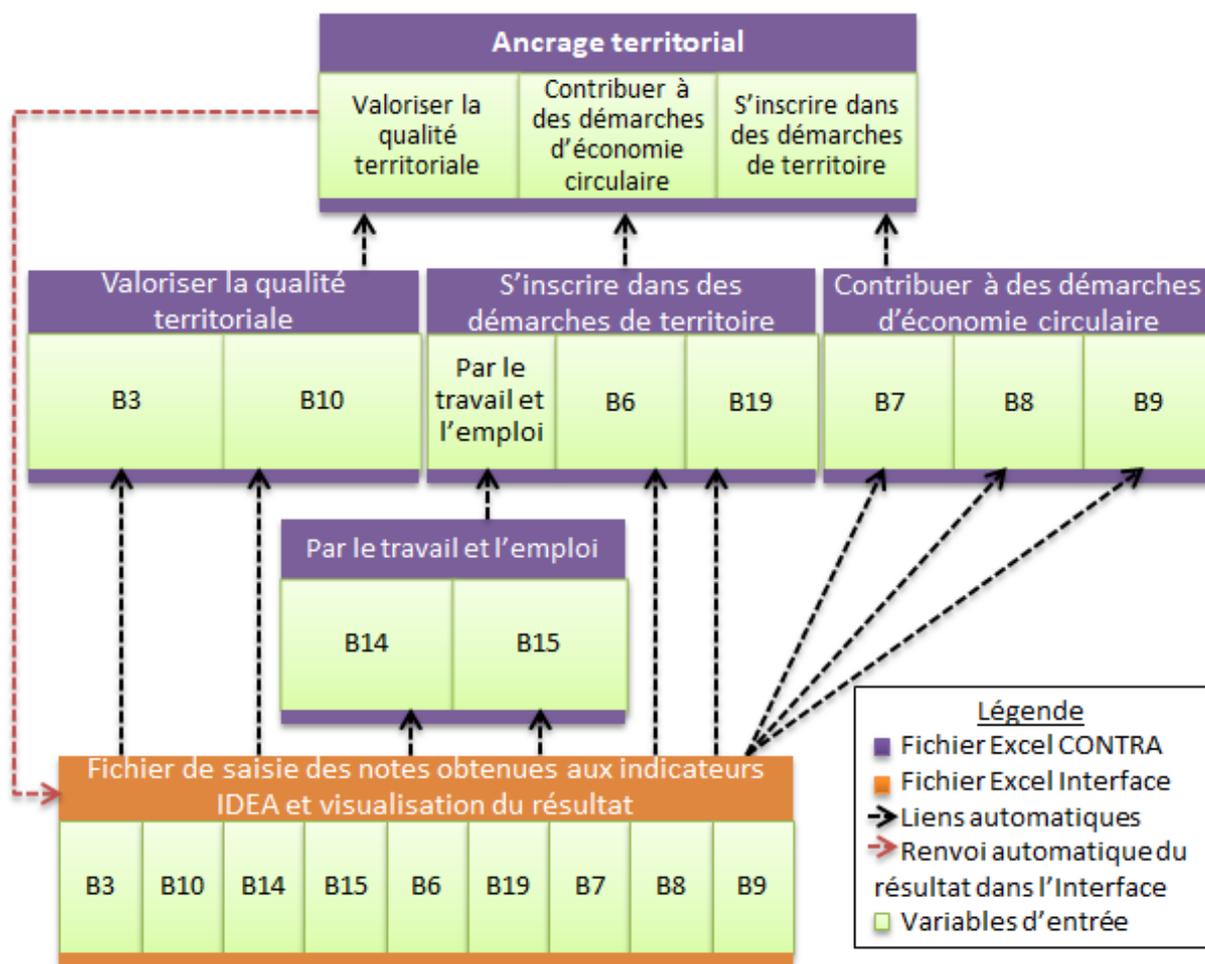


Figure 4 : Arborescence des fichiers CONTRA pour réaliser l'évaluation de la propriété ancrage territorial

Cette propriété présente quatre nœuds (Annexe 1) qui agrègent au total neuf indicateurs. Ainsi cinq fichiers CONTRA ont été nécessaires et ont été liés par des renvois de cellules. Ensuite, pour améliorer l'ergonomie de ces arbres, nous avons rassemblé la saisie de l'ensemble des indicateurs ainsi que la visualisation du résultat dans un unique fichier.

3.3. Analyse de sensibilité de Monte-Carlo

L'enjeu de notre travail est de lever les effets de seuils présents lors de l'agrégation des propriétés de IDEA. Ces effets de seuils entraînent un manque de sensibilité de l'évaluation. Ainsi pour comparer l'agrégation par la logique booléenne (DEXi) ou par logique floue (CONTRA), nous avons réalisé des analyses de sensibilité dite de Monte-Carlo telle que décrite par Carpani *et al.* (2012). Dans le cas où l'arbre de décision CONTRA n'offrirait pas directement une sensibilité idéale, celle-ci pourra être améliorée par la correction des règles de décision.

3.3.1. Principe de l'analyse de sensibilité de Monte-Carlo

L'analyse de sensibilité de Monte-Carlo décrite par Carpani *et al.* (2012) consiste en la répétition de tirages aléatoires totaux sans dépendance entre les variables d'entrée qui correspondent dans notre cas aux indicateurs. L'ensemble des indicateurs IDEA se voit attribuer aléatoirement une de ses notes, simulant l'évaluation d'une exploitation agricole fictive. La distribution des notes répond à une loi de probabilité uniforme ; chaque note a la même probabilité d'être tirée. La répétition d'un grand nombre de ces tirages permet d'observer la distribution des résultats et ainsi d'apprécier la sensibilité de l'évaluation des propriétés lorsque les indicateurs sont agrégés par DEXi ou CONTRA.

L'outil Izi-Eval (wiki.inra.fr) a été développé par l'INRAE et permet de réaliser des analyses de sensibilité de Monte-Carlo sur les arbres de décision DEXi (Bohanec, 2008). Pour réaliser le même travail sur les arbres de décision CONTRA, Jacques-Éric Berges (INRAE UMR AGIR) a automatisé les tirages sur Excel puis nous avons assuré leur prise en charge par les arbres de décision.

3.3.2. Calibrage des calculateurs CONTRA

3.3.2.1. Les règles de décision établies par les concepteurs

L'ensemble des règles de décision des indicateurs et branches des propriétés dans DEXi a été renseigné manuellement par les concepteurs de la méthode IDEA. Ceux-ci avaient la volonté de faire émerger des interactions (aussi appelées synergies) entre les variables agrégées, positives ou négatives. Les synergies résident dans le fait que l'accumulation de variables d'entrée positives amène à une variable de sortie très positive et réciproquement. Nous illustrerons ces choix et leurs effets avec l'exemple d'agrégation de 3 variables d'entrées équipondérées (ici des indicateurs évalués sur une échelle de 3 classes), (Tableau 5).

Tableau 5 : Règles de décision de trois variables d'entrée équipondérées

	Variable d'entrée n°1	Variable d'entrée n°2	Variable d'entrée n°3	Variable de sortie
1	Défavorable	Défavorable	Défavorable	Très défavorable
2	Intermédiaire	Défavorable	Défavorable	Très défavorable
3	Favorable	Défavorable	Défavorable	Défavorable
4	Défavorable	Intermédiaire	Intermédiaire	Défavorable
5	Défavorable	Intermédiaire	Favorable	Défavorable
6	Favorable	Favorable	Défavorable	Favorable
7	Favorable	Intermédiaire	Intermédiaire	Favorable
8	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire	Favorable
9	Favorable	Favorable	Intermédiaire	Très favorable
10	Favorable	Favorable	Favorable	Très favorable

A la ligne 1 du Tableau 5, nous observons une synergie négative tandis qu'à la ligne 10 du Tableau 5 les variables d'entrées produisent une synergie positive. Ces synergies ne faisant intervenir que les

classes extrêmes des indicateurs (favorable et défavorable) seront appelées synergies extrêmes. Quant à la ligne 8, nous avons trois variables d'entrées intermédiaires qui par accumulation de classes moyennes conduisent à l'obtention d'une classe positive : la classe favorable. Toute règle de décision dans laquelle les indicateurs agissent en synergie et faisant intervenir la classe intermédiaire sera qualifiée de synergie intermédiaire. Seules les synergies extrêmes pourront être prises en compte dans CONTRA dans sa version initiale.

3.3.2.2. *Adaptation de ces règles de décision par l'utilisation d'un terme dans CONTRA*

Afin de coller au mieux aux choix des concepteurs de la méthode IDEA, il a fallu adapter ces règles de décision dans l'outil CONTRA. Pour illustrer cette adaptation, prenons le cas de la ligne 10 du Tableau 5. Dans les Tableaux 6 et 7 nous avons attribué à trois variables d'entrée les notes correspondant aux classes des indicateurs de la ligne 10 du Tableau 5.

Tableau 6 : Exemple d'agrégation conduisant à une synergie extrême positive par DEXi

	Note IDEA	Classe DEXi des indicateurs	Classe DEXi naturelle de la branche	Effet souhaité	Classe DEXi attribuée à la branche
Variable d'entrée n°1	8/10	Favorable	Favorable	Synergie positive	Très favorable
Variable d'entrée n°2	5/6	Favorable			
Variable d'entrée n°3	3/3	Favorable			

Là où une synergie extrême positive dans DEXi conduit au passage de l'évaluation à la classe supérieure (Tableau 6), sur CONTRA ce type d'interaction positive se traduit par l'augmentation de la note attribuée à la variable de sortie (Tableau 7).

Tableau 7 : Exemple d'agrégation conduisant à une synergie extrême positive par CONTRA

	Note IDEA	Valeur d'appartenance à la classe favorable	Note CONTRA brute de la variable agrégée	Terme de correction	Note CONTRA finale de la variable agrégée
Variable d'entrée n°1	8/10	0,8	8,7/10	1/10	9,7/10
Variable d'entrée n°2	5/6	0,8			
Variable d'entrée n°3	3/3	1,0			

Or il est possible de choisir la valeur de ce terme de correction, ce qui va avoir un impact sur la force de l'effet synergique et l'étalement des notes. L'analyse de sensibilité de Monte-Carlo permettra de déterminer quel terme de correction permet d'avoir la meilleure sensibilité d'évaluation, c'est-à-dire permet le meilleur étalement des notes en sortie.

3.4. Jeu de données d'exploitations agricoles françaises

Nos travaux se sont déroulés durant la crise sanitaire liée au virus COVID-19 ce qui nous a empêchés de réaliser des enquêtes sur le terrain. Cependant les experts d'IDEA4 nous ont fourni un jeu de données composé de l'évaluation de 120 exploitations agricoles françaises, rendant alors possible la confrontation de ce travail académique à la réalité. Nous avons bénéficié de ce jeu de données pour réaliser une comparaison de l'approche des propriétés de la méthode par les outils DEXi et CONTRA.

3.4.1. Constitution de la base de données par divers organismes

De manière opérationnelle, le calcul des notes pour chaque indicateur de la méthode IDEA se fait automatiquement en remplissant un calculateur après réalisation d'enquête auprès des exploitants agricoles. L'unité ETBX a centralisé 120 tests du calculateur IDEA réalisés entre 2017 et 2019. Nous sommes conscients que de par sa construction ce jeu de données présente des biais tels que la surreprésentation des exploitations qui commercialisent via des circuits courts puisque le principal projet (Figure 5) ayant conduit à la réalisation d'enquêtes auprès de producteurs se concentrait sur cet aspect des exploitations. Ainsi, au moins 51 des 120 exploitations sont impliquées dans des démarches de circuits courts cependant parmi les exploitations restantes, un certain nombre d'entre elles ne sont pas impliquées dans ce type de démarche et peuvent ici jouer le rôle de témoins.

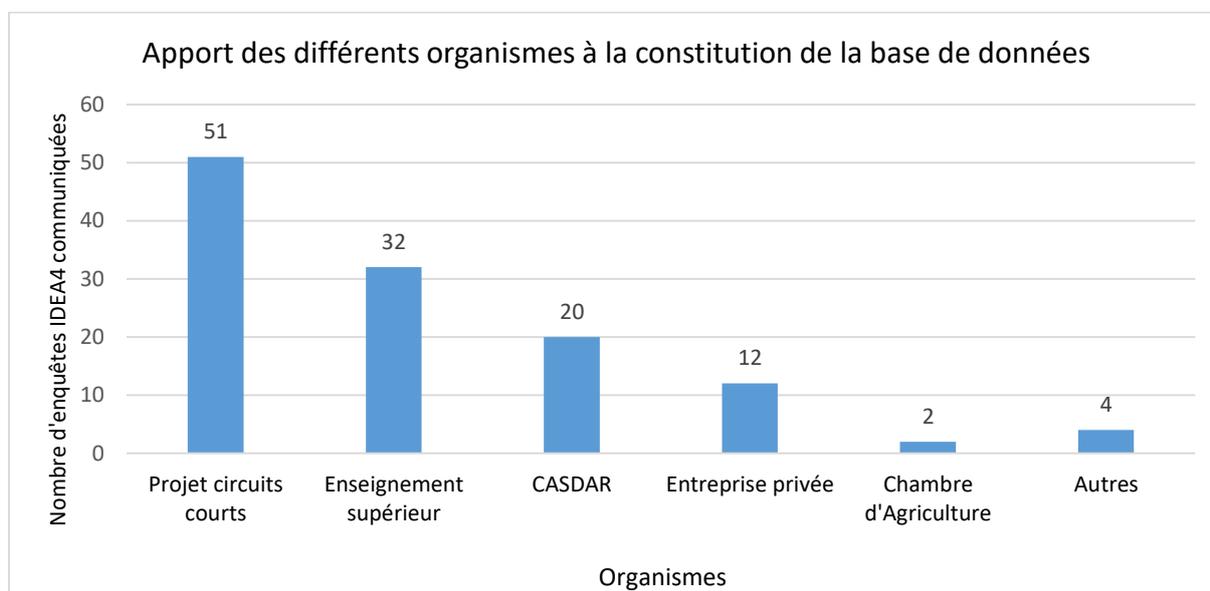


Figure 5 : Origine des enquêtes d'exploitations composant le jeu de données

3.4.2. Caractérisation du groupe d'exploitations agricoles

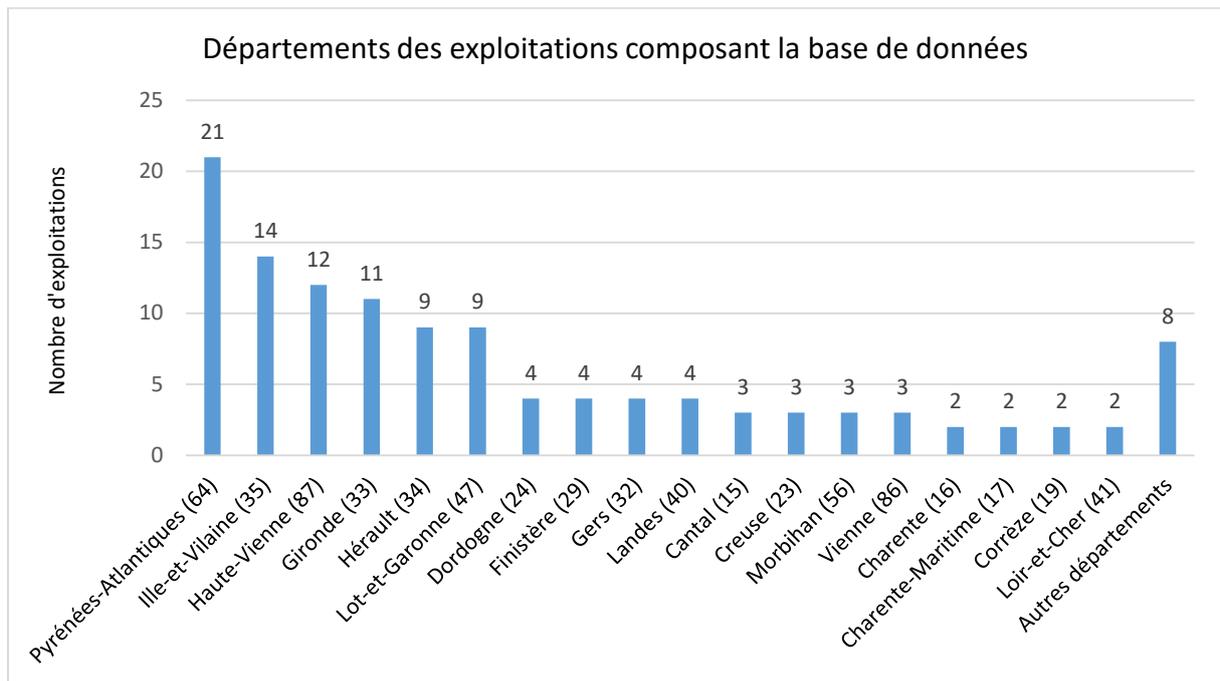


Figure 6 : Localisation des exploitations du jeu de données

S'agissant de la répartition spatiale des exploitations composant le jeu de données, six départements (Figure 6) cumulent plus de la moitié des exploitations. Malgré tout, 26 des 96 départements métropolitains sont représentés (8 d'entre eux avec une exploitation ont été regroupés sous le nom Autres départements). Ils permettent de couvrir une diversité de contextes pédoclimatiques mais aussi d'orientations technico-économiques (Figure 7). Cependant, nous pouvons noter une absence de certaines grandes régions agricoles françaises telles que le bassin parisien ou encore l'Alsace.

Sont présentes parmi notre jeu de données, 15 des 18 OTEX (Figure 7) définies par l'INRAE (odr.inrae.fr). Nous notons une dominance des exploitations agricoles en bovins viande (35% des exploitations), en autres herbivores (16%), en maraîchage (13%), en viticulture d'appellation (12%) et en bovins lait (10%).

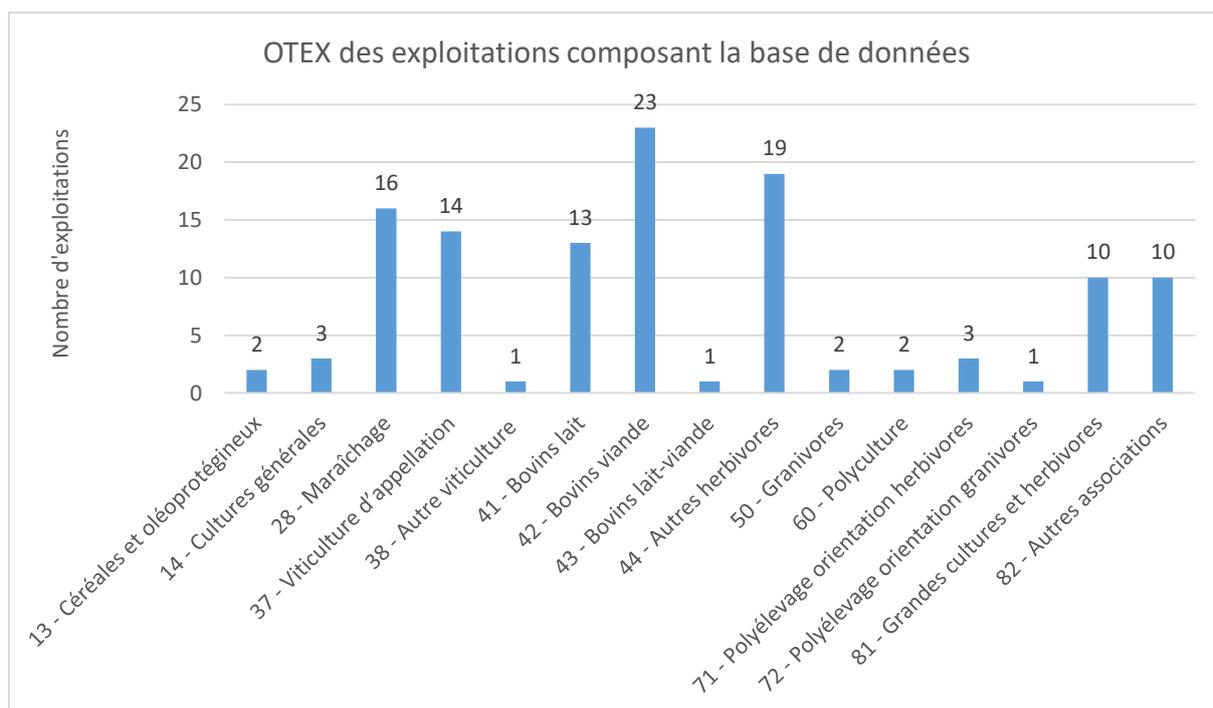


Figure 7 : Orientation Technico-Economique des Exploitations (OTEX) composant le jeu de données (autres viticulture : viticulture hors appellation, autres herbivores : élevages caprins et ovins, autres associations : associations culture et élevage hors OTEX 71, 72 et 81)

3.4.3. Comparaison des résultats obtenus par les exploitations du jeu de données lors de l'agrégation par DEXi et CONTRA

Grâce aux évaluations collectées par l'unité ETBX (voir partie 3.4.), nous avons pu utiliser nos arbres de décision construits avec l'outil CONTRA sur des données empiriques. Nous avons confronté les résultats obtenus avec cet outil à ceux obtenus avec DEXi. Pour ce faire nous avons utilisé le logiciel de statistiques R (version 3.5.3.). Afin de comparer la répartition des notes CONTRA obtenues pour chaque classe DEXi des propriétés nous avons utilisé la fonction R `ggplot()` combinée aux fonctions `geom_boxplot()` pour la mise en classe, `geom_jitter()` pour la superposition des individus aux boîtes à moustache et `scale_fill_brewer()` afin de colorer les graphiques.

4. Résultats et interprétations

4.1. Etude de la sensibilité de l'évaluation par DEXi

Les concepteurs de la méthode IDEA ont établi des règles de décision qu'ils ont renseignées dans DEXi. Nous avons premièrement analysé la sensibilité des arbres de décision DEXi. Nous avons observé deux distributions types visibles à la Figure 8, les résultats obtenus pour les trois dernières propriétés sont consultables à l'Annexe 7.

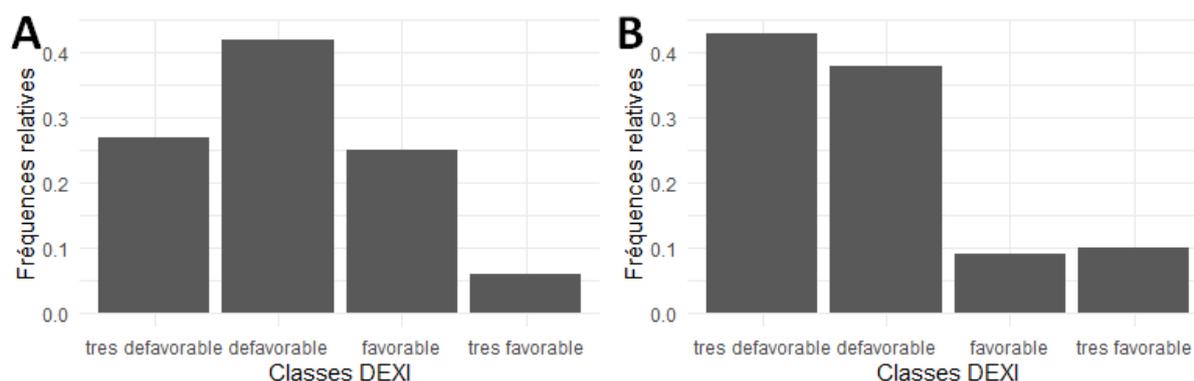


Figure 8 : Analyse de sensibilité des arbres de décision DEXi avec la méthode de Monte-Carlo à 5000 répétitions (A : robustesse avec une distribution en cloche, B : capacité productive avec une distribution décroissante)

L'analyse de sensibilité de Monte-Carlo sur les arbres de décision DEXi a montré qu'indépendamment de la distribution des résultats, les classes négatives (Très défavorable et Défavorable) sont en moyenne atteintes dans plus de deux tiers des cas tandis que les classes positives (Favorable et Très favorable) ne représentent d'un tiers des cas en moyenne.

Ainsi les règles de décision établies par les concepteurs de la méthode IDEA4 tendent à tirer vers le bas l'évaluation des propriétés de la durabilité des exploitations agricoles.

4.2. Utilisation de la méthode CONTRA pour améliorer la sensibilité

4.2.1. Implémentation de fonctions d'appartenance dans l'outil CONTRA

Pour construire les arbres de décision des propriétés grâce à l'outil CONTRA nous avons utilisé cinq fonctions d'appartenance différentes afin de coller au mieux à la distribution des notes IDEA dans les différentes classes qualitatives utilisées dans DEXi. Ces cinq fonctions sont : linéaire, sinusoïdale, tangente hyperbolique à faible pente, tangente hyperbolique à forte pente et linéaire-tangente hyperbolique. Alors que les trois premières étaient programmées dans l'outil CONTRA, nous avons mis en œuvre les deux dernières dans l'outil afin de répondre à nos besoins au cours de ce travail.

4.2.1.1. *Création d'une fonction d'appartenance : Linéaire – Tangente hyperbolique*

L'indicateur A7 Autonomie alimentaire de l'élevage de la méthode IDEA a donné lieu à la création d'une nouvelle fonction dans l'outil CONTRA. En effet, la distribution des notes de cet indicateur dans les classes DEXi ne correspondait avec aucune fonction (voir cas-types d'attribution des fonctions d'appartenance Tableau 4). Il y a un maximum de notes dans la classe Défavorable puis de moins en moins à mesure qu'on avance vers la classe Favorable (Tableau 8).

Tableau 8 : Mise en classe des notes de l'indicateur A7 dans l'outil DEXi

Classes DEXi	Défavorable	Intermédiaire	Favorable
Notes IDEA	0 ; 1 ; 2 ; 3	4 ; 5 ; 6	7 ; 8

Pour cet indicateur, la progression des notes vers le maximum se fait d'abord lentement puis de façon très rapide (voir graphique A7, Figure 3). Nous avons fait le choix de représenter cette phase lente par une fonction linéaire, qui après une valeur définie par l'utilisateur (appelée point de jonction) devient une fonction tangente hyperbolique pour symboliser la progression rapide des notes.

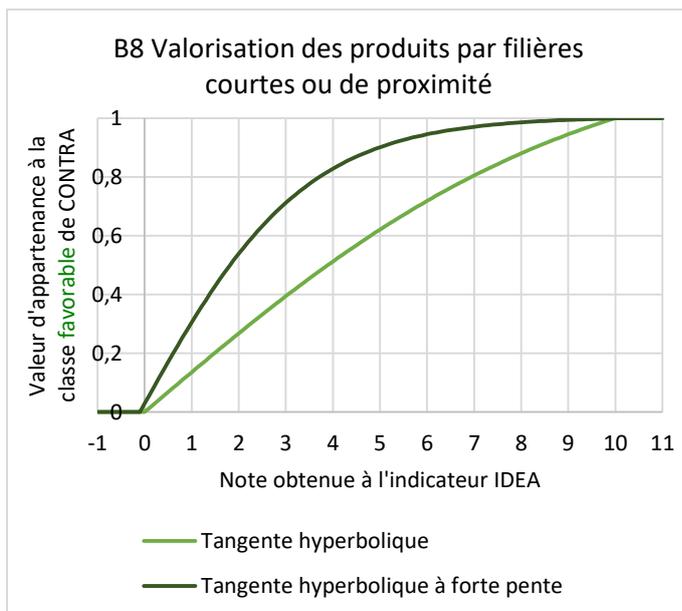
4.2.1.2. *Modification d'une fonction d'appartenance : augmentation de la pente de la fonction Tangente hyperbolique*

L'indicateur B8 Valorisation des produits par filières courtes ou de proximité de la méthode IDEA a inspiré une adaptation de la fonction tangente hyperbolique. En effet, la fonction tangente hyperbolique initialement programmée dans l'outil CONTRA a été nommée tangente hyperbolique faible pente dans le rapport. Or l'indicateur B8 possède près de 75% de ses notes dans la classe favorable (Tableau 9).

Tableau 9 : Mise en classe des notes de l'indicateur B8 dans l'outil DEXi

Classes DEXi	Défavorable	Intermédiaire	Favorable
Notes IDEA	0	1 ; 2	3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10

De par l'utilisation de la fonction tangente hyperbolique à faible pente, les notes médians tels que 3 et 4 se voyaient attribuer un pourcentage d'appartenance à la classe favorable dans CONTRA trop faible (respectivement 40 et 50%) pour des notes considérés comme favorables (voir fonction tangente hyperbolique faible pente en Figure 3).



Par la modification des paramètres de la fonction après l'avoir dupliquée, nous avons obtenu une deuxième fonction tangente hyperbolique avec une pente plus forte qui colle davantage à la distribution des notes de l'indicateur B8 (voir fonction tangente hyperbolique forte pente en Figure 9). La mise en œuvre de ces deux nouvelles fonctions d'appartenance permettra de mieux répondre aux besoins des futurs utilisateurs de l'outil CONTRA.

Figure 9 : Différences entre les fonctions tangente hyperbolique standard et à forte pente

4.2.2. Analyse de sensibilité : méthode de Monte-Carlo

4.2.2.1. Arbres sans modification des règles de décision

Nous avons premièrement analysé la sensibilité des arbres de décision CONTRA à l'aide de la méthode de Monte-Carlo. On distingue deux cas (Figure 10) : les propriétés dont l'évaluation est déjà meilleure que DEXi et celles qui doivent encore être améliorées afin de permettre une évaluation plus sensible.

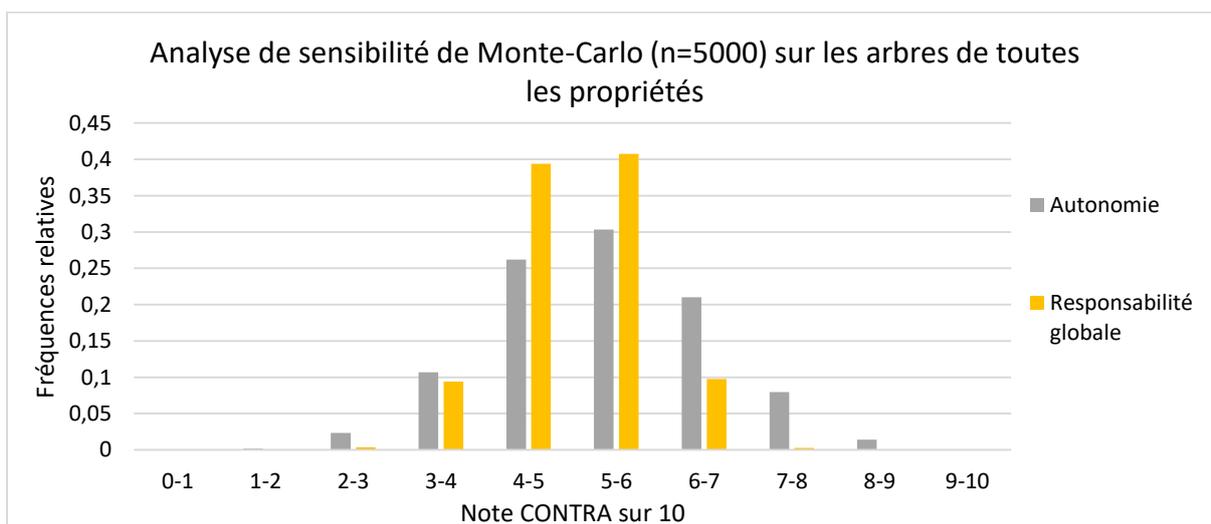


Figure 10 : Analyse de sensibilité des arbres CONTRA des propriétés autonomie et responsabilité globale avec les règles de décision préétablies dans l'outil CONTRA. La propriété autonomie est alors très bien évaluée (distribution centrée, gaussienne et étalée) tandis que la propriété responsabilité globale est mal évaluée (répartition très regroupée). Pour l'analyse de sensibilités des arbres des trois autres propriétés voir Annexe 8.

Pour les propriétés dont la sensibilité doit être améliorée, les règles de décision préétablies de CONTRA peuvent être modifiées au besoin par l'ajout ou le retrait d'une valeur appelée terme de correction.

4.2.2.2. *Modification des règles de décision de CONTRA selon les choix fait pour DEXi par les concepteurs de la méthode IDEA*

Afin de réaliser ces modifications, nous nous sommes appuyés sur les règles de décision des concepteurs de la méthode IDEA. Leurs choix reposent sur l'apparition de synergies entre les variables qui sont agrégées. Dans le Tableau 10, nous avons illustré ces effets synergiques dans le cas de l'agrégation de trois variables équipondérées. Quand deux des trois variables sont défavorables (voir ligne 1 Tableau 10) alors elles agissent en synergie extrême négative et diminuent la classe de la variable de sortie (aussi appelée variable agrégée). Inversement, lorsque deux des trois variables sont favorables (voir ligne 2 Tableau 10) elles agissent en synergie extrême positive sur la classe de la variable de sortie. Lorsque deux variables sont intermédiaires et la troisième favorable (voir ligne 3 Tableau 10), elles agissent en synergie intermédiaire positive, la variable de sortie est alors favorable. Inversement, lorsque deux variables sont intermédiaires et la troisième défavorable (voir ligne 4 Tableau 10), elles agissent en synergie intermédiaire négative, la variable de sortie est alors défavorable.

Tableau 10 : Principe de l'effet synergique lors de l'agrégation de trois variables équipondérées

	Variable d'entrée n°1	Variable d'entrée n°2	Variable d'entrée n°3	Règles de décision DEXi	Variable de sortie
1	Favorable	Défavorable	Défavorable	Synergie extrême négative	Défavorable
2	Favorable	Favorable	Défavorable	Synergie extrême positive	Favorable
3	Favorable	Intermédiaire	Intermédiaire	Synergie intermédiaire positive	Favorable
4	Défavorable	Intermédiaire	Intermédiaire	Synergie intermédiaire négative	Défavorable

Transposition des règles de décision de DEXi dans CONTRA

Nous avons alors tenté d'adapter ces règles de décision à l'outil CONTRA. Leur nombre est plus limité dans CONTRA que DEXi du fait qu'il n'existe que deux classes extrêmes dans CONTRA. Cela constitue une différence majeure puisque dans DEXi il existe pour les indicateurs une classe Intermédiaire. Il nous est donc impossible de transposer dans CONTRA les règles de décision comportant cette classe. Nous n'avons donc pu transposer que les synergies extrêmes faisant intervenir les classes favorable et défavorable dans CONTRA. De plus, là où dans DEXi une synergie positive signifie le passage à la classe supérieure, dans CONTRA cette synergie s'illustre par l'ajout ou le retrait d'une portion définie de la note sur 10. Il est alors nécessaire de déterminer la valeur idéale, c'est-à-dire celle qui permettra aux valeurs de la variable de sortie d'avoir une distribution qui soit la plus gaussienne et étalée possible, reflétant alors une sensibilité accrue.

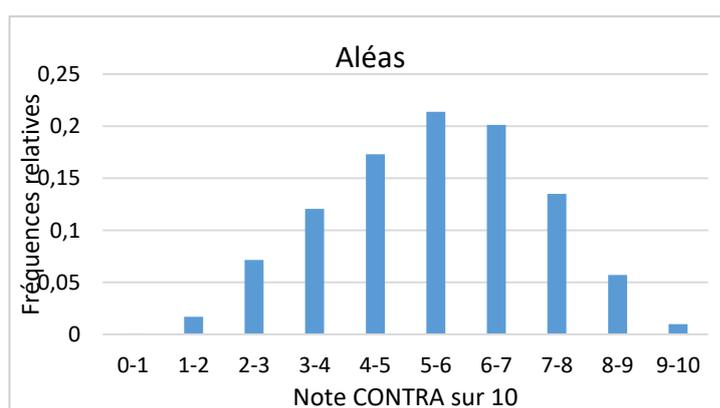
Tableau 11 : Renseignement d'un terme de correction dans l'outil CONTRA

	Aléas	Sensibilité	Adaptation	Note brute robustesse sur 10	Terme correctif sur 10	Note finale robustesse sur 10
1	Favorable	Favorable	Favorable	10	0	10
2	Favorable	Favorable	Défavorable	6,7	3	9,7
3	Favorable	Défavorable	Favorable	6,7	3	9,7
4	Favorable	Défavorable	Défavorable	3,3	-3	0,3
5	Défavorable	Favorable	Favorable	6,7	3	9,7
6	Défavorable	Favorable	Défavorable	3,3	-3	0,3
7	Défavorable	Défavorable	Favorable	3,3	-3	0,3
8	Défavorable	Défavorable	Défavorable	0	0	0

Pour l'agrégation de trois variables, il y a alors 8 cas possibles (Tableau 11). Le terme de correction est renseigné dans la colonne « Terme correctif sur 10 ». En s'appuyant sur l'exemple de la ligne 2 du Tableau 11, les deux premières variables sont favorables et la troisième défavorable. Avec les règles de décision préétablies de CONTRA proche d'une moyenne pondérée, la note obtenue pour la variable agrégée est de 6,7/10. Or en adaptant les règles de décision de DEXi les deux variables favorables agissent en synergie extrême positive, la variable agrégée voit alors son évaluation améliorée. Dans le Tableau 11, on renseigne le terme de correction 3. Cela signifie qu'à la note attribuée automatiquement par CONTRA de 6,7/10 s'ajoute 3 points, portant alors la note de la variable agrégée à 9,7/10.

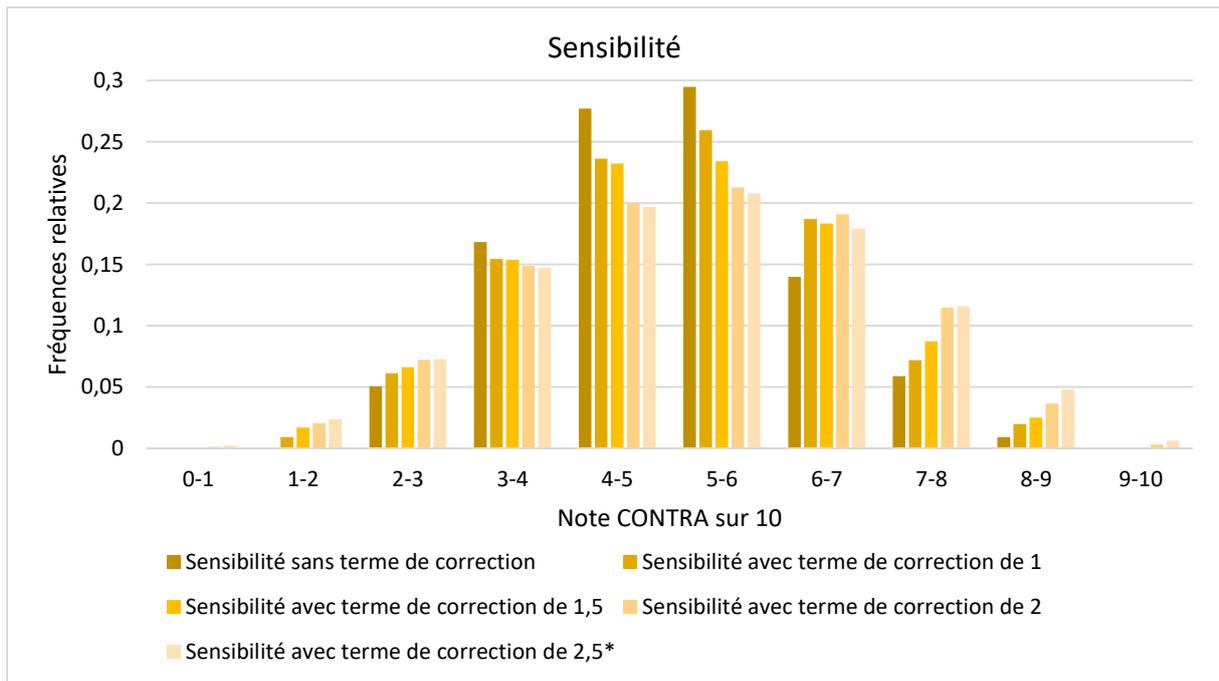
Amélioration de l'arbre robustesse

Afin d'illustrer la démarche suivie pour choisir d'appliquer un terme de correction ainsi que sa valeur, nous étudierons le cas spécifique de la propriété robustesse qui se ramifie en trois branches résumées sous les noms : aléas, sensibilité et adaptation.



Pour la branche Aléas de la propriété robustesse, la répartition obtenue avec les règles de décision prédéfinies dans l'outil CONTRA est centrée, gaussienne et étalée (Figure 11). Puisque son profil est bon, nous décidons de ne pas appliquer de terme de correction.

Figure 11 : Analyse de sensibilité de l'évaluation de la branche Aléas de la propriété robustesse avant éventuelle application d'un terme de correction des règles de décision préétablies dans CONTRA



*dans certains cas ce terme conduisait aux notes de -0,5/10 ou 10,5/10 ; pour éviter cela le terme renseigné est 2 pour ces cas

Figure 12 : Amélioration de la sensibilité de l'évaluation de la branche Sensibilité de la propriété robustesse par le choix d'un terme de correction des règles de décision préétablies dans CONTRA

Pour la branche sensibilité, quatre termes de correction ont été testés (Figure 12). Il en ressort que c'est le terme le plus fort qui permet d'obtenir le meilleur étalement des résultats, on garde donc la valeur 2,5 comme terme de correction pour cette branche.

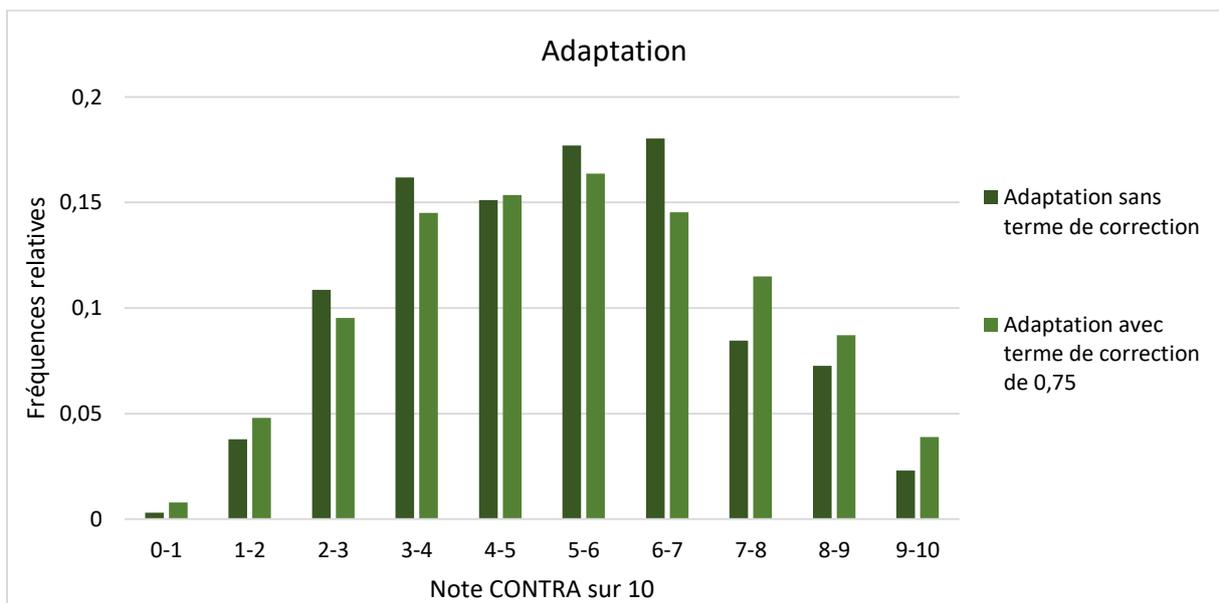


Figure 13 : Amélioration de la sensibilité de l'évaluation de la branche Adaptation de la propriété robustesse par le choix d'un terme de correction des règles de décision préétablies dans CONTRA

Pour la branche Adaptation, trois termes de correction ont été testés (0,5 ; 0,75 ; 1), seul le terme retenu de 0,75 est représenté en Figure 13. Ce terme a été retenu puisqu'il corrige la répartition des notes en la rendant plus gaussienne tout en maintenant une étendue importante des notes.

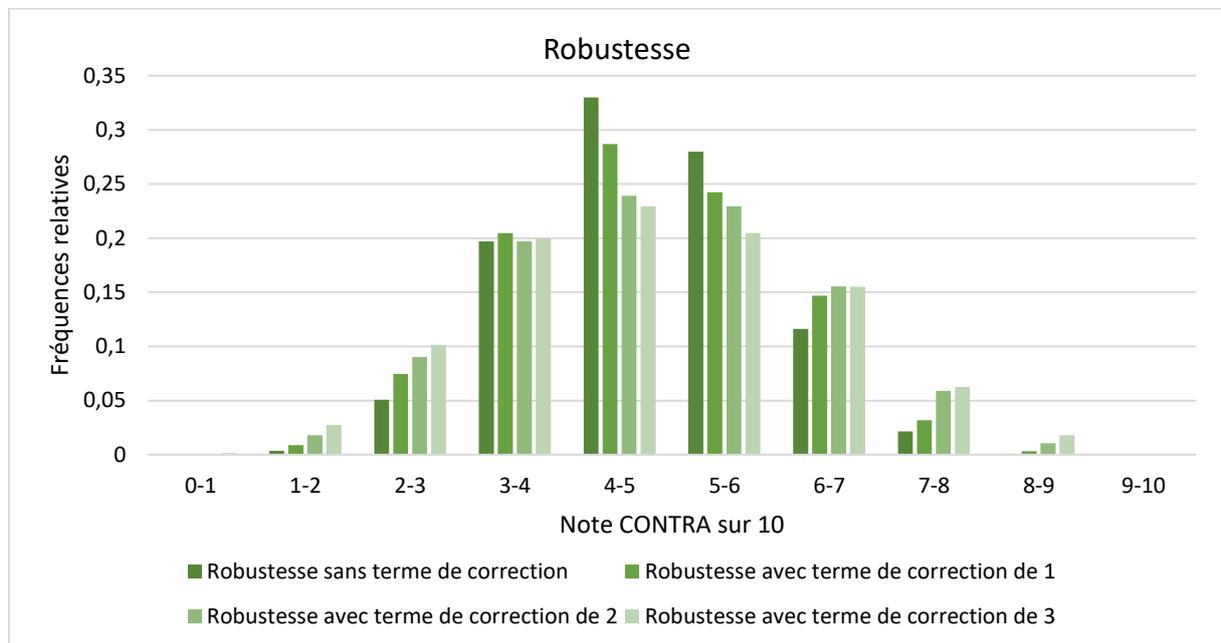


Figure 14 : Amélioration de la sensibilité de l'évaluation de la robustesse par le choix d'un terme de correction des règles de décision préétablies par CONTRA

Pour la propriété robustesse, cinq termes de correction ont été testés, trois d'entre eux sont représentés en Figure 14. Il en ressort que c'est le terme le plus fort qui permet d'obtenir la meilleure sensibilité, on garde donc la valeur 3 comme terme de correction pour cette branche.

Les termes de correction choisis pour l'ensemble des branches des cinq propriétés sont consultables en Annexe 9.

4.3. Comparaison de l'évaluation des propriétés par les outils DEXi et CONTRA

Sur le jeu de données de 120 exploitations, nous avons premièrement calculé les classes obtenues pour les cinq propriétés de la durabilité grâce à DEXi pour l'ensemble des exploitations (Figure 15).

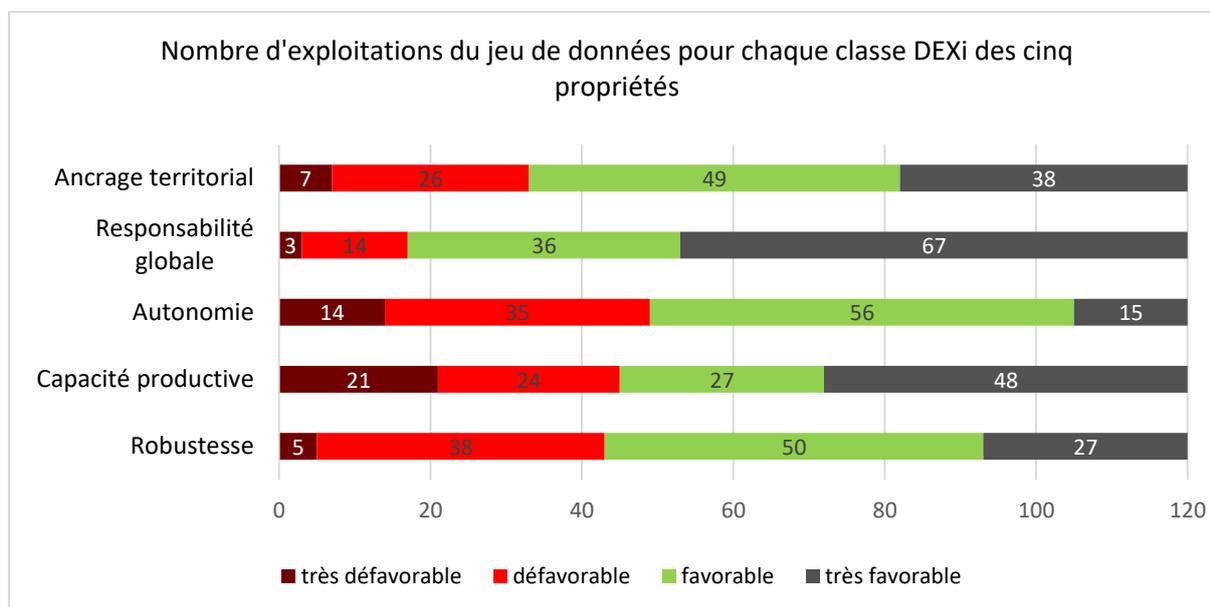


Figure 15 : Répartition des exploitations du jeu de données dans les classes DEXi des cinq propriétés

Certaines classes sont sous-représentées dans le jeu de données : la classe Très défavorable pour toutes les propriétés à l'exception de la capacité productive, la classe Défavorable pour la propriété responsabilité globale et la classe Très favorable pour la propriété autonomie. Inversement, pour la propriété responsabilité globale, on observe une surreprésentation de la classe Très favorable.

Pour toutes les propriétés, les notes CONTRA et les classes DEXi sont corrélées positivement (Figure 16). En effet, les valeurs des médianes de chaque classe augmentent lorsque la classe DEXi s'améliore (de Très défavorable à Très favorable). Ainsi comme nous le souhaitions, les évaluations par DEXi et CONTRA évoluent conjointement. Il y a une cohérence entre des notes obtenues par les deux outils. Si les exploitations de la classe Très défavorable avaient obtenu d'excellentes notes par CONTRA, cela aurait été révélateur d'erreur lors de l'adaptation des arbres DEXi dans CONTRA.

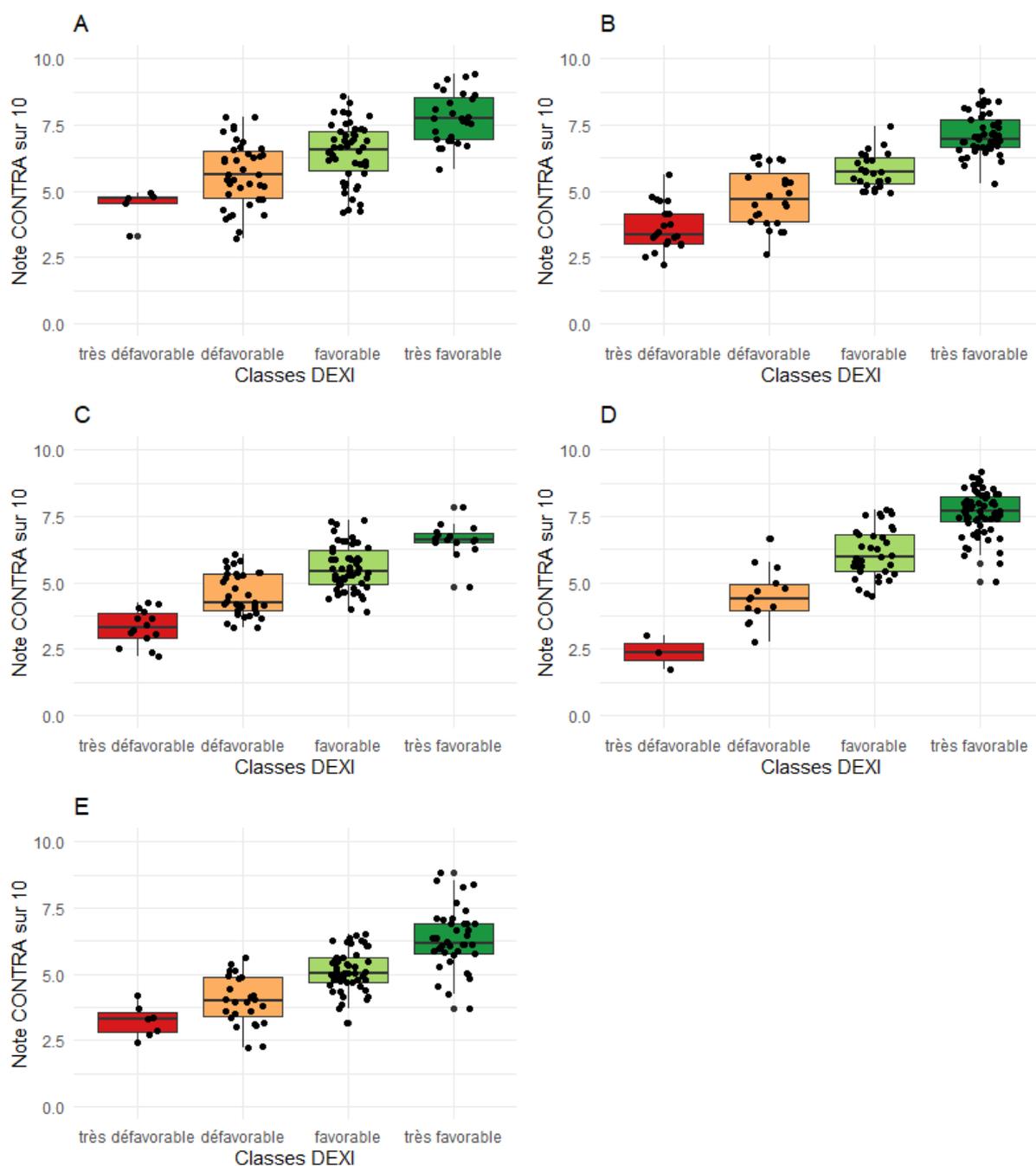


Figure 16 : Répartition des notes CONTRA obtenues par les 120 exploitations du jeu de données pour chaque classe DEXi pour les cinq propriétés (A : robustesse, B : capacité productive, C : autonomie, D : responsabilité globale, E : ancrage territorial)

Pour chaque propriété nous observons qu’une même note CONTRA pouvait correspondre à plusieurs classes DEXi (jusqu’aux quatre classes pour les propriétés capacité productive et ancrage territorial) puisque les boîtes à moustache des différentes classes d’une propriété se chevauchent. Cette importante étendue de notes CONTRA au sein d’une même classe DEXi (les notes CONTRA s’étendent de 3,6/10 à 8,7/10 au sein de la classe Très favorable de la propriété ancrage territorial) s’explique par les effets de seuils et les règles de décision (synergies positives et négatives) que les concepteurs de la méthode IDEA ont renseignés dans DEXi. Les effets de seuils pourront agir

négativement sur l'évaluation d'une exploitation si celle-ci est juste à la limite de passer une classe qualitative DEXi. A l'inverse, si l'exploitation a juste obtenu la note permettant le passage à la classe supérieure par DEXi pour nombreux de ses indicateurs, l'évaluation par CONTRA réduira ces effets de seuils qui ont agi positivement dans son évaluation. Finalement une note CONTRA peut se retrouver dans plusieurs classes DEXi du fait des règles de décision qui permettent à plusieurs branches favorables d'agir en synergie extrême positive et ainsi d'améliorer l'évaluation de la propriété. A l'inverse, si plusieurs branches sont évaluées Défavorable, elles agiront en synergie extrême négative et dégraderont l'évaluation de la propriété.

Tableau 12 : Tables de contingence des cinq propriétés (A : robustesse, B : capacité productive, C : autonomie, D : responsabilité globale, E : ancrage territorial)

A)

	Très défavorable	Défavorable	Favorable	Très Favorable
[0;2,5[	0%	0%	0%	0%
[2,5;5[	4%	9%	5%	0%
[5;7,5[	0%	21%	30%	8%
[7,5;10]	0%	2%	7%	14%

B)

	Très défavorable	Défavorable	Favorable	Très Favorable
[0;2,5[	1%	0%	0%	0%
[2,5;5[	16%	12%	3%	0%
[5;7,5[	1%	8%	19%	27%
[7,5;10]	0%	0%	0%	13%

C)

	Très défavorable	Défavorable	Favorable	Très Favorable
[0;2,5[	2%	0%	0%	0%
[2,5;5[	10%	18%	15%	1%
[5;7,5[	0%	11%	32%	10%
[7,5;10]	0%	0%	0%	1%

D)

	Très défavorable	Défavorable	Favorable	Très Favorable
[0;2,5[	2%	0%	0%	0%
[2,5;5[	1%	9%	3%	0%
[5;7,5[	0%	3%	22%	22%
[7,5;10]	0%	0%	5%	33%

E)

	Très défavorable	Défavorable	Favorable	Très Favorable
[0;2,5[	1%	2%	0%	0%
[2,5;5[	5%	17%	19%	4%
[5;7,5[	0%	3%	22%	23%
[7,5;10]	0%	0%	0%	4%

Afin d'étudier la concordance des résultats obtenus par CONTRA et DEXi, nous avons dressé des tables de contingence (Pierlot *et al.*, 2017). Entre 44% (ancrage territorial) et 66% (responsabilité globale) des évaluations par CONTRA sont en totale cohérence avec les résultats obtenus par DEXi. Pour l'ensemble des propriétés on constate qu'entre 13% (robustesse) et 48% (ancrage territorial) des évaluations par CONTRA conduisent à une sous-estimation de la durabilité par rapport à DEXi

(Tableau 12). A l'inverse 8% (ancrage territorial) à 34% (robustesse) des évaluations par CONTRA surestiment l'évaluation qui a été faite de la durabilité des exploitations du jeu de données.

Afin de mieux identifier la source de divergence entre les notes CONTRA et les classes DEXi obtenues par une exploitation, nous avons étudié les arbres éclairés de la propriété robustesse pour une exploitation agricole ayant une évaluation CONTRA très bonne (4,9/10) pour une classe DEXi faible (Très défavorable). Ces arbres sont obtenus par un package R développé par D. Carayon (Carayon et al., 2020).

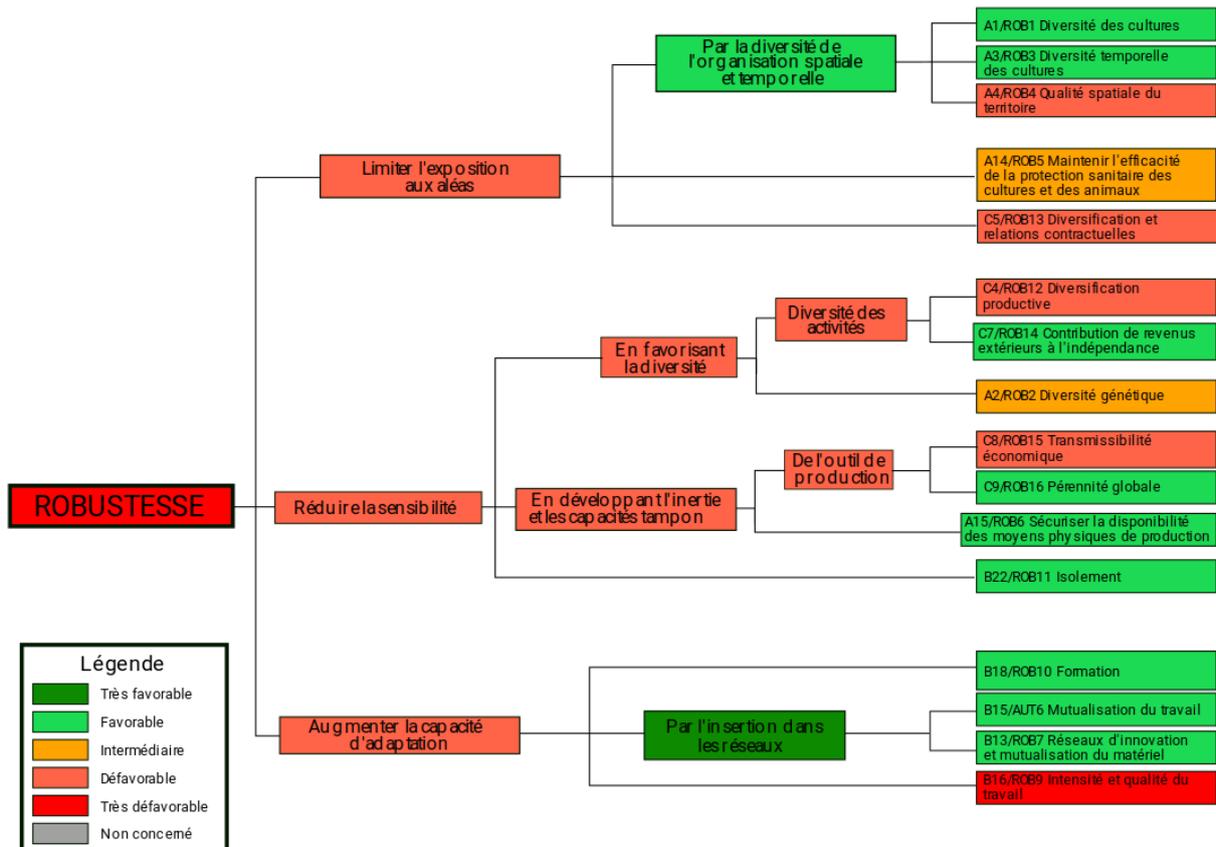


Figure 17 : Arbre éclairé de la propriété robustesse agrégée par DEXi pour l'exploitation 94 du jeu de données

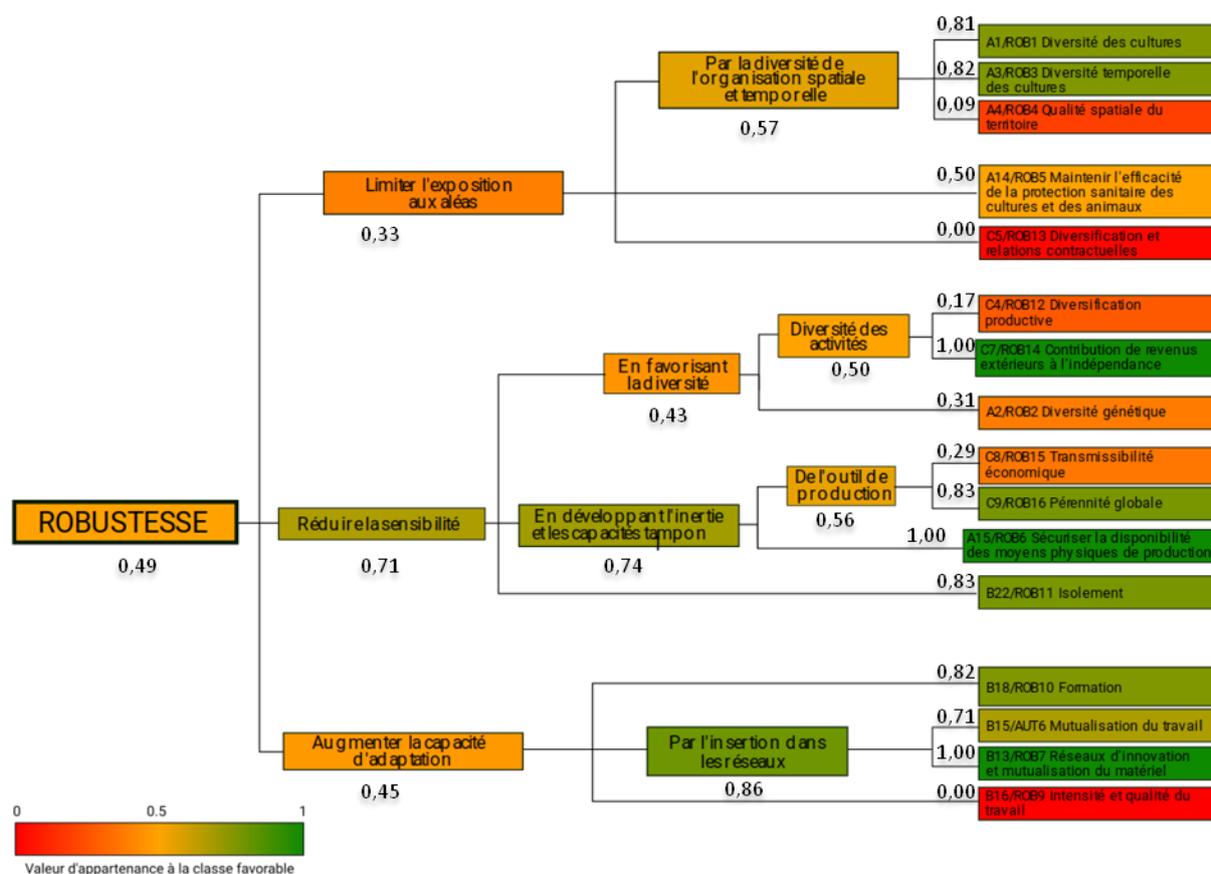


Figure 18 : Arbres éclairés de la propriété robustesse agrégée par CONTRA pour l'exploitation 94 du jeu de données (les valeurs situées sous les branches et à gauche des indicateurs sont leurs valeurs d'appartenance à la classe favorable)

Nous constatons de grands écarts d'évaluation dès les premières agrégations : alors que DEXi attribue la classe Défavorable aux branches Diversité des activités et De l'outil de production (Figure 17), CONTRA donne une note moyenne autour de 5/10 (Figure 18). Ainsi des écarts de notation dès les premières agrégations entraînent une différence conséquente dans l'évaluation de la propriété par les deux outils d'agrégation.

Nous avons observé que les écarts étaient dus à l'absence de synergies lors de l'agrégation des indicateurs dans CONTRA. Dans le but de coller davantage aux règles de décision des concepteurs de la méthode IDEA, nous avons décidé de programmer une nouvelle version de CONTRA (Annexe 10), avec l'ajout de paramètres. Cela nous a permis de prendre en compte l'ensemble des synergies décidées pour chacune des branches, y compris les synergies intermédiaires qui ne pouvaient pas être renseignées dans la version initiale de CONTRA (Partie 4.2.2.2.). Par la suite, nous appellerons la version initiale de l'outil prenant en compte uniquement les synergies extrêmes CONTRAv1 et la version améliorée prenant en compte les synergies extrêmes et intermédiaires CONTRAv2. Nous avons ensuite réalisé une analyse de sensibilité de Monte-Carlo pour connaître la distribution des résultats obtenus grâce à CONTRAv2.

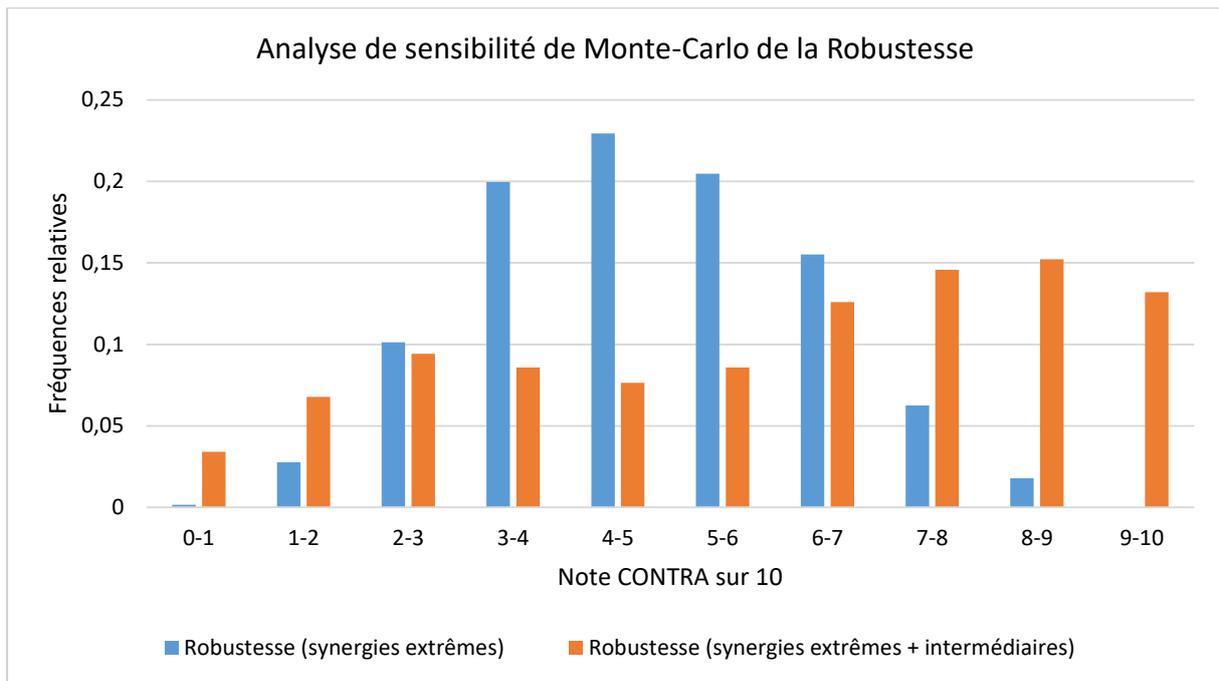


Figure 19 : Analyse de sensibilité des arbres CONTRA de propriété robuste avec les règles de décision extrêmes prises en compte dans CONTRAv1 et avec le renseignement des règles de décision intermédiaires en plus dans CONTRAv2.

La prise en compte de l'ensemble des règles de décision pour l'évaluation de la propriété robuste par CONTRAv2 permet d'atteindre un meilleur étalement des résultats (Figure 19) ce qui améliore la discrimination des exploitations agricoles. Nous pouvons notamment remarquer la diminution de la fréquence de la classe moyenne correspondant aux intervalles de notes allant de 4 à 6 /10.

Finalement, nous avons éprouvé CONTRAv2 sur le jeu de données de 120 exploitations agricoles (Figure 20).

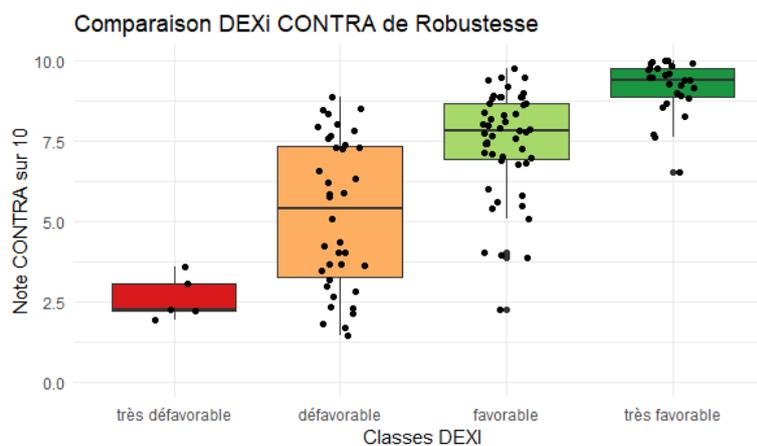


Figure 20 : Répartition des notes CONTRA obtenues par les 120 exploitations du jeu données pour chaque classe DEXi pour la propriété robuste évaluée par CONTRAv2

En comparaison avec l'évaluation de la robustesse par CONTRAv1 (Figure 16A), nous observons que la prise en compte de l'ensemble des synergies dans CONTRAv2 a modifié la répartition des notes au sein des classes DEXi. Premièrement, la classe Très défavorable obtient des notes plus basses se rapprochant ainsi du résultat espéré (résultats situés en moyenne entre 0 et 2,5/10). Dans un second temps, l'étalement des notes au sein de la classe Défavorable est plus important et la médiane est abaissée par rapport à la première version. Finalement, les classes Favorable et Très favorable bénéficient de notes en moyenne plus hautes dans CONTRAv2.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux écarts d'évaluation entre l'outil DEXi et CONTRAv2 (Tableau 13).

Tableau 13 : Table de contingence de la propriété robustesse avec la prise en charge des synergies extrêmes et intermédiaires dans CONTRAv2

ROB améliorée	Très défavorable	Défavorable	Favorable	Très favorable
[0,2,5[	2%	5%	1%	0%
[2,5;5[	2%	10%	3%	0%
[5;7,5[	0%	9%	14%	1%
[7,5;10]	0%	7%	24%	22%

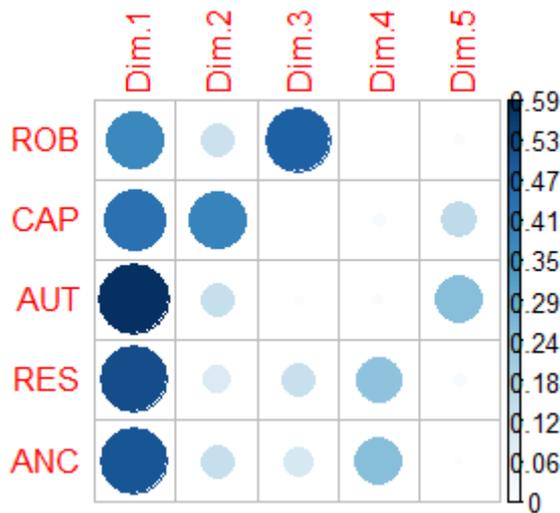
Sur l'ensemble des 120 exploitations, 10% d'entre-elles sont sous-évaluées par CONTRAv2 par rapport à DEXi (contre 34% dans CONTRAv1, voir Tableau 12A), 42% surévalué (seulement 13% dans CONTRAv1) et 48% des évaluations par CONTRAv2 sont cohérentes avec DEXi soit presque autant que dans la version initiale où 53% des exploitations étaient aussi dans ce cas.

Ainsi, l'élaboration d'une nouvelle version de l'outil CONTRA a permis l'application de facteur de correction lors de l'agrégation de variables ayant des valeurs d'appartenance intermédiaires (soit proche de 0,5/1). L'évaluation de la robustesse des exploitations agricoles est alors plus discriminante mais l'application de CONTRAv2 sur le jeu de données empiriques n'a cependant pas permis d'obtenir une meilleure correspondance avec les notes avec DEXi.

4.4. Corrélations entre les différentes propriétés

L'étude conceptuelle réalisée sur les propriétés définies par IDEA (Partie 2) a fait apparaître des liens entre les différents concepts. Nous pouvons alors questionner la pertinence du choix de ces propriétés ainsi que leur potentielle redondance. Pour cela nous avons fait le choix d'étudier les corrélations existant entre les cinq propriétés de la méthode IDEA. Pour ce faire, l'analyse en composantes principales ainsi que l'étude simple des corrélations sont deux options que nous avons explorées. Nous avons utilisé un jeu de données composé en ligne des exploitations et en colonne de leur évaluation des propriétés par l'outil CONTRAv1.

4.4.1. Analyse en composantes principales (ACP)



Afin de réaliser une analyse en composantes principales (ACP) il nous faut premièrement choisir les dimensions sur lesquelles les variables (qui sont ici nos propriétés de la durabilité) sont les mieux représentées. Ce sont les dimensions 1 et 2 qui sont les plus appropriées pour notre analyse car ce sont celles qui représentent le mieux l'ensemble de nos variables (Figure 21).

Figure 21 : Qualité de représentation des variables par les différentes dimensions

Réaliser une ACP sur ces deux dimensions permet à l'ensemble des variables étudiées, correspondant aux cinq propriétés de la durabilité d'être correctement représentées (Figure 22). En effet, les flèches font toutes plus de 2/3 du rayon du cercle des corrélations et le \cos^2 est toujours supérieur à 0,5.

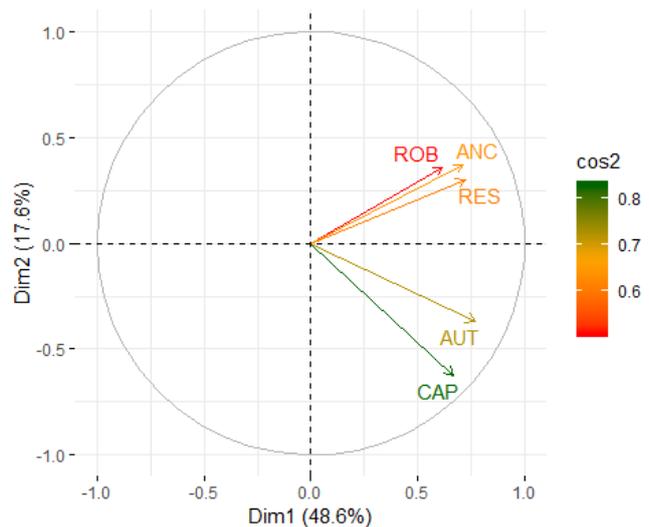
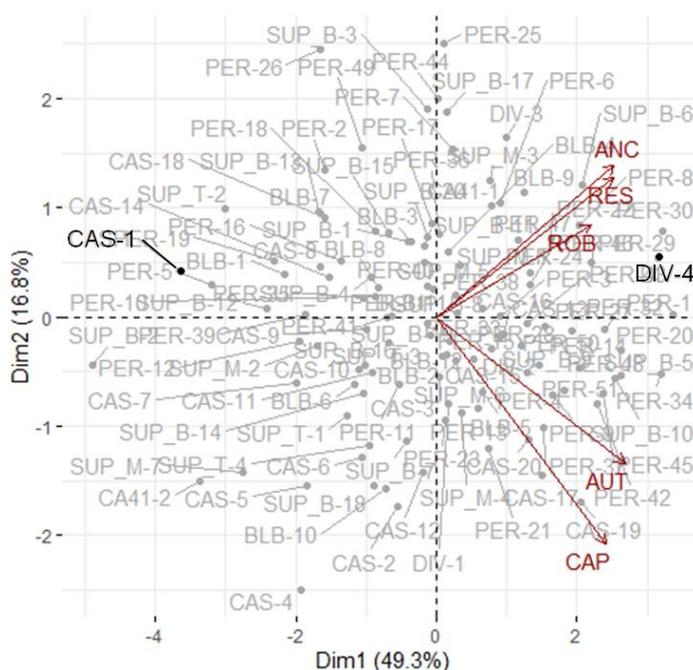


Figure 22 : Qualité de la représentation des variables



L'ACP des cinq propriétés sur les deux dimensions les plus appropriées reste peu discriminant (Figure 23). En effet, les cinq variables sont du même côté de l'axe factoriel, elles sont donc toutes corrélées positivement. Nous pouvons réaliser une lecture du graphique comme un gradient le long de l'axe 2.

Figure 23 : Analyse en Composantes Principales des cinq propriétés

Nous avons superposé les individus sur l'ACP, nous savons à présent que les exploitations agricoles situées les plus à droite sont les plus durables tandis que celles situées le plus à gauche présentent une durabilité moindre. Par lecture graphique, on note que l'exploitation DIV-4 est très durable tandis que CAS-1 l'est très peu. C'est en effet le cas puisque CAS-1 a obtenu la classe Très défavorable à trois propriétés, une fois la classe Défavorable et une fois la classe Favorable. De son côté, l'exploitation agricole DIV-4 a obtenu la classe Très favorable pour les cinq propriétés.

4.4.2. Matrice des corrélations

Comme nous l'avons vu sur l'ACP, les cinq propriétés sont corrélées positivement. La matrice des corrélations nous précise le coefficient de corrélations et si elles sont significatives. Nous constatons que toutes les variables sont significativement corrélées (Figure 24). De plus, il n'y a redondance entre aucune propriété puisque les coefficients de corrélations sont inférieurs à 0,7, seuil proposé

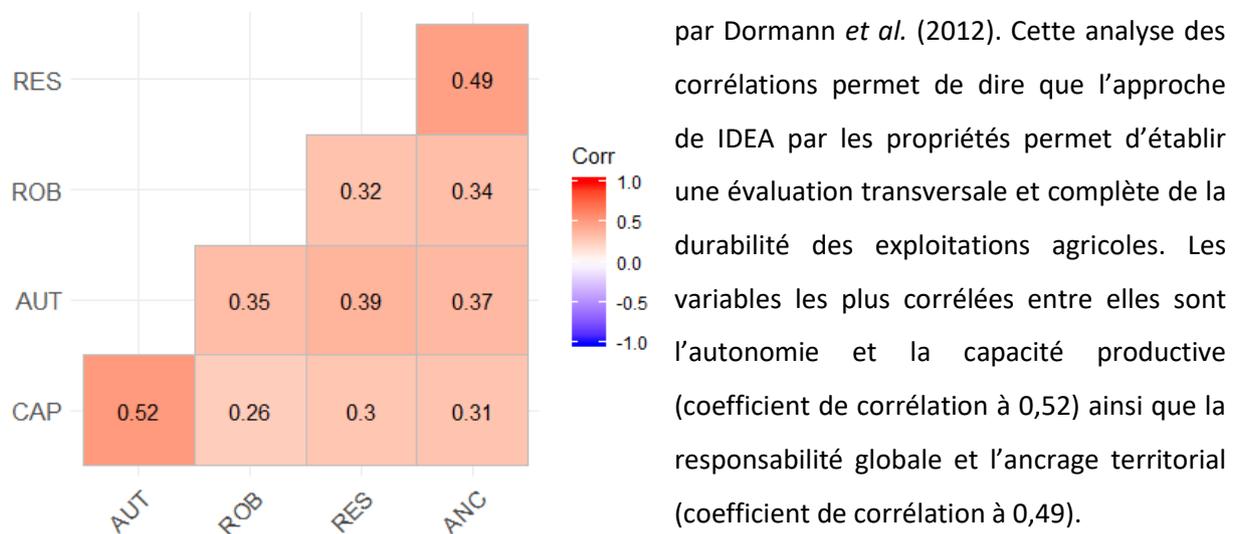


Figure 24 : Matrice des corrélations entre les cinq propriétés de la durabilité (seules les corrélations significatives sont représentées)

La capacité productive et l'autonomie étaient en effet des propriétés qui se recourent conceptuellement (voir partie 2.), nous ne sommes donc pas surpris que leurs résultats soient très corrélés. Si nous faisons la même observation pour le duo de propriétés responsabilité globale et ancrage territorial. Il nous faut malgré tout nuancer cette corrélation, en effet, le jeu de données utilisé est composé à 42% d'exploitation impliquées dans une démarche de circuits courts (Figure 5). Ainsi la corrélation entre ces deux propriétés peut être exacerbée par cette particularité du jeu de données.

Les propriétés robustesse et autonomie, qui conceptuellement semblent proches ont un coefficient de corrélation de 0,35. Cela signifie qu'elles ne sont pas redondantes et donc non substituables. Finalement, la construction des arbres explique en partie le fait que toutes les

propriétés soient corrélées positivement : 23% des indicateurs IDEA sont utilisés dans au moins deux propriétés. Cependant il n'existe pas de corrélation (coefficient de corrélation= -0,08 et p-value=0,82 au test de corrélation de Pearson) entre le nombre d'indicateurs que deux propriétés ont en commun (Tableau 14) et leur coefficient de corrélation (Figure 24).

Tableau 14 : Nombre d'indicateurs en commun entre les différentes propriétés

Responsabilité globale				2
Robustesse			1	1
Autonomie		4	0	2
Capacité productive	4	4	4	3
	Autonomie	Robustesse	Responsabilité globale	Ancrage territorial

5. Discussion

5.1. Mise en œuvre des méthodes

Nous avons pu aisément nous approprier la méthode IDEA. L'ensemble de notre travail a été facilité par le soin qu'ont pris les concepteurs de cette méthode de rédiger des notes de synthèse expliquant l'ensemble de leurs décisions. Parmi ces documents, trois fiches détaillent la construction de l'ensemble des indicateurs de la méthode en citant les références sur lesquelles les experts se sont appuyés. S'agissant du travail d'agrégation, pour chaque nœud des arbres, les règles de décision ont été décidées un à un par les concepteurs et détaillées dans des documents qui nous ont été fournis dès le début du stage. A cette riche documentation s'est ajoutée la supervision de ce travail par trois experts de la méthode IDEA, Frédéric Zahm, Sydney Girard et David Carayon de l'UR ETBX de INRAE. Le suivi régulier qu'ils ont opéré sur notre travail nous a permis de répondre au mieux aux besoins qu'ils avaient identifiés.

Alors qu'il a été aisé de s'approprier la méthode IDEA, l'utilisation de l'outil CONTRA présente quelques difficultés. Cette méthode d'agrégation reposant sur la logique floue est actuellement disponible sous forme d'un fichier Excel procédant à l'agrégation d'au maximum cinq variables d'entrée en une variable de sortie. Il a donc été nécessaire de développer une arborescence impliquant de nombreux fichiers Excel, reliés entre eux. Ceci a nécessité un important travail et une attention constante pour éviter des erreurs. Le travail a été quelque fois perturbé par des bugs liés probablement aux limites d'Excel. Dans le travail de reprogrammation de CONTRA, il nous est arrivé de buter aux limites d'Excel pour les fonctions qui excédaient le maximum de 8192 caractères autorisés. Ce langage de programmation n'est pas le plus pertinent mais reste accessible et facilement appropriable. Afin de répandre l'utilisation de cette méthode innovante, le

développement d'un logiciel CONTRA, à l'instar de DEXi permettant la création de l'ensemble d'un arbre de décision est souhaitable. De plus, l'état de développement de la méthode a été un frein à plusieurs reprises : pour l'attribution des fonctions d'agrégation ou encore pour le paramétrage des règles de décision. Au cours de nos travaux, nous avons amélioré l'outil CONTRA afin de répondre aux besoins du projet, le faisant passer de 9 fonctions d'appartenance à 11 et permettant à l'utilisateur d'agir sur l'agrégation de variables d'entrées appartenant aux classes floues et non plus uniquement aux classes extrêmes Favorable et Défavorable, ceci à l'aide d'un paramétrage adéquat. En agissant sur les classes floues de CONTRA, cela nous a permis de tenir compte des synergies positives et négatives impliquant la classe intermédiaire utilisée dans DEXi. Pour ce faire, des paramètres supplémentaires ont été ajoutés dans CONTRA. Cette amélioration de CONTRA constitue un premier résultat. Il faudra veiller à ce que les concepteurs d'arbres de décision qui utiliseront cet outil gardent la transparence sur ces paramétrages complémentaires. L'amélioration de l'outil CONTRA est un résultat important de mon stage et correspond à l'expérience de Christian Bockstaller. Il a en effet noté que dans des travaux de confrontation d'outils, les concepteurs trouvent souvent des pistes d'amélioration.

Initialement, des enquêtes auprès d'agriculteurs auraient dû nous permettre de constituer un jeu de données grâce auquel nous aurions pu comparer les résultats obtenus par DEXi et CONTRA. Le contexte sanitaire dans lequel s'est déroulé ce stage n'a pas permis de réaliser cette partie terrain cependant grâce à l'unité ETBX nous avons obtenu un jeu de données plus important que celui sur lequel nous aurions dû travailler. Le travail réalisé a fait partie intégrante du CASDAR ACTION qui vise à rendre accessible aux agriculteurs et aux conseillers la version 4 de IDEA dans le but d'analyser la performance globale de leurs exploitations et d'accompagner les agriculteurs dans leur transition agro-écologique. Ce CASDAR a également une visée pédagogique puisqu'IDEA est utilisé dans l'enseignement pour donner à voir la durabilité dans le monde agricole.

5.2. Discussion des résultats

Initialement, ce travail devait être réalisé uniquement sur la propriété robustesse de IDEA4. Nous avons finalement reconstruit les arbres de décision des cinq propriétés de la méthode avec l'outil CONTRA, illustrant ainsi son potentiel. Contrairement à DEXi, pour procéder à l'agrégation dans l'outil CONTRA il n'est pas nécessaire de travailler ligne à ligne sur des tableaux de règles de décision. Dans DEXi, l'arbre de décision de la propriété responsabilité globale comptait à lui seul 256 lignes tandis que dans CONTRA, les tableaux de règles de décision comptent au maximum 16 lignes (agrégation de 4 variables). A la suite de la construction des arbres de décision et de la modification des règles de décision suite à une analyse de sensibilité, nous avons comparé les résultats obtenus grâce aux deux outils d'agrégation. En considérant les médianes des résultats obtenus, nous avons

effectivement observé une corrélation positive entre les résultats obtenus bien que leur forte dispersion ait entraîné le chevauchement inter classes DEXi des résultats. Finalement la propriété responsabilité globale est celle pour laquelle les résultats CONTRA se rapprochent le plus de ceux de DEXi néanmoins des écarts subsistent. Pour la propriété responsabilité globale seules 33% des exploitations ont obtenu des évaluations divergentes par DEXi et CONTRA mais ce pourcentage peut monter à plus de 50% pour la propriété ancrage territorial par exemple. Cela soulève l'interrogation suivante : d'où viennent ces écarts et est-ce qu'ils sont justifiés ?

L'utilisation de l'outil DEXi avec l'attribution de seulement quatre classes différentes aux propriétés a entraîné des difficultés à discriminer avec précision les exploitations entre-elles. Comme l'avait identifié Lairez *et al.* (2015), il aurait été nécessaire d'augmenter le nombre de classes qualitatives tout au long du processus d'agrégation par DEXi afin de maintenir la sensibilité de l'outil. L'utilisation de l'outil CONTRA permet l'obtention grâce à la logique floue d'une variable de sortie quantitative continue (la propriété) à partir de variables d'entrée quantitatives discrètes (les indicateurs), ce qui a le mérite de fournir une palette plus nuancée de résultats que ne l'a permis DEXi. Malgré tout, cela a également conduit à l'obtention d'une forte proportion de résultats médians pouvant être problématiques pour l'utilisation de la méthode IDEA4 comme outil d'aide à la décision. Les écarts de notation existant entre DEXi et CONTRA peuvent être dus à un effet de seuil ainsi qu'à la difficulté de transposition des synergies dans CONTRA mais ils peuvent aussi s'expliquer par le fait que l'agrégation dans DEXi s'est faite avec la volonté d'avoir un avis tranché (favorable ou défavorable). C'est aux concepteurs de IDEA que revient le choix de décider de l'avenir de ces deux méthodes d'évaluation : doivent-elles cohabiter avec des écarts de notation inhérents à l'usage de deux méthodes en parallèle ? Ou doivent-elles se rapprocher dans leur résultat, soit en requestionnant les choix d'agrégation de DEXi, soit en continuant d'améliorer l'outil CONTRA afin de pouvoir prendre en compte d'autres subtilités intervenant dans le processus d'agrégation des indicateurs IDEA en propriétés.

Il est à noter que la méthode de Monte-Carlo présente des limites pour l'analyse de sensibilité que nous avons menée puisque les tirages aléatoires conduisent à des cas qui seraient impossibles. A titre d'exemple, les indicateurs A9 et A12 traitent de la thématique d'utilisation de l'eau. Dans la réalité une exploitation obtenant une bonne note à A9 ne pourrait être sanctionnée d'une mauvaise note à A12, or Monte-Carlo rend ce cas de figure possible. Malgré tout, la méthode Monte Carlo nous semblait la plus adaptée puisqu'elle permet de générer et de travailler sur un grand nombre de données, permettant d'améliorer la construction des arbres de décision avec CONTRA.

Par ailleurs, la confrontation de notre proposition d'agrégation par CONTRA avec l'agrégation de la version 4 de IDEA par DEXi a fait émerger des interrogations sur la construction des propriétés. Le comité scientifique IDEA se questionnait sur la redondance des cinq propriétés notamment de la robustesse et de l'autonomie qui sont des concepts voisins. Notre étude des corrélations a permis de statuer de la non substituabilité des propriétés entre-elles et ce malgré la redondance des indicateurs au sein des propriétés. S'agissant de la construction des arbres de décision, en prenant l'exemple de la propriété capacité productive de biens et de services, les écarts de profondeur des branches de l'arbre et les déséquilibres existants entre le nombre d'indicateurs qu'elles agrègent vont directement impacter la sensibilité de son évaluation. De même, la pondération des branches et les règles de décision établies par les experts rassemblés lors des comités scientifiques IDEA peuvent être rediscutées au regard de l'évolution des connaissances.

L'ensemble de ces résultats a été obtenu avec un jeu de données qui présentait plusieurs biais potentiels : la surreprésentation des exploitations en circuit-courts et le fait que les exploitations ont été enquêtées à des temps différents par une diversité d'enquêteurs. Nous avons considéré l'effet ce deuxième biais comme marginal dans nos analyses suite à une discussion avec l'équipe d'ETBX.

Finalement, nous avons pensé procéder à une comparaison de l'approche statique de la robustesse par la méthode IDEA avec l'approche dynamique de celle-ci réalisée par Manon Dardonville dans le cadre de sa thèse au LAE. Cependant le temps nous a manqué pour le faire. Ceci pourrait constituer une suite à ce travail. Une autre perspective serait l'étude plus approfondie de la comparaison des évaluations par DEXi et CONTRA, qui permettrait de réduire les écarts constatés ou au contraire de les assumer. Enfin, le développement informatique de CONTRA pourra constituer une avancée dans le domaine de l'évaluation multicritère en offrant un outil opérationnel d'agrégation reposant sur la logique floue.

6. Conclusion

Ce projet s'inscrit dans le CASDAR ACTION ayant pour objectif de rendre opérationnelle la version 4 de la méthode IDEA qui évalue la durabilité des exploitations agricoles. De plus en plus, les structures de conseils mais également les agriculteurs eux-mêmes, sont à la recherche de la quantification de leur impact sur l'environnement, de leur engagement social et de leur viabilité économique afin de piloter d'éventuels changements stratégiques au sein de leur exploitation.

La version 4 de la méthode IDEA propose une approche de la durabilité des exploitations agricoles par les propriétés qui fournissent une évaluation transversale de la durabilité en prenant en compte les trois dimensions de la durabilité (agroécologique, socio-territoriale et économique). Dans cette approche, les indicateurs sont agrégés grâce à l'outil DEXi qui présente un inconvénient majeur de fonctionner en classes qualitatives, sources d'effets de seuil importants. Pour pallier ce problème, nous avons mis en œuvre l'outil CONTRA. Celle-ci nous a permis de développer des arbres de décision reposant sur la logique floue en reprenant la structuration et les grands principes de l'agrégation proposés dans DEXi (notamment les synergies). Grâce à ce travail, nous avons obtenu des résultats quantifiés (et non sous forme de classe qualitative) et d'une plus grande étendue, rendant alors l'évaluation plus sensible. Néanmoins des divergences d'évaluation par DEXi et CONTRA ont émergé permettant d'ouvrir de nouvelles pistes de réflexion et d'initier d'autres projets. L'utilisation de l'outil CONTRA a permis d'obtenir des résultats plus précis qu'avec DEXi ce qui nous a permis d'étudier les corrélations existant entre les propriétés.

Les travaux réalisés sur la méthode IDEA ont permis également d'améliorer CONTRA, l'outil d'agrégation reposant sur logique floue utilisé. Cet outil d'agrégation transparent et flexible est déjà très abouti, bien que l'étape de développement d'un logiciel qui lui serait propre freine sa plus large utilisation. Ce travail devrait constituer la prochaine étape. Son utilisation pour l'évaluation des propriétés de la méthode IDEA contribuerait à le faire connaître et donc d'être employé dans d'autres projets. Cela dépasse le cadre de mon projet et sera du ressort du comité scientifique d'IDEA.

Bibliographie

Adger, W.N. (2006) 'Vulnerability', *Global Environmental Change*, 16 (3), pp. 268-281. DOI : 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006.

Arnés, E., Antonio, J., Del-Val, E. and Astier, M. (2013), 'Sustainability and climate variability in low-input peasant maize systems in the central Mexican highlands', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 181, pp. 195–205. DOI : 10.1016/j.agee.2013.09.022.

Bansal, P. (2002), 'The Corporate Challenges of Sustainable Development', *Academy of Management Executive*, 16 (2), pp. 122-131. DOI: 10.5465/AME.2002.7173572.

Bardey, H., Ingrand, S. and Brossier, J. au Séminaire DADP, *La flexibilité des exploitations d'élevage de bovins allaitants face aux aléas de la filière bovine : une analyse à partir de la conduite technique et des pratiques économiques et commerciales*, 17 et 18 décembre 2002, Montpellier.

Berthoin Antal, A. and Sobczak, A. (2004) 'Beyond CSR: organizational learning for global responsibility', *Journal of General Management*, 30 (2), pp. 77-98.

Bockstaller, C., Guichard, L., Makowski, D., Aveline, A., Girardin, P. and Plantureux, S. (2008) 'Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review', *Agronomy for Sustainable Development*, 28, pp. 139-149. DOI: 10.1051/agro:2007052.

Bockstaller, C., Feschet, P. and Angevin, F. (2015), 'Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators', *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 22 (1), pp.1-12. DOI: 10.1051/ocl/2014052.

Bockstaller, C., Beauchet, S., Manneville, V., Amiaud, B. and Botreau, R. (2017) 'A tool to design fuzzy decision trees for sustainability assessment', *Environmental Modelling and Software*, 97, pp. 130–144. DOI : 10.1016/j.envsoft.2017.07.011.

Bockstaller, C., Soulé, E., Michonneau, P., and Michel, N. (2020) 'Assessing sustainability of agricultural systems by multi-criteria approach: an overview', Abstract soumis pour colloque INFORMS en ligne 8-11/11/2020, Available at : <https://www.informs.org/Meetings-Conferences/INFORMS-Conference-Calendar/2020-INFORMS-Annual-Meeting>.

Bohanec, M. and Rajkovič, V. (1999) 'Multi-Attribute Decision Modeling: Industrial Applications of DEXi', *Informatica*, 23, pp. 487–491.

Bohanec, M. (2008) *DEXi: Program for multi-attribute decision making*, User's manual, Version 3.03. IJS Report DP-9989, Jožef Stefan Institute, Ljubljana.

Bonny, B.P., Prasad, R.M. and Paulose, S. (2010) 'Agro-ecosystem Performance Index (API) — A Quantitative Approach to Evaluate the Sustainability of Rice Production Systems', *Journal of Sustainable Agriculture*, 34 (7), pp. 758-777.

Bouttes, M., San Cristobal, M. and Martin, G. (2018) 'Vulnerability to climatic and economic variability is mainly driven by farmers' practices on French organic dairy farms', *European Journal of Agronomy*, 94, pp. 89–97. DOI : 10.1016/J.EJA.2018.01.013.

Brundtland, G. H. (1987) *Notre avenir à tous*, Rapport de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement, CNUED Genève., version française 1989, Ed. du Fleuve.

Cabell, J. F. and Oelofse, M. (2012) 'An indicator framework for assessing agroecosystem resilience', *Ecology and Society*, 17 (1), p. 18. DOI : 10.5751/ES-04666-170118.

Carayon, D., Girard, S. and Zahm, F. (2020) IDEATools: Un applicatif pour le calcul, l'automatisation et l'exploitation de données IDEA4. R package version 1.0. Available at : <https://github.com/davidcarayon/IDEATools>

Carpani, M., Bergez, J.E. and Monod, H. (2012) 'Sensitivity analysis of a hierarchical qualitative model for sustainability assessment of cropping systems', *Environmental Modelling and Software*, 27 (28), pp. 15–22. DOI : 10.1016/j.envsoft.2011.10.002.

Charreyron-Perchet, A. (2015) *Villes et territoires résilients*. CGDD coll., mai 2015. Etudes et documents n°123.

Chazoule, C. and Lambert, R. (2011) 'Ancrage territorial et formes de valorisation des productions localisées au Québec', *Économie rurale*, (322), p. 11-23.

Chia, E. and Marchesnay, M. (2010) 'Un regard des sciences de gestion sur la flexibilité : enjeux et perspectives' in Dedieu, B., Chia, E., Leclerc, B., Moulin, C.H. and Tichit, M., *L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*. Editions Quae, pp. 23-54.

Commission Européenne, 2011. Responsabilité sociale des entreprises : une nouvelle stratégie de l'UE pour la période 2011-2014. Bruxelles, 2011. Available at : https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Communication_du_25_octobre_2011_de_la_Commission_europeenne_sur_la_RSE_cle434613.pdf.

Coquil, X. (2014) *Transition des systèmes de polyculture élevage laitiers vers l'autonomie. Une approche par le développement des mondes professionnels*. AgroParisTech, 2014.

- Craheix, D., Bergez, J.-E., Angevin, F., Bockstaller, C., Bohanec, M., Colomb, B., Doré, T., Fortino, G., Guichard, L., Pelzer, E., Méssean, A., Reau, R. and Sadok, W. (2015) 'Guidelines to design models assessing agricultural sustainability, based upon feedbacks from the DEXi decision support system', *Agronomy Sustainability*, 35, pp. 1431–1447. DOI : 10.1007/s13593-015-0315-0.
- Dalsgaard, J.P.T., Lightfoot, C. and Christensen, V. (1995) 'Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis', *Ecological Engineering*, 4 (3), pp. 181-189. DOI : 10.1016/0925-8574(94)00057-C.
- Dedieu, B. and Ingrand, S. (2010) 'Incertitude et adaptation : cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage', *INRA Productions Animales*, 23 (1), pp. 81-90. DOI : 10.20870/productions-animales.2010.23.1.3289.
- De Goede, D.M., Gremmen, B. and Blom-Zandstra, M. (2012) 'Robust agriculture : Balancing between vulnerability and stability', *Wageningen Journal of Life Sciences*, 64 (65), pp. 1–7. DOI : 10.1016/j.njas.2012.03.001.
- De Olde, E. M., Oudshoorn, F. W., Sørensen, C. A. G., Bokkers, A. M. and De Boer, I. J. M. (2016) 'Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice', *Ecological Indicators*, 66, pp. 391-404. DOI : 10.1016/j.ecolind.2016.01.047.
- Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., *et al.* (2012) 'Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance', *Ecography*, 36, pp. 27–46. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x.
- Féret, S. and Douguet, J.-M. (2001) 'Agriculture durable et agriculture raisonnée: Quels principes et quelles pratiques pour la soutenabilité du développement en agriculture ?', *Nature Sciences Sociétés*, 9, pp. 58–64. DOI : 10.1016/S1240-1307(01)90012-3.
- Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. and Rockström, J. (2010) 'Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability', *Ecology and Society*, 15 (4), p. 20. Available at : <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>
- Gafsi, M. (2006) 'Exploitation agricole et agriculture durable', *Cahiers Agricultures*, 15 (6), p. 491-497. DOI : 10.1684/agr.2006.0035.
- Gond, J.P. and Mullenbach-Servayre, A. (2003) 'Les fondements théoriques de la responsabilité sociétale de l'entreprise', *Revue des Sciences de Gestion*, 205.

- Grolleau, L., Falaise, D., Moreau, J.C., Delaby, L. and Lusson, J.M. (2014) 'Autonomie et productivité : évaluation en élevages de ruminants grâce à trois indicateurs complémentaires', *Fourrages*, 218, pp. 125-131.
- Guerbet, M. and Jouany, J.M. (2002) 'Value of the SIRIS method for the classification of a series of 90 chemicals according to risk for the aquatic environment', *Environmental Impact Assessment Review*, 22 (4), pp. 377-391. DOI : 10.1016/S0195-9255(02)00008-2.
- Guillaume, S. and Charnomordic, B. (2011) 'Learning interpretable fuzzy inference systems with FisPro', *Information Sciences*, 181 (20), pp. 4409-4427. DOI : 10.1016/j.ins.2011.03.025.
- Guillaume, S. and Charnomordic, B. (2012) 'Fuzzy inference systems: an integrated modeling environment for collaboration between expert knowledge and data using FisPro', *Expert Systems with Applications*, 39 (10), pp. 8744-8755. DOI : 10.1016/j.eswa.2012.01.206.
- Hellec, F. and Blouet, A. (2012) 'Technicité versus autonomie: Deux conceptions de l'élevage laitier biologique dans l'est de la France', *Terrains & travaux*, 20(1), pp. 157-172. DOI : 10.3917/tt.020.0157.
- Jen, E. (2003) 'Stable or robust? What's the difference?', *Complexity*, 8 (3), pp. 12-18. DOI : 10.1002/cplx.10077.
- Lairez, J., Feschet, P., Aubin, J., Bockstaller, C. and Bouvarel, I. (2015) *Evaluer la durabilité en agriculture. Guide pour l'analyse multicritère en productions animales et végétales*. Versailles : Quae.
- Landais, E. (1998) 'Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social', *Courrier de l'Environnement*, 33, pp. 5 - 22.
- Lauriol, J. (2004) 'Le développement durable à la recherche d'un corps de doctrine', *Revue française de gestion*, 152, pp. 137-150. DOI : 10.3166/rfg.152.137-150.
- Lefroy, R.D.B., Bechstedt, H.D. and Rais, M. (2000) 'Indicators for sustainable land management based on farmer surveys in Vietnam, Indonesia, and Thailand', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 81 (2), pp. 137-146. DOI : 10.1016/S0167-8809(00)00187-0.
- López-Ridaura, S., Masera, O. and Astier, M. (2002) 'Evaluating the sustainability of complex socio environmental systems. The MESMIS framework', *Ecological Indicators*, 2, pp. 135-148.

López-Ridaura, S., Keulen, H.V., Ittersum, M.K.V. and Leffelaar, P.A. (2005) 'Multiscale Methodological Framework to Derive Criteria and Indicators for Sustainability Evaluation of Peasant Natural Resource Management Systems', *Environmental Development of Sustainability*, 7, pp. 51–69. DOI : 10.1007/s10668-003-6976-x.

Lucas, V. and Gasselin, P. (2018) 'Gagner en autonomie grâce à la Cuma. Expériences d'éleveurs laitiers français à l'ère de la dérégulation et de l'agroécologie', *Économie rurale*, 364, pp. 73-89. DOI : 10.4000/economierurale.5554

Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Spiegel, A., Termeer, C.J.A.M., Mathijs, E., *et al.* (2019) 'A framework to assess the resilience of farming systems', *Agricultural Systems*, 176. DOI : 10.1016/j.agsy.2019.102656.

Mouchet, C. *Évaluer pour évoluer : la durabilité de l'exploitation agricole*. Congrès de la FADEAR, Rambouillet, novembre 1998.

Ministère de l'Agriculture, 2014. Loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt. JORF n° 0238 du 14 octobre 2014 p. 16601, texte n° 1. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2014/10/13/AGRX1324417L/jo/texte>, consulté le 20 avril 2020.

Nozières-Petit, M.O. (2014) *La commercialisation des produits, source de flexibilité pour les éleveurs? : Le cas de l'élevage ovin allaitant du Languedoc-Roussillon*. Montpellier SupAgro.

Oliveira, M.N., Triomphe, B., Rigolot, C., Cialdella, N. and Ingrand, S. (2015) 'Evaluation de la vulnérabilité des systèmes bovins lait familiaux au Brésil : proposition d'une méthode quantitative', *Fourrages*, 222, pp. 135-142.

Olsson, L., Jerneck, A., Thoren, H., Persson, J. and O'Byrne, D. (2015) 'Why resilience is unappealing to social science: Theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience', *Science Advances*, 1 (4), p. 11. DOI: 10.1126/sciadv.1400217.

Pierlot, F., Marks-Perreau, J., Réal, B., *et al.* (2017) 'Predictive quality of 26 pesticide risk indicators and one flow model: A multisite assessment for water contamination', *Science of the Total Environment*, 605 (606), pp. 655-665. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2017.06.112.

Ploeg J. D. van der (2014) *Les paysans du 21e siècle. Mouvements de repaysannisation dans l'Europe aujourd'hui*. Paris, ECLM.

Pretty, J., and Hine, R. (2002) 'What is Sustainable Agriculture?', In : *Reducing Food Poverty with Sustainable Agriculture : A Summary of New Evidence*. Essex : CES Report. UK :University of Essex, pp. 20-25.

Pretty, J. (2003) 'Social capital and the collective management of resources', *Science*, 302 (5652). DOI : 10.1126/science.1090847.

Richard, G., Stengel, P., Lemaire, G., Cellier, P. and Valceschini, E. (2018) *Une Agronomie pour le XXIème siècle*. Versailles : Editions Quae.

Ripoll-Bosch, R., Díez-Unquera, B., Ruiz, R., Villalba, D., Molina, E., Joy, M., Olaizola, A. and Bernués, A. (2012) 'An integrated sustainability assessment of mediterranean sheep farms with different degrees of intensification', *Agricultural systems*, 105 (1), pp. 46–56. DOI : 10.1016/j.agsy.2011.10.003.

Risoud, B. (1999) 'Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles', *Économie rurale*, 252, pp. 16-27. DOI : 10.3406/ecoru.1999.5096.

Sabatier, R. and Mouysset, I. (2018) 'A robustness-based viewpoint on the production-ecology trade-off in agroecosystems', *Agricultural Systems*, 167, pp. 1-9. DOI : 10.1016/j.agsy.2018.08.001.

Sautereau, N. and Petitgenet, M. (2014) 'Agriculture biologique : tensions entre de multiples enjeux. Cas des systèmes arboricoles en région PACA', *Économie rurale*, 339 (340), pp. 145-163. DOI : 10.4000/economierurale.4276.

Speelman, E.N., López-Ridaura, S., Colomer, N.A., Astier, M. and Masera, O.R. (2007) 'Ten years of sustainability evaluation using the MESMIS framework: Lessons learned from its application in 28 Latin American case studies', *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14, pp. 345–361.

Ten Napel, J., Bianchi, F. and Bestman, M. (2006) 'Utilising Intrinsic Robustness in Agricultural Production Systems', *Transforum Working Papers*, 1, pp. 32–54.

Unay-Gailhard, I., Balmann, A. and Appel, F., 2018. *Dimensions of SURE-Farm Farm Typology for Farm Resilience Assessments*. Deliverable D1.3., 26/03/2018. Available at : https://www.researchgate.net/publication/325089331_Dimensions_of_SURE-Farm_Farm_Typology_for_Farm_Resilience_Assessments.

Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D. and Huyghe, C. (2016) 'Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review', *Agronomy Sustainability Development*, 36, p. 15. DOI 10.1007/s13593-015-0347-5

Urruty, N., Guyomard, H., Tailliez-Lefebvre, D. and Huyghe, C. (2017) 'Factors of winter wheat yield robustness in France under unfavourable weather conditions', *European Journal of Agronomy*, 90, pp. 174–183. DOI : 10.1016/j.eja.2017.08.002.

Vaillant, M., Jouany, J. and Devillers, J. (1995) 'A multicriteria estimation of the environmental risk of chemicals with the SIRIS method', *Toxicology Modelling*, 1, pp. 57-72.

Vilain, L. (2008) *La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles*. Educagri éditions.

Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R. and Kinzig, A. (2004) 'Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems', *Ecology and Society*, 9 (2), p. 9. Available at : <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>.

Zahm, F., Alonso Ugaglia, A., Boureau, H., Del'Homme, B., Barbier, J.M., *et al.* (2015) 'Agriculture et exploitation agricole durables: état de l'art et proposition de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture', *Innovations Agronomiques*, 46, pp.105-125.

Zahm, F., Alonso Ugaglia, A., Barbier, J.-M., Boureau, H., Del'homme, B., Gafsi, M., Gasselin, P., Girard, S., Guichard, L., Loyce, C., Manneville, V., Menet, A. and Redlingshöfer, B. (2019) 'Évaluer la durabilité des exploitations agricoles. La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité', *Cahiers Agriculture*, 28 (5), p.10. DOI : 10.1051/cagri/2019004.

Zahm, F., Barbier, J.M., Cohen, S., Boureau, H., Girard, S., Carayon, D., Alonso Ugaglia, A., Del'homme, B., Gafsi, M., Gasselin, P., Guichard, L., Loyce, C., Manneville, V. and Redlingshöfer, B. (2020) 'IDEA4 : une méthode de diagnostic pour une évaluation clinique de la durabilité en agriculture', *Association française d'agronomie*, 9 (2), pp. 39-51.

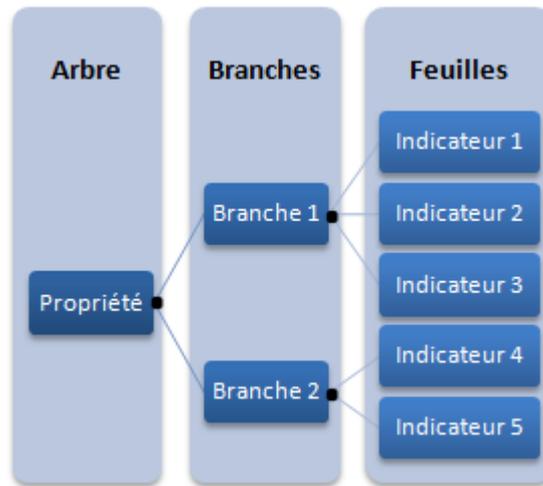
<http://methode-idea.org/casdar-action/>. Consulté le 02/06/2020.

https://odr.inra.fr/intranet/carto/cartowiki/index.php/OTEX_et_Orientation_Agricole_des_territoires. Consulté le 15/04/2020.

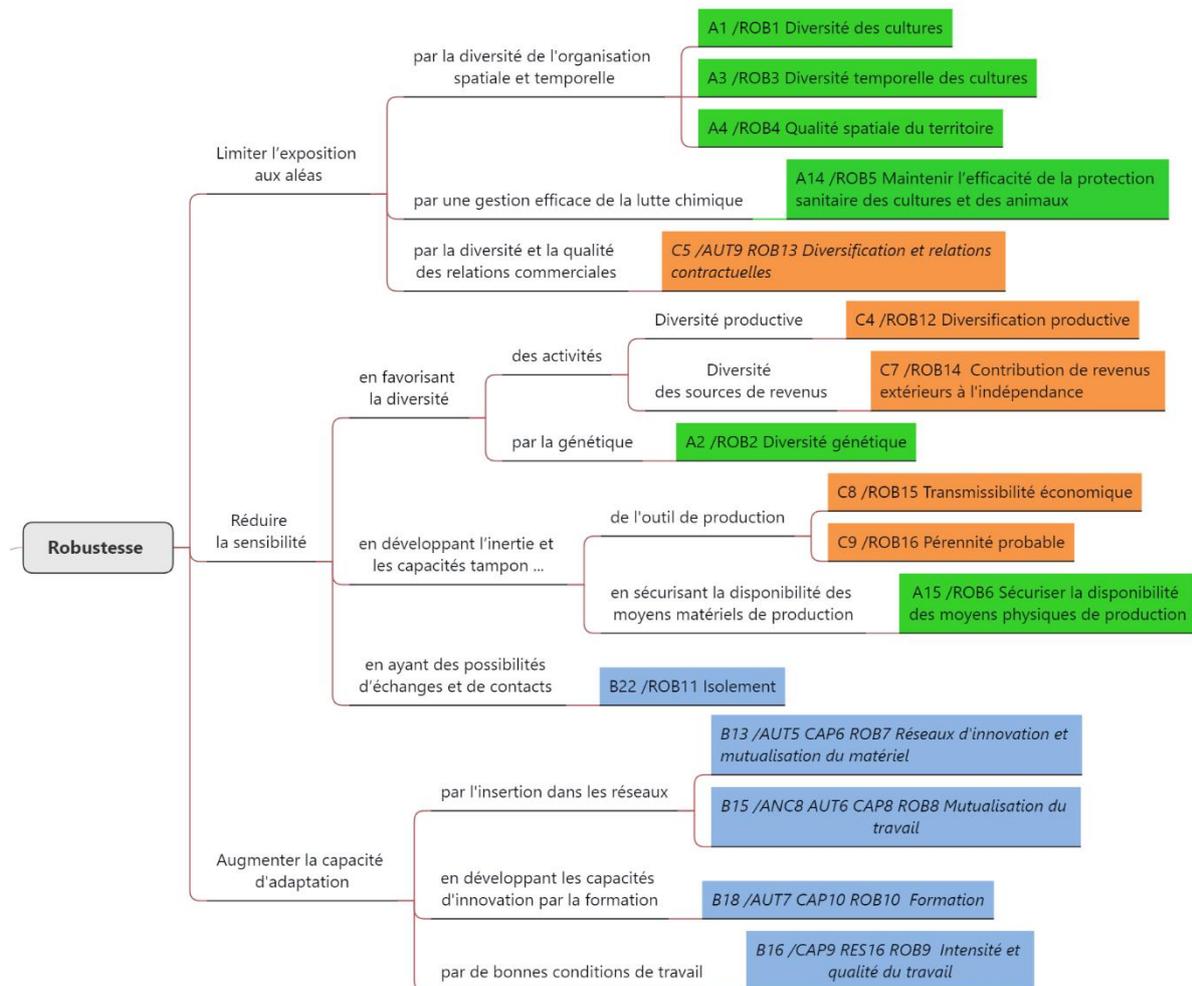
<http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/Interface+DEXi-MASC/Accueil>. Consulté le 12/03/2020.

Annexes

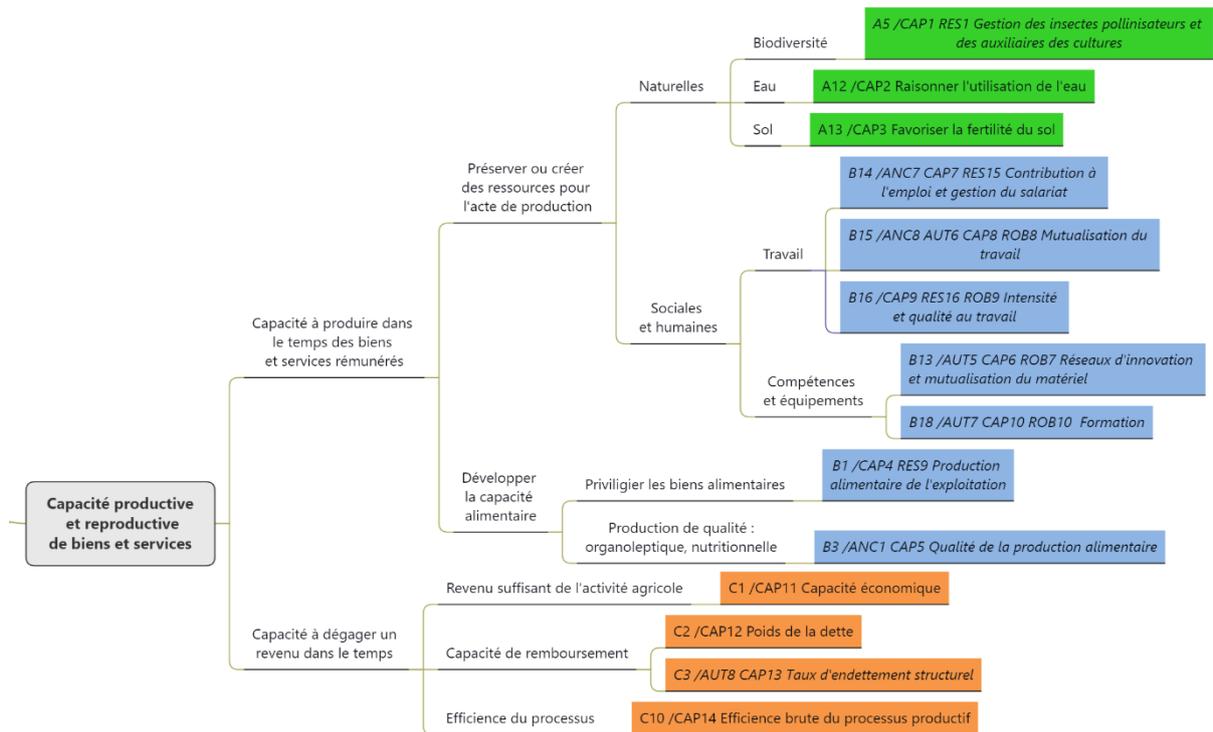
Annexe 1 : Structure d'un arbre de décision (les points noirs font référence à des nœuds d'agrégation)



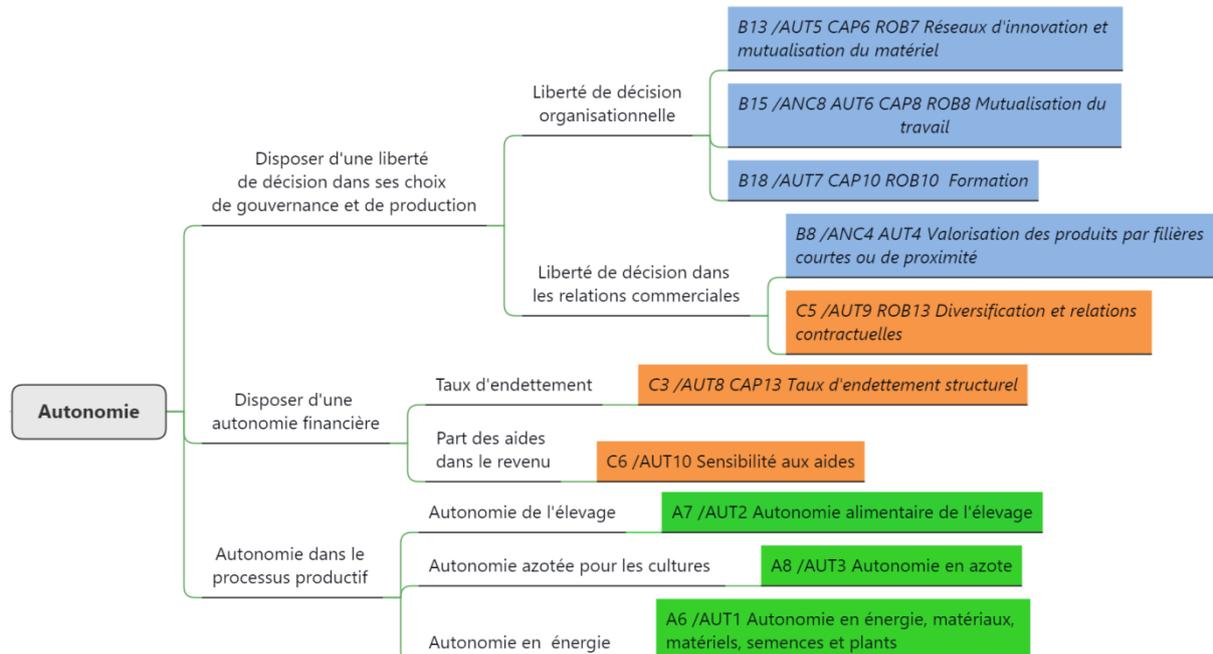
Annexe 2: Carte heuristique de la propriété robuste (Comité Scientifique IDEA, 2019)



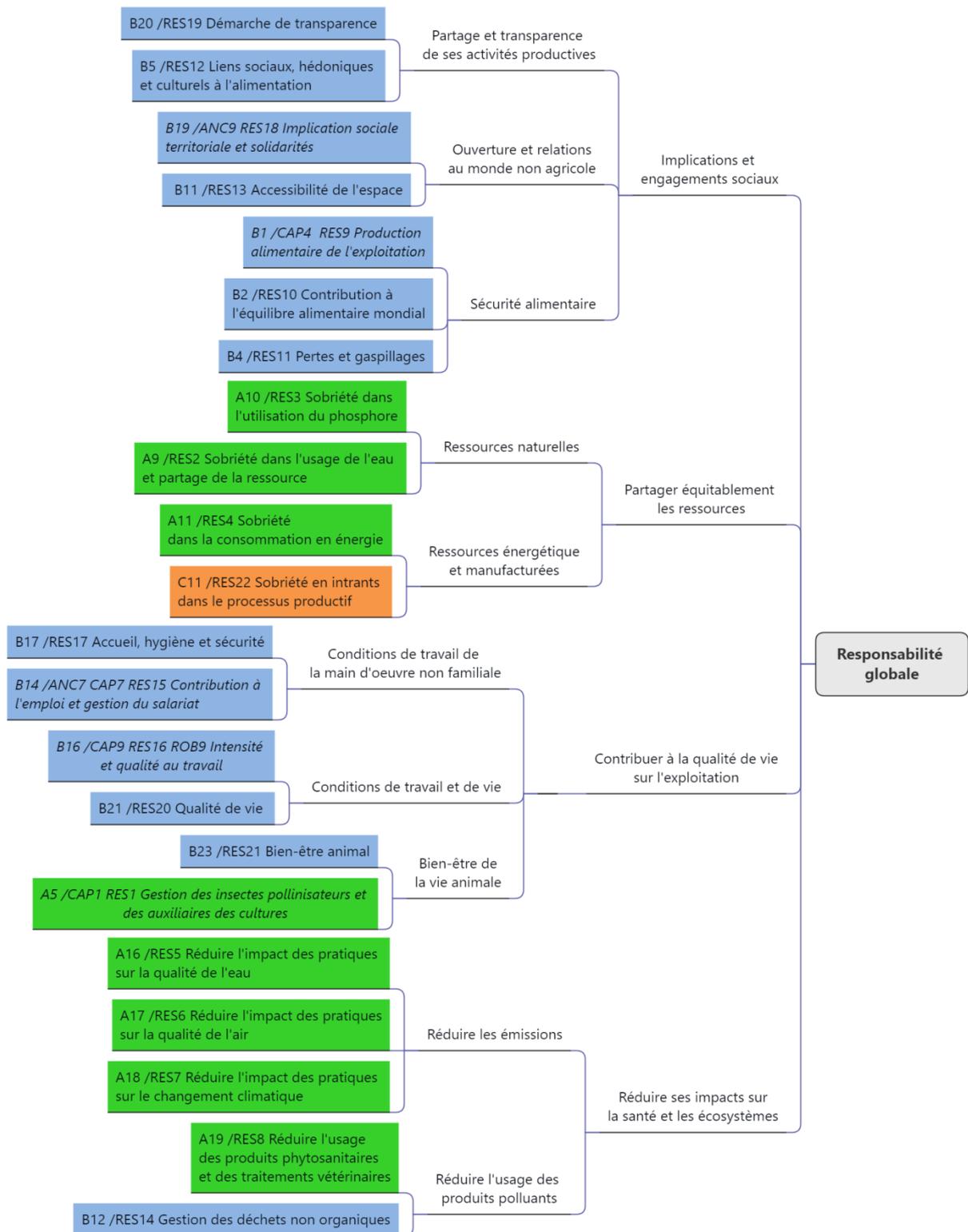
Annexe 3: Carte heuristique de la propriété capacité productive (Comité Scientifique IDEA, 2019)



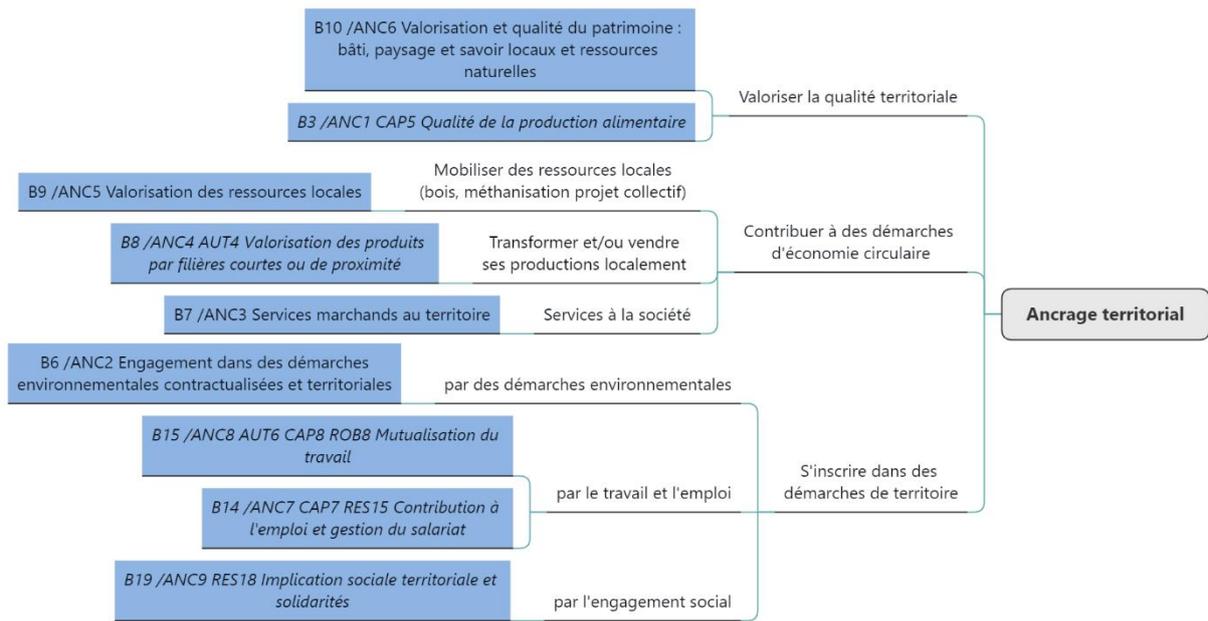
Annexe 4: Carte heuristique de la propriété autonomie (Comité Scientifique IDEA, 2019)



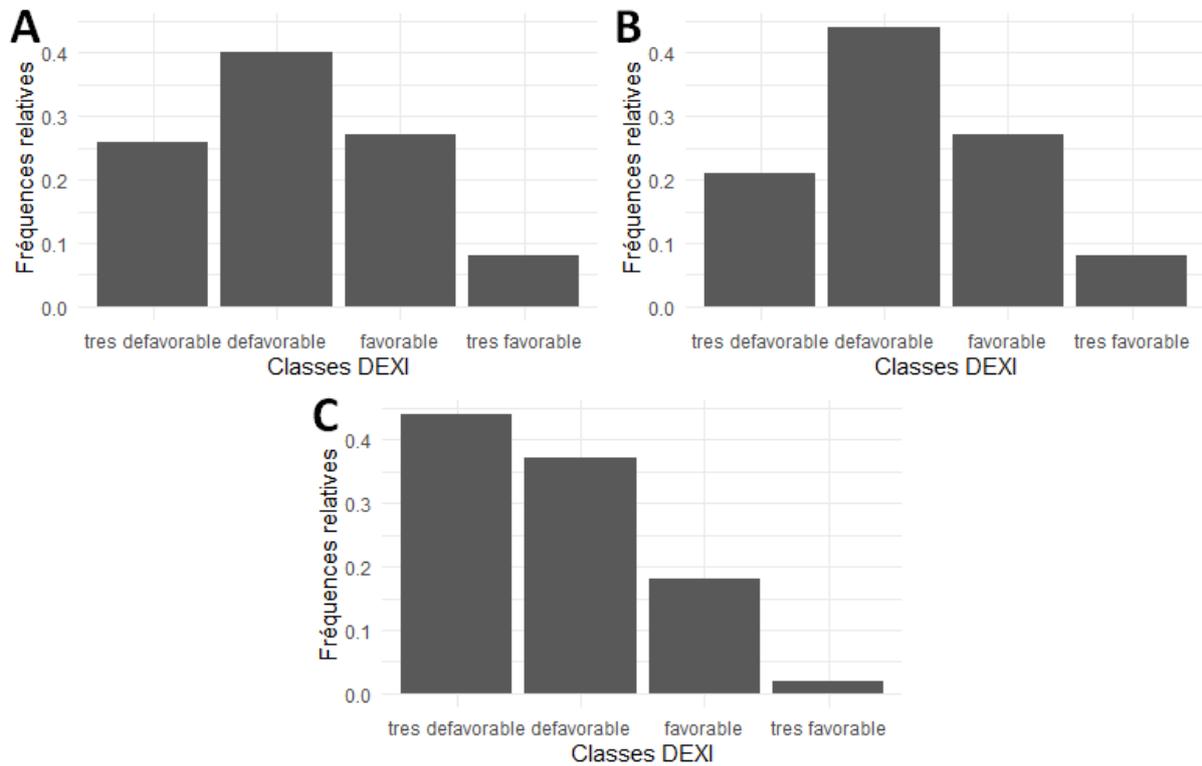
Annexe 5: Carte heuristique de la propriété responsabilité globale (Comité Scientifique IDEA, 2019)



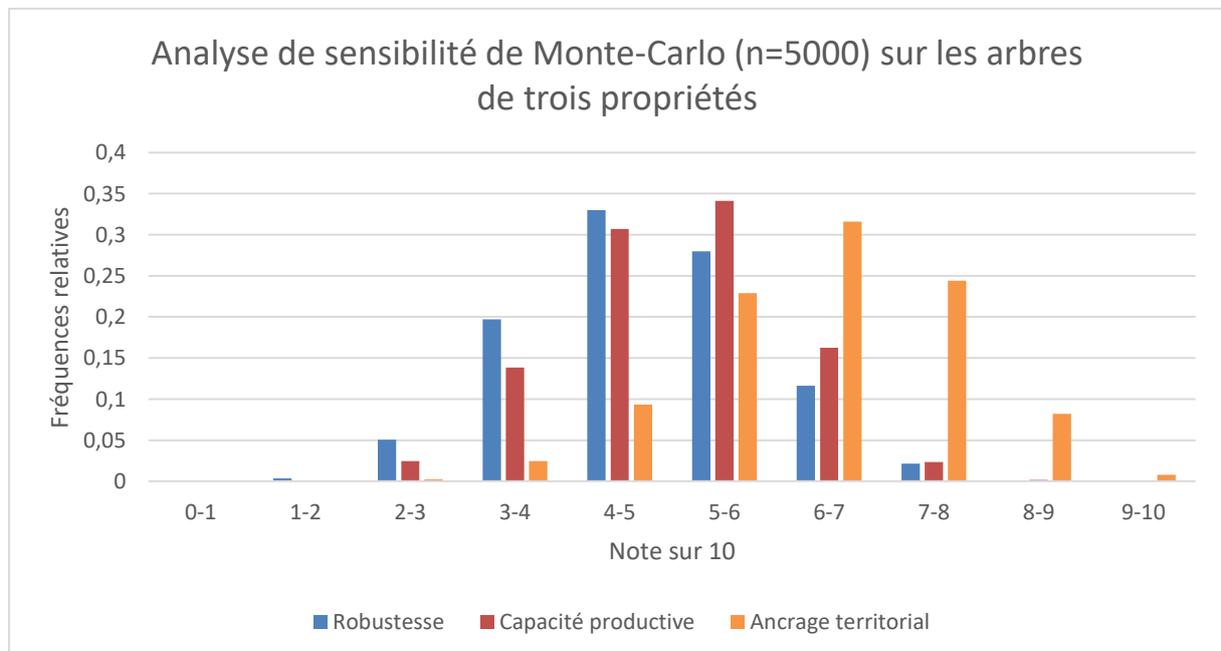
Annexe 6: Carte heuristique de la propriété ancrage territorial (Comité Scientifique IDEA, 2019)



Annexe 7: Analyse de sensibilité des arbres de décision DEXi avec la méthode de Monte-Carlo à 5000 répétitions (A : autonomie, B : ancrage territorial, C : responsabilité globale)



Annexe 8: Analyse de sensibilité des arbres CONTRA des propriétés robustesse, capacité productive et ancrage territorial avec les règles de décision préétablies dans l'outil CONTRA



Annexe 9: Tableau récapitulatif des termes de correction appliqués pour l'ensemble des branches des cinq propriétés (les cases en gris indiquent l'absence de terme de correction)

Propriété	Branche	Valeur du terme de correction
Robustesse	Propriété	3
	Limiter l'exposition aux aléas	
	Réduire la sensibilité	2,5
	Augmenter la capacité d'adaptation	0,75
Capacité productive et reproductive de biens et de services	Propriété	
	Capacité à produire dans le temps des biens et services rémunérés	2,5
	Capacité à dégager un revenu dans le temps	
Autonomie	Propriété	
	Disposer d'une liberté de décision dans ses choix de gouvernance et de production	
	Disposer d'une autonomie financière	
	Autonomie dans le processus productif	
Responsabilité globale	Propriété	2
	Implications et engagements sociaux	1
	Partager équitablement les ressources	
	Contribuer à la qualité de vie sur l'exploitation	1
	Réduire ses impacts sur la santé et les écosystèmes	
Ancrage territorial	Propriété	
	Valoriser la qualité territoriale	
	Contribuer à des démarches d'économie circulaire	
	S'inscrire dans des démarches de territoire	1

Annexe 10 : Description de la dernière version de l'outil CONTRA

L'outil d'agrégation CONTRA est actuellement hébergé sur Excel. Le fichier contient de nombreux onglets parmi lesquels :

- L'interface nommée « VariableArbre » dans laquelle sont paramétrées les variables d'entrées (limites favorables et défavorables, fonctions d'appartenance, pondération), (voir figure en fin d'annexe).
- Les règles de décision sur la feuille nommée « Arbre ». Ici figurent toutes les lignes des règles de décision et la possibilité d'appliquer des termes de corrections,
- Une feuille de saisie des notes attribuées à chacune des variables d'entrée et de visualisation du résultat de l'agrégation,
- Les paramètres sur la feuille du même nom : là sont stockés les paramètres utiles aux fonctions d'appartenance. Nous avons également stocké sur cette page les règles de décision intermédiaires puisqu'elles ne constituent qu'une voie secondaire d'action sur les règles de décision,
- Une feuille nommée « ExplicCalcul » qui permet à l'utilisateur de choisir une ligne de calcul et d'avoir le détail des valeurs d'appartenance de chaque variable.
- Une feuille nommée « simulation » qui permet à l'utilisateur de rentrer des valeurs de son choix pour les variables d'entrée et de visualiser directement leurs valeurs d'appartenance à la classe favorable ainsi que le résultat final de l'agrégation.

Nous allons ici détailler la prise en compte de synergies intermédiaires rendue possible par le nouveau paramétrage des règles de décision. Dans la feuille Paramètres de CONTRA, nous avons renseigné la valeur des termes de correction (appelé *corr* dans la formule (2)) lorsque les règles de décision impliquent des valeurs médianes d'appartenance à la classe favorable.

La formule (1) est celle utilisée initialement dans CONTRA :

$$(1) : y = \sum_{i=1}^n a_i y_i$$

Avec y : la valeur de sortie de l'agrégation,

n : le nombre de règles de décision,

a_i : la valeur d'appartenance à chaque règle de décision,

y_i : la valeur de sortie associée à chaque règle de décision.

Cette formule a été repensée afin de pouvoir prendre en compte l'ensemble des synergies pensées pour l'agrégation des propriétés de IDEA. Afin de détecter lorsque l'on se trouve dans les cas

intermédiaires nous avons utilisé la formule écart-type. Lorsque l'écart type est élevé cela révèle le fait que nous nous trouvons dans le cas d'une règle de décision impliquant des résultats extrêmes, ainsi les synergies intermédiaires ne s'appliquent pas.

La formule (2) est la formule utilisée dans la dernière version de CONTRA :

$$(2): y = \left(\sum_{i=1}^n a_i y_i \right) + ((1 - b \times \text{écarttype}([a_1; a_n]) \times \text{corr}))$$

Avec b : un facteur associé au nombre de variables agrégées permettant de ramener à 0 ce terme dans le cas extrême (une règle de décision $a_i = 1$ et les autres $a_i = 0$)

corr : le terme de correction des règles de décision intermédiaires donnant un effet synergique.

Onglet « VariableArbre »

1 Définition de la variable de sortie, des variables d'entrée, des fonctions d'appartenance et de l'opérateur de calcul

2

3 **Variable expliquée**

4 Nom complet variable de sortie Robustesse

5 Nom abrégé variable de sortie ROBContra10

6 Echelle souhaitée des sorties Performance

7 Type d'échelle

8 Valeur minimale 0

9 Valeur maximale 10

10

11 **Variables explicatives**

12 Choix fichier valeurs Calculateur

13 Nombre de variables 3

14

Nom complet variable d'entrée	Nom abrégé variable d'entrée	Unité	Type échelle variable	Fonction appartenance	Limite (LD=limite défavorable, LF=limite favorable)		Classement des variables d'entrées (les entrées par ordre décroissant)	Pondération des critères (en % somme =100)
					LD	LF		
1 aleas	ROBContra7		croissante	linéaire	0	10		33,33333333
2 sensibilité	ROBContra8		croissante	linéaire	0	10		33,33333333
3 adaptation	ROBContra9		croissante	linéaire	0	10		33,33333333

15

16

17

18

19

20

21 NB: le nombre de variables explicatives est limité à 5

22 et

23

24 Ch

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

Prêt

Fonctions d'appartenance

Limites des classes

Pondération

Représentations graphiques des fonctions d'appartenance

Ensemble des onglets de l'outil

Total des pondérations: 100

NB: quand des pondérations quantitatives sont renseignées, elles priment sur le

CONTRA | Guide d'utilisation | **VariableArbre** | Arbre | EntréeValeur-Résultat | ExplicCalcul | Simulateur | Paramètres | DétailCalcul | Calculateur | Graphes

Résumé L'évaluation multicritère de la durabilité des exploitations agricoles s'attelle à quantifier et objectiver leur performance selon les trois dimensions du développement durable. Dans sa dernière version, la méthode d'évaluation IDEA propose, en plus de l'évaluation des trois dimensions, une évaluation de cinq propriétés transversales du développement durable au sein des exploitations agricoles. Pour ce faire, des indicateurs sont hiérarchisés et organisés dans des arbres de décisions permettant de procéder à une estimation qualitative de chacune des propriétés, ceci à l'aide de l'outil DEXi. Celui-ci, reposant sur une logique booléenne, est facile d'utilisation mais présente un inconvénient majeur, l'effet de seuil à la mise en classe des résultats, qui limite la sensibilité de l'évaluation. Dans le cadre du CASDAR ACTION, nous avons utilisé l'outil d'agrégation CONTRA qui repose sur la logique floue pour tenter de s'affranchir des effets de seuils présents lors de l'agrégation des indicateurs en propriétés. Premièrement, nous avons reconstruit les arbres de décision sous CONTRA, ensuite nous avons analysé leur sensibilité selon la méthode de Monte-Carlo, enfin nous avons testé cette nouvelle approche sur un échantillon de 120 exploitations agricoles. Les travaux réalisés ont permis d'aboutir à une méthode d'évaluation fonctionnelle fournissant des résultats plus nuancés qu'avec DEXi. Cependant, ils ont également mis en évidence des divergences d'évaluation entre les résultats obtenus par DEXi et CONTRA pour certaines exploitations qui doivent permettre aux concepteurs de la méthode IDEA de questionner et éventuellement de corriger leurs choix d'agrégation.

Mots-clés : propriétés de la durabilité, évaluation multicritère, agrégation, analyse de sensibilité

Title The assessment of the sustainability properties of farms using the IDEA4 method. The contribution of fuzzy logic.

Abstract The multicriteria assessment of the farm sustainability aims to quantify and objectify their performances regarding three dimensions of sustainable development. In its latest version, the IDEA method makes possible, in addition to the assessment of the three dimensions of the sustainable development, the transversal assessment of five properties of the estate sustainability. To do this, indicators are hierarchized and organised in decision trees to produce quality estimation for each property by means of the DEXi tool. This, being based on Boolean logic, is easy to use but has a major inconvenience: threshold effect due to the classification of results limit the assessment sensitivity. Within the scope of the CASDAR ACTION, we use the CONTRA aggregating tool which is based on fuzzy logic to try to reduce this threshold effects during combining process. First, we redesign the decision trees with CONTRA tool, then we analysed their sensitivity by means of the Monte-Carlo method, finally we test this approach on a sample of 120 farms. This work leads to a functional assessment method which furnishes more nuanced results than DEXi tool. Nonetheless, we observed a gap between the assessment by DEXi and CONTRA for some farms. This will help designers of IDEA method to discuss and potentially to correct their aggregation choices.

Key words : sustainability properties, multicriteria assessment, aggregation, sensitivity analysis